

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

Railway applications – Rolling stock equipment – Capacitors for power electronics –

Part 1: Paper/plastic film capacitors

Applications ferroviaires – Matériel roulant – Condensateurs pour électronique de puissance –

Partie 1: Condensateurs papier et film plastique

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61881-1:2010



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2010 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 la CEI ou du Comité national de la CEI du pays du demandeur.

Si vous avez des questions sur le copyright de la CEI ou si vous désirez obtenir des droits supplémentaires sur cette publication, utilisez les coordonnées ci-après ou contactez le Comité national de la CEI de votre pays de résidence.

IEC Central Office
3, rue de Varembe
CH-1211 Geneva 20
Switzerland
Email: inmail@iec.ch
Web: www.iec.ch

About the IEC

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

About IEC publications

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

- Catalogue of IEC publications: www.iec.ch/searchpub

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 It also gives information on projects, withdrawn and replaced publications.

- IEC Just Published: www.iec.ch/online_news/justpub

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

- Electropedia: www.electropedia.org

The world's leading online dictionary of electronic and electrical terms containing more than 20 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary online.

- Customer Service Centre: www.iec.ch/webstore/custserv

If you wish to give us your feedback on this publication or need further assistance, please visit the Customer Service Centre FAQ or contact us:

Email: csc@iec.ch

Tel.: +41 22 919 02 11

Fax: +41 22 919 03 00

A propos de la CEI

La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) 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 CEI

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

- Catalogue des publications de la CEI: www.iec.ch/searchpub/cur_fut-f.htm

Le Catalogue en-ligne de la CEI vous permet d'effectuer des recherches en utilisant différents critères (numéro de référence, texte, comité d'études,...). Il donne aussi des informations sur les projets et les publications retirées ou remplacées.

- Just Published CEI: www.iec.ch/online_news/justpub

Restez informé sur les nouvelles publications de la CEI. Just Published détaille deux fois par mois les nouvelles publications parues. Disponible en-ligne et aussi par email.

- Electropedia: www.electropedia.org

Le premier dictionnaire en ligne au monde de termes électroniques et électriques. Il contient plus de 20 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans les langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International en ligne.

- Service Clients: www.iec.ch/webstore/custserv/custserv_entry-f.htm

Si vous désirez nous donner des commentaires sur cette publication ou si vous avez des questions, visitez le FAQ du Service clients ou contactez-nous:

Email: csc@iec.ch

Tél.: +41 22 919 02 11

Fax: +41 22 919 03 00

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

Railway applications – Rolling stock equipment – Capacitors for power electronics –

Part 1: Paper/plastic film capacitors

Applications ferroviaires – Matériel roulant – Condensateurs pour électronique de puissance –

Partie 1: Condensateurs papier et film plastique

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX



ICS 45.060

ISBN 978-2-88912-094-9

CONTENTS

FOREWORD.....	5
1 Scope.....	7
2 Normative references.....	8
3 Terms and definitions	8
4 Service conditions.....	13
4.1 Normal service conditions	13
4.1.1 Altitude	13
4.1.2 Temperature.....	13
4.1.3 Operating temperature with forced ventilation.....	13
4.2 Unusual service conditions	13
5 Quality requirements and tests.....	14
5.1 Test requirements.....	14
5.1.1 General	14
5.1.2 Test conditions	14
5.2 Classification of tests.....	14
5.2.1 Routine tests	14
5.2.2 Type tests.....	15
5.2.3 Acceptance tests	15
5.2.4 Summary of tests.....	16
5.3 Capacitance and $\tan \delta$ measurements (routine test)	16
5.3.1 Measuring procedure	16
5.3.2 Capacitance tolerances.....	17
5.3.3 Loss requirements ($\tan \delta$).....	17
5.4 Capacitor loss tangent ($\tan \delta$) measurement (type test).....	17
5.4.1 Measurements	17
5.4.2 Loss requirements	17
5.5 Voltage test between terminals	17
5.5.1 General	17
5.5.2 Routine test.....	18
5.5.3 Type test	18
5.6 AC voltage test between terminals and case	18
5.6.1 Routine test	18
5.6.2 Type test	19
5.7 Test of internal discharge device.....	19
5.8 Sealing test	19
5.9 Surge discharge test.....	19
5.10 Thermal stability test.....	20
5.10.1 General	20
5.10.2 Measuring procedure	20
5.11 Self-healing test.....	21
5.12 Resonance frequency measurement	21
5.13 Environmental testing	21
5.13.1 Change of temperature	21
5.13.2 Damp heat, steady state	21
5.14 Mechanical testing.....	22
5.14.1 Mechanical tests of terminals	22

5.14.2	External inspection	23
5.14.3	Vibration and shocks	23
5.15	Endurance test	23
5.15.1	Conditioning of the units before the test	23
5.15.2	Initial capacitance and loss factor measurements	23
5.15.3	Endurance test	23
5.15.4	Final capacitance and $\tan \delta$ measurement	24
5.15.5	Acceptance criteria	25
5.16	Destruction test	25
5.16.1	General	25
5.16.2	Test sequence for AC capacitors	26
5.16.3	Test sequence for DC capacitors	27
5.17	Disconnecting test on internal fuses	30
5.17.1	General	30
5.17.2	Disconnecting requirements	30
5.17.3	Withstand requirements	30
5.17.4	Test procedure	31
5.17.5	Capacitance measurement	32
5.17.6	Visual checking	32
5.17.7	Voltage test	32
5.18	Partial discharge measurements (optional type tests)	32
6	Overloads	32
7	Safety requirements	33
7.1	Discharge device	33
7.2	Case connections	33
7.3	Protection of the environment	33
7.4	Fire hazard	33
7.5	Other safety requirements	33
8	Markings	34
8.1	Marking of the units	34
8.1.1	Rating plate	34
8.1.2	Data sheet	34
9	Guide to installation and operation	34
9.1	General	34
9.2	Choice of rated voltage	35
9.3	Operating temperature	35
9.3.1	Installation	35
9.3.2	Unusual cooling conditions	36
9.4	Special service conditions	36
9.5	Overvoltages	36
9.6	Overload currents	36
9.7	Switching and protective devices	37
9.8	Choice of creepage distance and clearance	37
9.9	Connections	37
9.10	Parallel connections of capacitors	37
9.11	Series connections of capacitors	37
9.12	Magnetic losses and eddy currents	38
9.13	Guide for internal fuse and disconnecter protection in capacitors	38
9.14	Guide for unprotected capacitors	38

Annex A (informative) Waveforms	39
Annex B (normative) Operational limits of capacitors with sinusoidal voltages as a function of frequency and at maximum temperature ($\theta_{\max}$)	41
Annex C (normative) Resonance frequency measuring methods – Examples	43
Bibliography	45
Figure 1 – Destruction test arrangement	27
Figure 2 – N source DC – type 1	29
Figure 3 – N source DC – type 2	29
Figure A.1a – Commutating waveform	39
Figure A.1b – Commutating circuit example	40
Figure A.1c – Damping capacitor for gate turn-off thyristors waveform	40
Figure A.1d – Damping circuit example	40
Figure B.1 – Supply conditions	41
Figure C.1 – Measuring circuit	43
Figure C.2 – Relation between the voltage across the capacitor and the supply frequency	44
Figure C.3 – Discharge current wave shape	44
Table 1 – Maximum temperature of cooling medium for unlimited time	13
Table 2 – Summary of tests	16
Table 3 – Test voltage between terminals	17
Table 4 – Damp heat test	22
Table 5 – Testing the robustness of terminals	22
Table 6 – Example of current-carrying capacities of screw terminals and bolts	23
Table 7 – Endurance test	24
Table 8 – Destruction test as a function of type of safety system	25
Table 9 – Maximum permissible voltage	32

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 61881-1:2010

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

RAILWAY APPLICATIONS – ROLLING STOCK EQUIPMENT – CAPACITORS FOR POWER ELECTRONICS –

Part 1: Paper/plastic film capacitors

FOREWORD

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

International Standard IEC 61881-1 has been prepared by IEC technical committee 9: Electrical equipment and systems for railways.

IEC 61881-1 cancels and replaces IEC 61881 (1999).

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

FDIS	Report on voting
9/1405/FDIS	9/1454/RVD

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

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

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

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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61881-1:2010

RAILWAY APPLICATIONS – ROLLING STOCK EQUIPMENT – CAPACITORS FOR POWER ELECTRONICS –

Part 1: Paper/plastic film capacitors

1 Scope

This part of IEC 61881 applies to capacitors for power electronics intended to be used on rolling stock.

The rated voltage of capacitors covered by this part is limited to 10 000 V.

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

It distinguishes between AC and DC capacitors.

They are considered as components mounted in enclosures.

NOTE This standard covers an extremely wide range of capacitor technologies for numerous applications: overvoltage protection, DC and AC filtering, switching circuits, DC energy storage, auxiliary inverters, etc.

Examples are given in Clause 9.

The following are excluded from this standard:

- capacitors for induction heat-generating plants operating at frequencies between 40 Hz and 24 000 Hz (see IEC 60110-1 and 60110-2);
- capacitors for motor applications and the like (see IEC 60252-1 and IEC 60252-2);
- capacitors to be used in circuits for blocking one or more harmonics in power supply networks;
- small AC capacitors as used for fluorescent and discharge lamps (see IEC 61048 and IEC 61049);
- capacitors for suppression of radio interference (see IEC 60384-14);
- shunt capacitors for AC power systems having a rated voltage above 1 000 V (see IEC 60871-1 and IEC 60871-2);
- shunt power capacitors of the self-healing type for AC systems having a rated voltage up to and including 1 000 V (see IEC 60831-1 and IEC 60831-2);
- shunt power capacitor of the non self-healing type for AC systems having a rated voltage up to and including 1 000 V (see IEC 60931-1 and IEC 60931-2);
- series capacitors for power systems (see IEC 60143-1, IEC 60143-2 and IEC 60143-3);
- coupling capacitors and capacitors dividers (see IEC 60358);
- capacitors for applications requiring energy storage/high current discharge such as photocopiers and lasers;
- capacitors for microwave ovens;
- capacitors for power electronics (see IEC 61071).

2 Normative references

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

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

IEC 60068-2-20, *Environmental testing – Part 2-20: Tests. Test T: Test methods for solderability and resistance to soldering heat of devices with leads*

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

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

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

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

IEC 60695-11-5, *Fire hazard testing – Part 11-5: Test flames – Needle-flame test method – Apparatus, confirmatory test arrangement and guidance*

IEC 60721-3-5, *Classification of environmental conditions – Part 3: Classification of groups of environmental parameters and their severities – Section 5: Ground vehicles installations*

IEC 61373, *Railway applications – Rolling stock equipment – Shock and vibration tests*

IEC 62491, *Industrial systems, installations and equipment and industrial products – Labelling of cables and cores*

IEC 62497-1, *Railway applications – Insulation coordination – Part 1: Basic requirements – Clearances and creepage distance for all electrical and electronic equipment*

3 Terms and definitions

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

3.1

capacitor element (or element)

indivisible part of a capacitor consisting of two electrodes separated by a dielectric

3.2

capacitor unit (or unit)

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

3.3

capacitor bank

assembly of two or more capacitor units, electrically connected to each other

3.4

capacitor

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

3.5**capacitor equipment**

assembly of capacitor units and their accessories intended for connection to a network

3.6**capacitor for power electronics**

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

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

capacitor in which the electrodes usually consist of metal foils separated by a dielectric, in the event of a breakdown of the dielectric; the capacitor does not restore itself

3.8**self-healing metallized dielectric capacitor**

capacitor, the electrodes of which are metallized (usually by evaporation); in the event of dielectric breakdown, the capacitor restores itself

3.9**AC capacitor**

capacitor essentially designed for operation with alternating voltage

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

3.10**DC capacitor**

capacitor essentially designed for operation with direct voltage

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

3.11**model capacitor**

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

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

3.12**internal (element) fuse**

device incorporated in the capacitor which disconnects an element or a group of elements in the event of breakdown

3.13**safety devices****3.13.1****overpressure disconnecter**

disconnecting device inside a capacitor, designed to interrupt the current path in case of capacitor failure

3.13.2**overpressure detector**

device designed to detect abnormal increase of the internal pressure by an electrical switch/signal and indirectly interrupt the current path

3.13.3

segmented metallization design

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

3.13.4

special unsegmented metallization design

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

3.14

discharge device of a capacitor

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

3.15

rated AC voltage (U_N)

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

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

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

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

NOTE 4 Definitions used in this standard can be different from those of IEC 60077-1.

3.16

rated DC voltage (U_{NDC})

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

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

In the case of reversal voltage, the use should be agreed between user and manufacturer.

NOTE If the reversal voltage is small (less than 10 %), the voltage waveform can be considered to be not reversing. For test purposes, U_{NDC} and U_r should be increased by U_r , the reversal voltage.

3.17

ripple voltage (U_r)

peak-to-peak alternating component of the unidirectional voltage

3.18

non-recurrent surge voltage (U_s)

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

3.19

insulation voltage (U_i)

r.m.s. value of the sine wave voltage designed for the insulation between terminals of capacitors to case or earth. If not specified, the r.m.s. value of the insulating voltage is equivalent to the rated voltage divided by $\sqrt{2}$.

3.20**maximum peak current ($\hat{I}$)**

maximum peak current that can occur during continuous operation

3.21**maximum current ($I_{\max}$)**

maximum r.m.s. current for continuous operation

3.22**maximum surge current ($\hat{I}_s$)**

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

3.23**pulse frequency (f_p)**

repetition rate of periodic current pulses

3.24**current pulse width (τ)**

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

NOTE Pulse current waveform examples are shown in Annex A.

3.25**resonance frequency (f_r)**

lowest frequency at which the impedance of the capacitor becomes minimum

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

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

3.26.2**intermittent duty**

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

3.27**operating temperature**

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

3.28**lowest operating temperature ($\theta_{\min}$)**

lowest temperature at which the capacitor may be energized

3.29**case temperature rise ($\Delta\theta_{\text{case}}$)**

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

3.30**cooling-air temperature (θ_{amb})**

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

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

3.30.1

outlet fluid temperature for forced-cooled capacitors

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

3.30.2

inlet fluid temperature for forced-cooled capacitors

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

3.31

maximum operating temperature ($\theta_{\max}$)

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

3.32

steady-state conditions

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

3.33

capacitor losses

active power consumed by a capacitor

NOTE Unless otherwise stated, the capacitor losses are understood to include losses in fuses and discharge resistors forming an integral part of the capacitor.

At high frequency, the capacitor losses are predominantly due to losses in connections, contacts and electrodes.

3.34

tangent of the loss angle of a capacitor $\tan \delta$

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

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

$\tan \delta_d$ = dielectric loss factor

3.35

equivalent series resistance of a capacitor R_{esr}

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

3.36

series resistance R_s

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

3.37

maximum power loss ($P_{\max}$)

maximum power loss with which the capacitor may be loaded at the maximum case temperature

3.38

maximum frequency for maximum power loss and maximum current (f_2)

frequency at which the maximum current ($I_{\max}$) produces the maximum power loss ($P_{\max}$) in the capacitor. For explanation of (f_2) see Annex B.

4 Service conditions

NOTE See IEC 60077-1.

4.1 Normal service conditions

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

4.1.1 Altitude

Not exceeding 1 400 m (IEC 62491 class A1).

NOTE The effect of altitude on convection cooling and external insulation should be taken into consideration, if the altitude exceeds 1400 m. In this case the derating or a proper design shall be agreed between manufacturer and user

4.1.2 Temperature

The climatic ambient temperatures are derived from IEC 60721-3-5 class 5k2 which has a range from -25°C to $+40^{\circ}\text{C}$.

Where ambient temperature lies outside this range, it shall be agreed between the user and the manufacturer.

The upper limit of case temperature θ_{max} at which the capacitor may be operated, shall be chosen among the values 55°C , 70°C and 85°C .

4.1.3 Operating temperature with forced ventilation

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

The following Table 1 of preferred temperatures of cooling fluid shall be applied.

Table 1 – Maximum temperature of cooling medium for unlimited time

Inlet temperature $^{\circ}\text{C}$	Outlet temperature $^{\circ}\text{C}$
35	40
45	50
55	60

The lowest inlet temperature for the cooling fluid may be -25°C .

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

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

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

4.2 Unusual service conditions

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

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

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

Unusual service conditions can include:

- unusual mechanical shocks and vibrations,
- cooling water with corrosive or obstructing particles (sea water, very hard water),
- corrosive and abrasive particles in the cooling air,
- dust in the cooling air, particularly if conductive,
- explosive dust or gas,
- oil or water vapour or corrosive substances,
- nuclear radiation,
- unusual storage or transport temperature,
- unusual humidity (tropical or subtropical region),
- excessive and rapid changes of temperature (more than 5 °C/h) or of humidity (more than 5 %/h),
- service areas higher than 1 400 m above sea level,
- superimposed electromagnetic fields,
- excessive overvoltages, as far as they exceed the limits given in Clause 6,
- airtight (poor change of air) installations.

5 Quality requirements and tests

5.1 Test requirements

5.1.1 General

This subclause gives the test requirements for capacitor units.

5.1.2 Test conditions

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

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

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

The AC tests and measurements shall be carried out with a sinusoidal voltage of 50 Hz or 60 Hz, unless otherwise specified.

5.2 Classification of tests

The test are classified as routine test, type tests and acceptance tests as follows:

5.2.1 Routine tests

Routine tests are the following:

- a) sealing test (5.8);
- b) external inspection (5.14.2);
- c) voltage test between terminals (5.5.2);
- d) voltage test between terminals and case (5.6.1);
- e) capacitance and $\tan \delta$ measurements (5.3);
- f) test of internal discharge device (5.7);

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

At his request, the user shall be supplied with a certificate detailing the results of such tests. The sequence of the tests is as indicated.

5.2.2 Type tests

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

Type tests are the following:

- a) voltage test between terminals (5.5.3);
- b) voltage test between terminals and case (5.6.2);
- c) surge discharge test (5.9);
- d) self-healing test (5.11);
- e) environmental testing (5.13);
- f) mechanical testing (5.14);
- g) capacitor tangent of the loss angle ($\tan \delta$ measurement (5.4);
- h) thermal stability test (5.10);
- i) test of internal discharge device (5.7);
- j) resonance frequency measurement (5.12);
- k) endurance test between terminals (5.15);
- l) disconnection test on fuses (5.17);
- m) destruction test (5.16).

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

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

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

It is not essential that all type tests be carried out on the same capacitor sample. The choice is left to the manufacturer.

5.2.3 Acceptance tests

The routine and/or type test, or some of them, may be carried out by the manufacturer, on agreement with the user.

The number of samples that may be subjected to such repeat tests, the acceptance criteria, as well as permission to deliver any of these units shall be subject to agreement between the manufacturer and the user, and shall be stated in the contract.

5.2.4 Summary of tests

Table 2 lists the type and routine test for capacitor units.

Table 2 – Summary of tests

	Test item	Type	Routine
1	Capacitance and $\tan\delta$ measurements	-	5.3
2	Capacitor loss tangent ($\tan\delta$) measurement	5.4	-
3	Voltage test between terminals	5.5.3	5.5.2
4	Voltage test between terminals and case	5.6.2	5.6.1
5	Test of internal discharge device	5.7	5.7
6	Sealing test	-	5.8
7	Surge discharge test	5.9	-
8	Thermal stability test	5.10	-
9	Self-healing test	5.11	-
10	Resonance frequency measurement	5.12	-
11	Environmental testing	5.13	-
12	Mechanical testing	5.14	-
13	External inspection	-	5.14.2
14	Endurance test	5.15	-
15	Destruction test	5.16	-
16	Disconnecting test on fuses	5.17	

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

5.3.1 Measuring procedure

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

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

The accuracy of the measuring method shall be given and shall be better than 0,2 % for capacitance and 10 % for $\tan\delta$ but not necessarily better than 1×10^{-4} if the measurement is made at 50-60 Hz.

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

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

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

5.3.2 Capacitance tolerances

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

5.3.3 Loss requirements ($\tan \delta$)

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

NOTE The manufacturer should, on agreement, furnish curves or tables showing the capacitor losses under steady-state conditions at rated output as a function of ambient temperature within the temperature category.

5.4 Capacitor loss tangent ($\tan \delta$) measurement (type test)

5.4.1 Measurements

The following measurements shall be made:

5.4.1.1 AC capacitors

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

5.4.1.2 DC capacitors

The measurement shall be carried out at a frequency in the range of 50 Hz to 60 Hz at the ripple voltage (U_r) divided by $2\sqrt{2}$.

NOTE The losses in the electrodes, connections, leads and terminals are functions of the frequency and can be calculated.

5.4.2 Loss requirements

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

5.5 Voltage test between terminals

5.5.1 General

Tests shall be carried out according to the following Table 3:

Table 3 – Test voltage between terminals

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

The test voltage indicated in Table 3 can be reduced if capacitors are intended for intermittent duty (see 3.26.2) or for short service duration; the new values shall be agreed upon between the manufacturer and the user. For capacitors directly connected to the line supply, the test

voltage between terminals may be increased on agreement between the manufacturer and the user.

NOTE The AC test voltage may be at 50 Hz or 60 Hz.

5.5.2 Routine test

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

Self-healing breakdowns are permitted.

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

This is to be agreed between the manufacturer and the user.

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

NOTE If necessary, this test can be repeated one more time only.

5.5.3 Type test

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

The choice is left to the manufacturer.

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

5.6 AC voltage test between terminals and case

5.6.1 Routine test

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

The test voltage values are the following:

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

where U_i is the insulation voltage.

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

This is to be agreed between the manufacturer and the user

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

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

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

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

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

NOTE 3 If necessary this test can be repeated once again only.

5.6.2 Type test

Units having all terminals insulated from the case shall be subjected to a test according to 5.6.1 with the same voltage value, but with a duration of 1 min. For capacitors directly connected to the line supply, the test voltage may be increased on agreement between the manufacturer and the user.

Capacitors with insulating case shall have a metal foil tightly wrapped all around them during the test.

5.7 Test of internal discharge device

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

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

5.8 Sealing test

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

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

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

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

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

5.9 Surge discharge test

The units shall be charged by means of a DC source and then discharged through a spark gap situated as close as possible to the capacitor. They shall be subjected to five such discharges within 10 min. For big units more than 10 min may be required.

The test voltage shall be equal to $1,1 U_N$.

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

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

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

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

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

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

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

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

5.10 Thermal stability test

5.10.1 General

This test is performed on both AC and DC capacitors and provides the following information about the capacitors subjected to it:

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

5.10.2 Measuring procedure

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

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

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

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

The current shall be $1,1 I_{\text{max}}$.

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

During at least 6 h, the temperature of the case near the top shall be measured at least four times; throughout this period of 6 h, the temperature rise shall not increase by more than 1 °C.

Should a greater change be observed, the test may be continued until the above requirement is met for four consecutive measurements during a 6 h period.

Before and after the test, the capacitance shall be measured within the temperature range given in 5.1.2 for testing, and the two measurements shall be corrected to the same dielectric temperature.

The difference between the two measurements shall be less than an amount corresponding to either breakdown of an element or operation of an internal fuse. At the end of this test, the tan δ measurement is performed (see 5.4.1).

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

NOTE 2 The test may be performed, on agreement between the manufacturer and the user, with a non-sinusoidal voltage, provided the values of current and power loss remain: $1,1 I_{\text{max}}$ and $1,21 P_{\text{max}}$.

5.11 Self-healing test

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

The capacitor or element shall be subjected for 10 s to a DC voltage: 1,1 times of the non-recurrent/surge voltage (U_s), or equal to the routine test voltage ($2,15 U_N$ for AC capacitors, $1,5 U_{NDC}$ for DC capacitors) whichever is higher.

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

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

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

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

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

5.12 Resonance frequency measurement

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

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

This measurement is not necessary for all applications.

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

5.13 Environmental testing

5.13.1 Change of temperature

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

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

5.13.2 Damp heat, steady state

The damp heat steady-state test (see Table 4) shall be carried out in accordance with IEC 60068-2-78 with a degree of severity in accordance with location category of the capacitor.

Before the start of the long-term test, the capacitance shall be measured at room temperature. After completion of the steady-state test, the capacitor shall be subjected to a voltage test between terminals in accordance with 5.5.1, and dielectric strength between terminals and case in accordance with 5.6.1.

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

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

Table 4 – Damp heat test

Application class of capacitor	Test	Test environment	Duration days
	Ca	40/93	56
	Ca	40/93	21

5.14 Mechanical testing

5.14.1 Mechanical tests of terminals

The robustness of terminations shall be tested in accordance with Tables 5 and 6.

Table 5 – Testing the robustness of terminals

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

Table 6 – Example of current-carrying capacities of screw terminals and bolts

Maximum continuous r.m.s. current A	Bolt thread	Bolt material	Torque Nm	
			Max.	Min.
10	M 3,5	Brass	0,8	0,4
16	M 4		1,2	0,6
25	M 5		2,0	1,0
63	M 6		3,0	1,5
100	M 8		6,0	3,0
160	M 10		10,0	5,0
250	M 12		15,5	7,5
315	M 16		30,0	15,0
400	M 20		52,0	26,0
NOTE Materials other than brass are permitted under the condition that they are electrically and mechanically equivalent or better.				

5.14.2 External inspection

Capacitors are visually examined and checked for finish and marking.

5.14.3 Vibration and shocks

See IEC 61373. For specially specified non-standard capacitors the test conditions may be agreed between manufacturer and user, for instance testing on the complete application unit.

5.15 Endurance test

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

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

5.15.1 Conditioning of the units before the test

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

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

5.15.2 Initial capacitance and loss factor measurements

The units shall be placed for at least 12 h in an unenergized state in a ventilated chamber, having a temperature of (30 ± 2) °C.

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

5.15.3 Endurance test

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

The test units shall be placed in the heated chamber and energized at the appropriate conditions as described in Table 7. AC and DC capacitors shall be subjected to the appropriate test as decided by the manufacturer. When the unit has achieved the test temperature, the cooling/heating conditions are adjusted so that stabilization is achieved at this test temperature. After this initial stabilization no changes in cooling/heating temperature are permitted.

The test temperature is the maximum case temperature ($\theta_{\max}$, see 3.31) during maximum continuous operating condition, i.e. excluding short time and exceptional conditions.

The test voltage U_t (pure DC or AC sinusoidal voltage with a peak voltage equal to U_{NDC} or U_N multiplied by the acceleration factor) shall be applied. A different acceleration factor/test duration can be selected according to Table 7.

The choice is left to the manufacturer. Half-way through the endurance test the capacitor shall be de-energized, cooled in still air at the ambient temperature, and subjected to 1 000 discharges as for 5.9, but with a peak current of $1,4 \hat{I}$, where $\hat{I}$ is the maximum peak current (see 3.20).

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

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

Table 7 – Endurance test

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

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

NOTE 2 Forced air liquid-bath cooling may be used if the temperature of the case exceeds $\theta_{\max}$.

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

5.15.4 Final capacitance and $\tan \delta$ measurement

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

5.15.5 Acceptance criteria

The capacitance measurement performed in Clause 5 shall differ by not more than 3 % of the initial values. For capacitors intended to be used as filter capacitors directly supplied by the supply line, more stringent tolerances may be agreed upon between the user and the manufacturer.

The losses shall be reported.

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

5.16 Destruction test

5.16.1 General

This test is performed to give an indication of the behaviour of the capacitor at the end of life and to prove the proper work of the safety system within the specification limits.

This test shall be applied only to protected capacitors (see 7.1) with any safety system e.g. self-healing. However, the following notes should be taken into account.

NOTE 1 The non-self-healing capacitors protected by internal fuses should comply with 5.17. For this kind of capacitors complying with 5.17 is considered as equivalent to 5.16.

NOTE 2 Capacitors without disconnection device but with, or intended for service with, an overpressure detector should be subjected to this test, and should be marked "Safe operation only with overpressure detector".

NOTE 3 Self-healing capacitors with internal fuses should be subjected to this test and should not be subjected to the test in 5.17.

NOTE 4 As the actual conditions can be significantly different in service, the behaviour at the end of life may also be different. Stored energy, expected short-circuit current, duration of failure current (and so on) should be considered in the application. Compliance with 5.16 minimizes the risk of dramatic failure but does not guarantee 100 % safe end of life of the capacitor.

The destruction test shall be carried out related to the type of safety system and to the main application of capacitors, according to Table 8. Performing of the test by applying DC - AC cycles or AC - DC cycles is at the choice of the manufacturer. After a failure the time to switch off the capacitor from the power supply shall be given by the manufacturer. In case of self-healing capacitors other methods to demonstrate the behaviour of the capacitor at the end of life and to prove the proper work of the safety system may be agreed between user and manufacturer.

Table 8 – Destruction test as a function of type of safety system

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

5.16.2 Test sequence for AC capacitors

The test shall be carried out on a capacitor unit.

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

The principle of the test is to promote failures in the element(s) by a high internal impedance DC power supply, and subsequently to check the behaviour of the capacitor when an AC voltage is applied. The failure of non-self-healing capacitors without internal fuses may be promoted according to the procedures of 5.17.5. The choice is left to the manufacturer. The capacitor shall be mounted in a circulating air oven having a temperature equal to the maximum ambient air temperature of the temperature category of the capacitor.

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

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

The following conditions may be obtained:

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

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

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

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

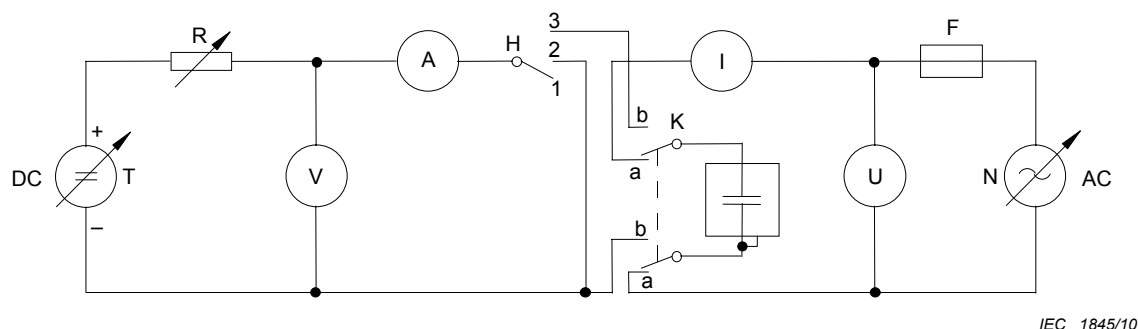


Figure 1 – Destruction test arrangement

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

Fuse according to IEC 60269-1 shall be used.

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

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

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

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

5.16.3 Test sequence for DC capacitors

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

The failure of non-self-healing capacitors without internal fuses may be promoted according to the procedures of 5.17.5. The choice is left to the manufacturer.

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

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

An example of N generator is given in Figure 2.

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

- With the selector switches H and K in position 1 and "a", the voltage source N is set to $1,3 U_N$ and to $1,1 I_N$.
- The DC voltage source T is set at the value stated by the manufacturer; the switch H is then set to position 2.
- Switch H is set to position 3 and switch K to position "b" in order to apply the DC test T to the capacitor which is maintained for a given period, stated by the manufacturer.

- d) Switch K is then set to the position "a" again in order to apply the superimposed test voltage N to the capacitor for a period of 5 min while the current is recorded.

The following conditions may be obtained:

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

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

- 2) The current indicated by the ammeter I is zero and the voltmeter U indicates $1,3 U_N$.

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

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

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

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

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

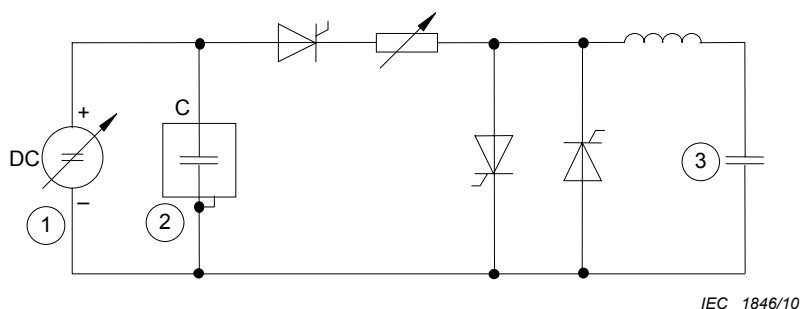
When the procedure is interrupted, the capacitor is cooled to the ambient temperature, and the voltage test between terminals and terminals and case shall be carried out according to 5.5 and 5.6.

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

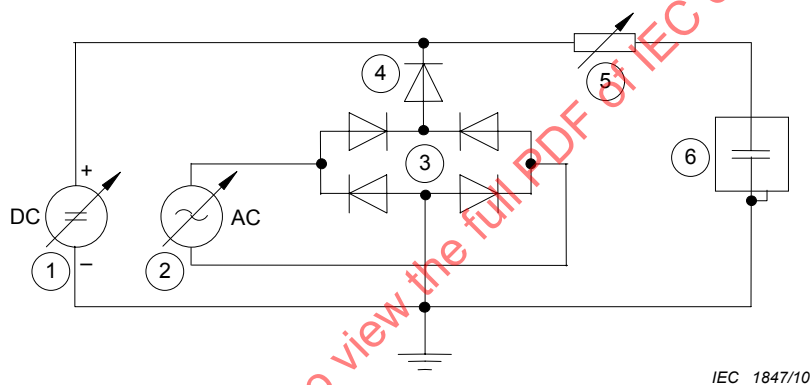
If a device according to Figure 2 is not available, a N source according to Figure 3 can be used. In this case a high DC current is generated by a diode bridge. The DC and AC generators shall be adjustable.

Subclause 5.16.3 a) shall be modified as follows: "with the selector switches H and K in position 1 and "a" respectively, the voltage source N shall be set to $1,3 U_N$ ".

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

**Key**

- 1 High-voltage, high-current DC generator
- 2 Specimen under test
- 3 Inverter device

Figure 2 – N source DC – type 1**Key**

- 1 High-voltage, low-current (300 mA) DC generator
- 2 Low-voltage, high-current AC generator
- 3 Low-voltage rectifier bridge
- 4 Blocking HV rectifier
- 5 Short-circuit current adjustment
- 6 Specimen under test

Figure 3 – N source DC – type 2

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

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

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

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

5.17 Disconnecting test on internal fuses

5.17.1 General

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

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

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

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

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

5.17.2 Disconnecting requirements

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

The recommended values for u_1 and u_2 are the following:

$$u_1 = 0,8 U_N$$

$$u_2 = U_t$$

where U_t is the test voltage according to Table 3.

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

5.17.3 Withstand requirements

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

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

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

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

5.17.4 Test procedure

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

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

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

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

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

a) Mechanical puncture of the element

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

NOTE 1 Puncture of only one element cannot be guaranteed.

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

b) Electrical breakdown of the element (first method)

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

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

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

c) Electrical breakdown of the element (second method)

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

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

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

d) Electrical breakdown of the element (third method)

A small part of an element (or of several elements) in a unit is removed at the time of manufacture and replaced with a weaker dielectric. For example: 10 cm² to 20 cm² of a film-paper-film dielectric is cut out and replaced with two thin papers.

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

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

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

number of breakdowns is exceeded, the voltages stated in 5.17.7 may have to be increased.

NOTE 3 Precautions should be taken when performing this test against the possible explosion of a capacitor unit.

NOTE 4 It is recommended to discharge all the series element groups after each test if the capacitor has internal element series connections.

5.17.5 Capacitance measurement

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

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

5.17.6 Visual checking

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

5.17.7 Voltage test

The unit shall withstand for 10 s, without further operation of fuses, a withstand test voltage. This withstand test voltage should normally be equal to the test voltage specified in Table 3, unless otherwise agreed by the manufacturer and the user in accordance with the provisions of 5.17.4 d).

5.18 Partial discharge measurements (optional type tests)

On agreement between the user and the manufacturer, a test may be performed to determine that the level of partial discharges does not affect the life performance of the capacitors.

6 Overloads

Capacitor units shall be suitable for operation at voltage levels and duration according to Table 9 without any failure. It should be recognised that any significant period of operation at voltage above the rated one will reduce the useful life.

Table 9 – Maximum permissible voltage

Overvoltage	Maximum duration within one day	Observation
1,1 U_N	30 % of on-load duration	System regulation
1,15 U_N	30 min	System regulation
1,2 U_N	5 min	System regulation
1,3 U_N	1 min	System regulation
NOTE An overvoltage equal to 1,5 U_N for 30 ms is permitted 1 000 times during the life of the capacitor. The amplitudes of the overvoltages that may be tolerated without significant reduction in the life-time of the capacitor depend on their duration, the number of application, and the capacitor temperature. In addition these values assume that the overvoltages may appear when the internal temperature of the capacitor is less than 0 °C but within the temperature category.		

7 Safety requirements

7.1 Discharge device

The use of discharge resistors is not suitable for certain power electronic capacitors. When required by the user, each capacitor unit or bank shall be provided with means for discharging each unit in 3 min to 60 V or less, from an initial voltage U_N or U_{NDC} .

For capacitors having U_N or $U_{NDC} \geq 1\,000$ V, the discharging time shall be not more than 10 min.

NOTE Capacitors with energy above 100 J should be protected by a short circuit between terminals and terminals to case before delivery.

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

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

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

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

7.2 Case connections

To enable the potential of the metal case of the capacitor to be fixed, and to be able to carry the fault current in the event of a breakdown to the case, the case shall be provided with a connection suitable to carry the fault current, or with an unpainted non-corrodible metallic region suitable for a connecting clamp.

7.3 Protection of the environment

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

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

7.4 Fire hazard

According to IEC 60695-2-11 or IEC 60695-11-5. The choice of the test method may be decided by the agreement between user and manufacturer.

If IEC 60695-2-11 is chosen, test severity (see Clause 6) shall be 850 °C. For evaluation of test result, see Clause 12.

If IEC 60695-11-5 is chosen, test severity may be decided by the agreement between user and manufacturer.

7.5 Other safety requirements

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

8 Markings

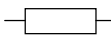
8.1 Marking of the units

8.1.1 Rating plate

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

- Manufacturer
- Identification number and manufacturing date
- The date of manufacturing may be a part of identification number or be in code form.
- C = μF
- Tol = %
- U_{NDC} or U_{N} = V
- U_{i} = V AC (if specified, see 3.19)
- P_{max} = W (optional)
- f_2 = Hz (optional)
- I_{max} = A (optional)
- $\hat{I}_{\text{s}}$ = A (if any)
- θ_{min} = °C
- θ_{max} = °C
- maximum tightening torque = Nm (see note 2)
- type of cooling medium and temperature (only for forced cooling – see Clause 4)
- IEC 61881-1

The following signs shall be added if applicable:

- for internal discharge device 
- for internal fuse or disconnecter 
- for self-healing capacitors SH or 
- for unprotected capacitors unprotected

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

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

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

8.1.2 Data sheet

Informations shall be provided by the manufacturer to enable correct operation of the capacitor. If the capacitor unit contains material that may pollute the environment or may be hazardous in any other way, these materials and their mass shall be declared in the data sheet according to the relevant laws of the country of the user who shall inform the manufacturer of such law(s).

9 Guide to installation and operation

9.1 General

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

Because of the different types of capacitors and the many factors involved, it is not possible to cover, using simple rules, installation and operation in all possible cases.

The following information is given with regard to the more important points to be considered. In addition, the instructions of the manufacturer and the power supply authorities shall be followed.

There are seven major applications:

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

9.2 Choice of rated voltage

The rated voltage of the capacitor shall be equal to the recurrent peak voltage.

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

Only in case of emergency should capacitors be operated at maximum permissible voltage and maximum operating temperature simultaneously, and then only for short periods of time (see Table 8).

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

9.3 Operating temperature

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

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

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

9.3.1 Installation

Capacitors shall be so placed that there is adequate dissipation by convection and radiation of the heat produced by the capacitor losses.

The ventilation of the operating room and the arrangement of the capacitor units shall provide good air circulation around each unit. This is of importance for units mounted in rows, one above the other.

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

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

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

- protect the capacitor from radiation;
- choose a capacitor designed for higher service air temperature or employ capacitors with rated voltage higher than that laid down in Clause 4;
- capacitors installed at high altitudes (above 1 400 m) will be subjected to decrease heat dissipation; this should be considered when determining the power of the units.

9.3.2 Unusual cooling conditions

In exceptional cases, the inlet temperature (see Table 1) may be higher than 55 °C maximum and capacitors of special design or with a higher rated voltage shall be used.

9.4 Special service conditions

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

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

9.5 Overvoltages

Overvoltage factors are specified in 6.1.

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

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

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

When overvoltages are higher than those permitted in Table 9 (i.e. capacitors directly connected to the line) a higher voltage test may be required, on agreement between the manufacturer and the user.

9.6 Overload currents

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

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

If the capacitors are provided with fuses (internal or external), the peak value of the overcurrents due to switching operations shall be limited to the value of $\hat{I}_s$.

9.7 Switching and protective devices

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

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

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

9.8 Choice of creepage distance and clearance

According to IEC 62497-1.

9.9 Connections

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

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

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

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

9.10 Parallel connections of capacitors

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

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

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

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

Special precautions have to be taken in this case.

9.11 Series connections of capacitors

Because of variations in the insulation resistance of units, the correct voltage sharing between units should be ensured by resistive voltage dividers.

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

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

9.12 Magnetic losses and eddy currents

The strong magnetic fields of conductors in power electronics may induce alternating magnetization of magnetic cases and eddy currents in any metal part and thereby produce heat. It is therefore necessary to situate capacitors at a safe distance from heavy current conductors and to avoid the use as far as possible of magnetic materials.

9.13 Guide for internal fuse and disconnector protection in capacitors

The fuse is connected in series with the element that the fuse is designated to isolate, if the element becomes faulty.

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

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

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

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

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

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

9.14 Guide for unprotected capacitors

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

Annex A (informative)

Waveforms

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

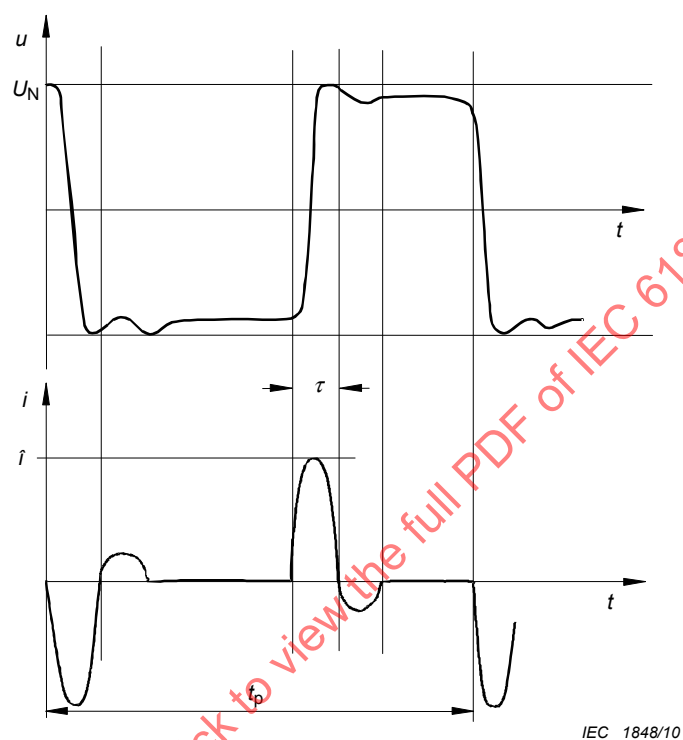


Figure A.1a – Commutating waveform

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

Key

τ	capacitor current pulse width
t_p	system pulse duration
f_p	system pulse frequency
U_N	peak recurrent voltage
$\hat{i}$	peak current
L	capacitor equivalent series inductance
C	capacitor capacitance

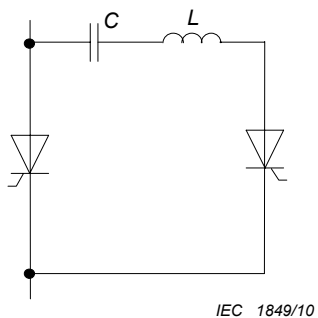


Figure A.1b – Commutating circuit example

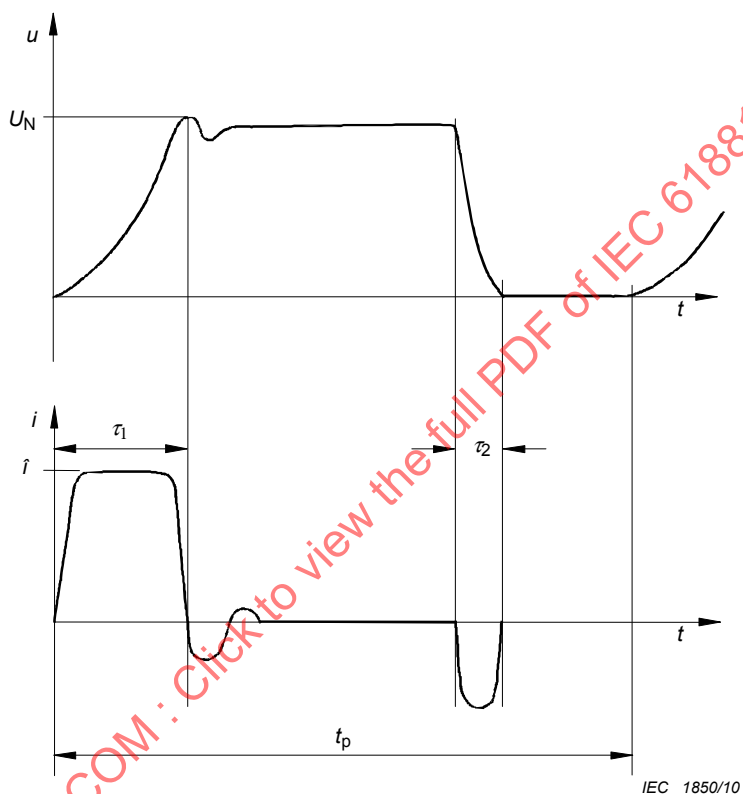


Figure A.1c – Damping capacitor for gate turn-off thyristors waveform

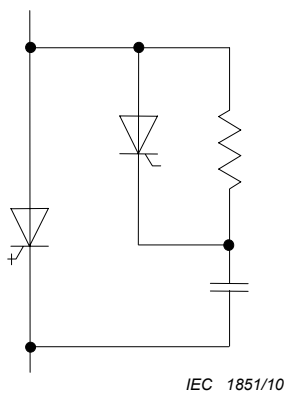


Figure A.1d – Damping circuit example

Figure A.1 – Waveforms and circuits

Annex B (normative)

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

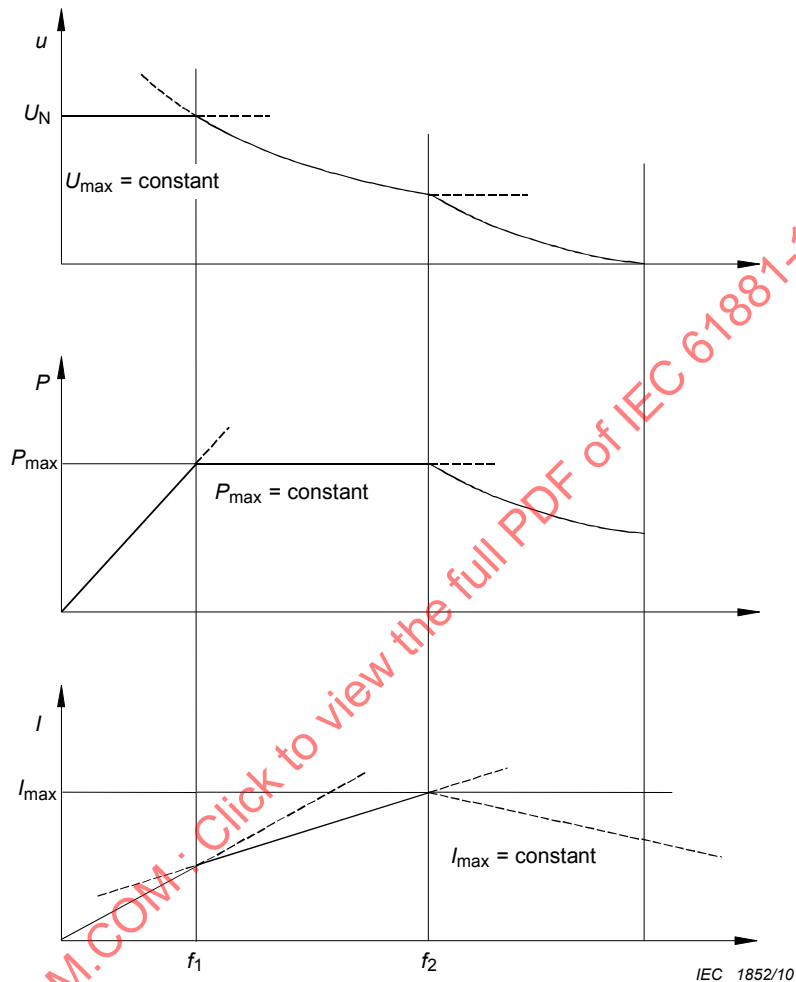


Figure B.1 – Supply conditions

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

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

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

$$U_{\max} = U_N$$

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

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

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

For the frequency range f_1 to f_2

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

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

$$I = I_{\max}$$

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

The characteristic values of the capacitors are the following:

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

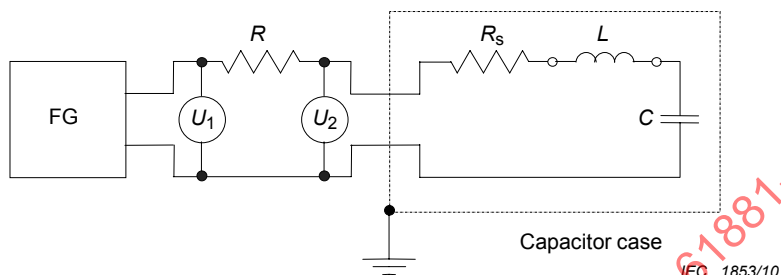
NOTE The suggested thermal stability test conditions are the following:

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

Annex C (normative)

Resonance frequency measuring methods – Examples

C.1 Method 1



Key

FG	variable frequency generator
R	non-inductive load resistance directly connected to the tested capacitor terminals
R_s	capacitor equivalent series resistance
L	capacitor equivalent series inductance
C	capacitor capacitance
U_1 U_2	electronic voltmeters

Figure C.1 – Measuring circuit

By changing a frequency and keeping U_1 constant, it is possible to plot a graph which shows the relation between the voltage across the capacitor and the supply frequency. The minimum value of U_2 corresponds to the resonance frequency (f_r).

The connections shall be as short as possible.

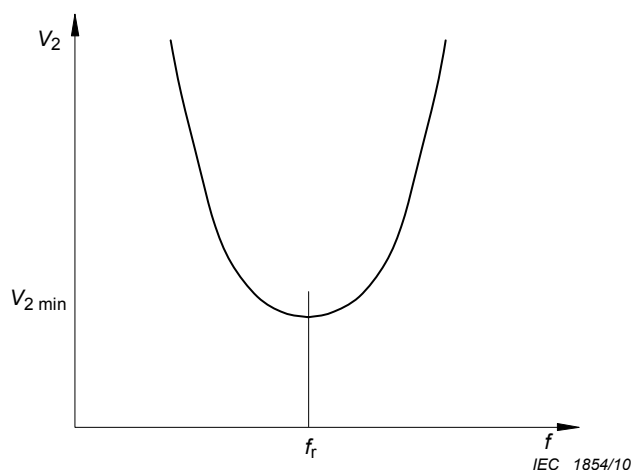


Figure C.2 – Relation between the voltage across the capacitor and the supply frequency

NOTE This frequency is equal to self resonance frequency if the external inductance of the connections is negligible in comparison with that of internal connections.

C.2 Method 2

The unit shall be charged by means of DC and then discharged through a gap situated directly at the capacitor terminals.

The discharge current wave shape is recorded by an oscilloscope.

f_r is evaluated by computation of the number of intersections of the time axis.

The shape of the discharge waveform is a function of the equivalent series resistance and the stray inductance.

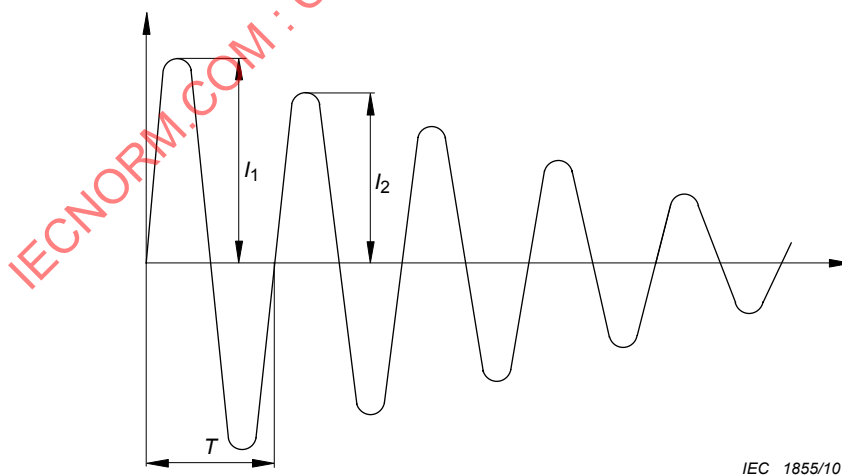


Figure C.3 – Discharge current wave shape

NOTE With the second method the discharge frequency is measured. This is equal to self-resonance frequency if the damping factor is low and if the external inductance of the connections is negligible in comparison with that of internal connections.

In any case the damping factor can be taken into account to calculate the self-inductance.

Bibliography

IEC 60050-436:1990, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 436: Power capacitors*

IEC 60077-1:1999, *Railway applications – Electric equipment for rolling stock – Part 1: General service conditions and general rules*

IEC 60077-2:1999, *Railway applications – Electric equipment for rolling stock – Part 2: Electrotechnical components – General rules*

IEC 60110-1:1998, *Power capacitors for induction heating installations – Part 1: General*

IEC 60110-2:2000, *Power capacitors for induction heating installations – Part 2: Ageing test, destruction test and requirements for disconnecting internal fuses*

IEC 60146-1-1:2009, *Semiconductor converters – General requirements and line commutated convertors – Part 1-1: Specification of basic requirements*

IEC 60384-14:2005, *Fixed capacitors for use in electronic equipment – Part 14: Sectional specification: Fixed capacitors for electromagnetic interference suppression and connection to the supply mains*

IEC 60664-1:2007, *Insulation coordination for equipment within low-voltage systems – Part 1: Principles, requirements and tests*

IEC 60831-1:1996, *Shunt power capacitors of the self-healing type for AC systems having a rated voltage up to and including 1 000 V – Part 1: General – Performance, testing and rating – Safety requirements – Guide for installation and operation*

IEC 60831-2:1995, *Shunt power capacitors of the self-healing type for AC systems having a rated voltage up to and including 1 000 V – Part 2: Ageing test, self-healing test and destruction test*

IEC 60871-1:2005, *Shunt capacitors for AC power systems having a rated voltage above 1 000 V – Part 1: General*

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

IEC 60931-1:1996, *Shunt power capacitors of the non-self-healing type for AC systems having a rated voltage up to and including 1 000 V – Part 1: General – Performance testing and rating – Safety requirements – Guide for installation and operation*

IEC 60931-2:1995, *Shunt power capacitors of the non-self-healing type for AC systems having a rated voltage up to and including 1 000 V – Part 2: Ageing test and destruction test*

IEC 61071: *Capacitors for power electronics*

IEC 61287-1:2005, *Railway applications – Power convertors installed on board rolling stock – Part 1: Characteristics and test methods*

IEC 62498-1, *Railway applications – Environmental conditions for equipment – Part 1: Equipment on board rolling stock*

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	49
1 Domaine d'application	51
2 Références normatives	52
3 Termes et définitions	52
4 Conditions de service	57
4.1 Conditions de service normales	57
4.1.1 Altitude	57
4.1.2 Température	57
4.1.3 Température de fonctionnement avec ventilation forcée	57
4.2 Conditions de service inhabituelles	58
5 Exigences de qualité et essais	59
5.1 Exigences d'essai	59
5.1.1 Généralités	59
5.1.2 Conditions d'essai	59
5.2 Classification des essais	59
5.2.1 Essais de série	59
5.2.2 Essais de type	59
5.2.3 Essais d'acceptation	60
5.2.4 Résumé des essais	60
5.3 Mesures de la capacité et de $\tan \delta$ (essai de série)	61
5.3.1 Procédure de mesure	61
5.3.2 Tolérances de capacité	61
5.3.3 Exigences de perte ($\tan \delta$)	61
5.4 Mesure de la tangente de perte ($\tan \delta$) du condensateur (essai de type)	62
5.4.1 Mesures	62
5.4.2 Exigences de perte	62
5.5 Essai de tension entre bornes	62
5.5.1 Généralités	62
5.5.2 Essai de série	63
5.5.3 Essai de type	63
5.6 Essai de tension alternative entre bornes et boîtier	63
5.6.1 Essai de série	63
5.6.2 Essai de type	64
5.7 Essai de dispositif de décharge interne	64
5.8 Essai d'étanchéité	64
5.9 Essai de tension de choc	64
5.10 Essai de stabilité thermique	65
5.10.1 Généralités	65
5.10.2 Procédure de mesure	65
5.11 Essai d'autorégénération	66
5.12 Mesure de la fréquence de résonance	66
5.13 Essai d'environnement	66
5.13.1 Variation de température	66
5.13.2 Chaleur humide, essai continu	67
5.14 Essais mécaniques	67
5.14.1 Essais mécaniques des bornes	67

5.14.2	Examen externe.....	68
5.14.3	Vibrations et chocs	68
5.15	Essai d'endurance	68
5.15.1	Conditionnement des unités avant l'essai	68
5.15.2	Mesures de la capacité initiale et du facteur de perte	68
5.15.3	Essai d'endurance	68
5.15.4	Mesure de la capacité finale et de la tangente $\tan \delta$	70
5.15.5	Critères d'acceptation	70
5.16	Essai destructif.....	70
5.16.1	Généralités	70
5.16.2	Séquence d'essais pour condensateurs à courant alternatif.....	71
5.16.3	Séquence d'essais pour condensateurs à courant continu	72
5.17	Essai de déconnexion des coupe-circuits internes.....	75
5.17.1	Généralités.....	75
5.17.2	Exigences de déconnexion.....	75
5.17.3	Exigences de tenue au choc	75
5.17.4	Procédure d'essai	76
5.17.5	Mesure de capacité.....	77
5.17.6	Examen visuel	77
5.17.7	Essai de tension	77
5.18	Mesures de décharge partielle (essais de type facultatifs)	77
6	Surcharges	77
7	Exigences de sécurité	78
7.1	Dispositif de décharge	78
7.2	Connexions du boîtier.....	78
7.3	Protection de l'environnement.....	78
7.4	Risque d'incendie	79
7.5	Autres exigences de sécurité	79
8	Marquages	79
8.1	Marquage des unités	79
8.1.1	Plaque d'identification	79
8.1.2	Fiche technique	80
9	Guide d'installation et de fonctionnement	80
9.1	Généralités.....	80
9.2	Choix de la tension assignée	80
9.3	Température de fonctionnement	81
9.3.1	Installation	81
9.3.2	Conditions de refroidissement inhabituelles.....	81
9.4	Conditions de service particulières.....	82
9.5	Surtensions	82
9.6	Courants de surcharge	82
9.7	Dispositifs de commutation et de protection	82
9.8	Choix des lignes de fuite et des distances d'isolement	82
9.9	Connexions	83
9.10	Connexions parallèles des condensateurs.....	83
9.11	Connexions de condensateurs en série.....	83
9.12	Pertes magnétiques et courants de Foucault.....	83
9.13	Guide pour la protection par coupe-circuit à fusibles interne et sectionneur dans les condensateurs	84

9.14 Guide pour les condensateurs non protégés.....	84
Annexe A (informative) Formes d'onde.....	85
Annexe B (normative) Limites de fonctionnement des condensateurs avec des tensions sinusoïdales exprimées en fonction de la fréquence et à température maximale ($\theta_{\max}$).....	87
Annexe C (normative) Méthodes de mesure de la fréquence de résonance – Exemples.....	89
Bibliographie.....	91
Figure 1 – Montage pour essai destructif.....	72
Figure 2 – Source N de courant continu – type 1.....	74
Figure 3 – Source N de courant continu – type 2.....	74
Figure A.1a – Forme d'onde de commutation.....	85
Figure A.1b – Exemple de circuit de commutation.....	86
Figure A.1c – Condensateur d'amortissement pour forme d'onde de thyristors blocables par la gâchette (GTO).....	86
Figure A.1d – Exemple de circuit d'amortissement.....	86
Figure B.1 – Conditions d'alimentation électrique.....	87
Figure C.1 – Circuit de mesure.....	89
Figure C.2 – Relation entre la tension aux bornes du condensateur et la fréquence d'alimentation.....	90
Figure C.3 – Forme d'onde du courant de décharge.....	90
Tableau 1 – Température maximale de l'agent de refroidissement pendant une durée illimitée.....	58
Tableau 2 – Résumé des essais.....	61
Tableau 3 – Tension d'essai entre bornes.....	62
Tableau 4 – Essai à chaleur humide.....	67
Tableau 5 – Essai de robustesse des bornes.....	67
Tableau 6 – Exemple de courant admissible des bornes à vis et boulons.....	68
Tableau 7 – Essai d'endurance.....	69
Tableau 8 – Essai destructif en fonction du type de système de sécurité.....	70
Tableau 9 – Tension maximale admissible.....	78

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**APPLICATIONS FERROVIAIRES –
MATÉRIEL ROULANT –
CONDENSATEURS POUR ÉLECTRONIQUE DE PUISSANCE –****Partie 1: Condensateurs papier et film plastique**

AVANT-PROPOS

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

La Norme internationale CEI 61881-1 a été établie par le comité d'études 9 de la CEI: Matériels et systèmes électriques ferroviaires.

La CEI 61881-1 annule et remplace la CEI 61881 (1999).

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
9/1405/FDIS	9/1454/RVD

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

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

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

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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61881-1:2010

APPLICATIONS FERROVIAIRES – MATÉRIEL ROULANT – CONDENSATEURS POUR ÉLECTRONIQUE DE PUISSANCE –

Partie 1: Condensateurs papier et film plastique

1 Domaine d'application

La présente partie de la CEI 61881 s'applique aux condensateurs pour électronique de puissance destinés à être utilisés sur le matériel roulant.

La tension assignée des condensateurs couverts par la présente partie est limitée à 10 000 V.

La fréquence de fonctionnement des systèmes dans lesquels ces condensateurs sont utilisés atteint généralement jusqu'à 15 kHz, tandis que les fréquences d'impulsion peuvent atteindre de 5 à 10 fois la fréquence de fonctionnement.

Une distinction est faite entre les condensateurs pour courant alternatif et ceux pour courant continu.

Ils sont considérés comme des composants montés dans des enveloppes.

NOTE La présente norme recouvre une gamme extrêmement vaste de condensateurs destinés à de nombreuses applications: protection contre les surtensions, filtrage côté continu et côté alternatif, circuits de commutation, stockage d'énergie en courant continu, onduleurs auxiliaires, etc.

Des exemples sont fournis à l'Article 9.

Les éléments suivants sont exclus de la présente norme:

- condensateurs pour les installations de génération de chaleur par induction soumis à des fréquences comprises entre 40 Hz et 24 000 Hz (voir CEI 60110-1 et CEI 60110-2);
- condensateurs des moteurs et applications semblables (voir CEI 60252-1 et CEI 60252-2);
- condensateurs destinés à être utilisés dans les circuits pour le blocage d'un ou plusieurs harmoniques dans les réseaux d'alimentation;
- condensateurs pour courant alternatif de petite taille utilisés pour les lampes à fluorescence et à décharge (voir CEI 61048 et CEI 61049);
- condensateurs d'antiparasitage (voir CEI 60384-14);
- condensateurs shunt destinés à être installés sur des réseaux à courant alternatif avec tension assignée supérieure à 1 000 V (voir CEI 60871-1 et CEI 60871-2);
- condensateurs shunt de puissance autorégénérateurs destinés à être installés sur des réseaux à courant alternatif de tension assignée inférieure ou égale à 1 000 V (voir CEI 60831-1 et CEI 60831-2);
- condensateurs shunt de puissance non autorégénérateurs destinés à être utilisés sur des réseaux de courant alternatif de tension assignée inférieure ou égale à 1 000 V (voir CEI 60931-1 et CEI 60931-2);
- condensateurs en série destinés à être utilisés sur des réseaux (voir CEI 60143-1, CEI 60143-2 et CEI 60143-3);
- condensateurs de couplage et diviseurs capacitifs (voir CEI 60358);
- condensateurs destinés à des applications nécessitant un stockage d'énergie/décharge de courant élevé telles que des photocopieurs et des lasers;

- condensateurs pour four à micro-ondes;
- condensateurs pour électronique de puissance (voir CEI 61071).

2 Références normatives

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

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

CEI 60068-2-20, *Essais d'environnement – Partie 2-20: Essais. Essai T: Méthodes d'essai de la brasabilité et de la résistance à la chaleur de brasage des dispositifs à broches*

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

CEI 60068-2-78, *Essais d'environnement – Partie 2-78: Essais. Essai Cab: Chaleur humide, essai continu*

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

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

CEI 60695-11-5, *Essais relatifs aux risques du feu – Partie 11-5: Flammes d'essai – Méthode d'essai au brûleur-aiguille – Appareillage, dispositif d'essai de vérification et lignes directrices*

CEI 60721-3-5, *Classification des conditions d'environnement – Partie 3: Classification des groupements des agents d'environnement et de leurs sévérités – Section 5: Installations des véhicules terrestres*

CEI 61373, *Applications ferroviaires – Matériel roulant – Essais de chocs et vibrations*

CEI 62491, *Systèmes industriels, installations et appareils et produits industriels – Etiquetage des câbles et des conducteurs isolés*

CEI 62497-1, *Applications ferroviaires – Coordination de l'isolement – Partie 1: Exigences fondamentales – Distances d'isolement dans l'air et lignes de fuite pour tout matériel électrique et électronique*

3 Termes et définitions

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

3.1

élément de condensateur (ou élément)

partie indivisible d'un condensateur constituée de deux électrodes séparées par un diélectrique

3.2

condensateur unitaire (ou unité)

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

3.3

batterie de condensateurs

ensemble de deux condensateurs unitaires ou plus, raccordés entre eux électriquement

3.4

condensateur

terme générique utilisé quand il n'est pas nécessaire d'indiquer si l'on fait référence à un élément, une unité ou une batterie de condensateurs

3.5

installation de condensateurs

ensemble de condensateurs unitaires et de leurs accessoires, destiné à la connexion à un réseau

3.6

condensateur pour électronique de puissance

condensateur de puissance destiné à être utilisé dans un matériel électronique de puissance et capable de fonctionner de façon continue pour un courant et une tension sinusoïdaux ou non

3.7

condensateur à feuille métallique (non autorégénérateur)

condensateur dont les électrodes sont généralement constituées de feuilles métalliques séparées par un diélectrique; en cas de claquage du diélectrique, le condensateur ne se rétablit pas

3.8

condensateur à diélectrique métallisé autorégénérateur

condensateur dont les électrodes sont métallisées (généralement par évaporation); en cas de claquage du diélectrique, le condensateur se rétablit

3.9

condensateur pour courant alternatif

condensateur essentiellement conçu pour fonctionner sous tension alternative

NOTE Il est admis d'utiliser les condensateurs pour courant alternatif avec une tension continue atteignant la tension assignée seulement avec l'autorisation du constructeur du condensateur.

3.10

condensateur pour courant continu

condensateur essentiellement conçu pour fonctionner sous tension continue

NOTE Il est admis d'utiliser les condensateurs pour courant continu sous une tension alternative spécifiée seulement avec l'autorisation du constructeur du condensateur.

3.11

condensateur modèle

unité réduite simulant une unité ou un élément complet lors d'un essai électrique, sans diminuer la sévérité des conditions électriques, thermiques ou mécaniques

NOTE Il est recommandé de toujours considérer la somme combinée des contraintes, par exemple la somme des contraintes de température, de conditions mécaniques et électriques.

3.12

coupe-circuit (élément) interne

dispositif intégré dans le condensateur déconnectant un élément ou un groupe d'éléments en cas de claquage

3.13 dispositifs de sécurité

3.13.1

sectionneur à surpression

dispositif de déconnexion placé à l'intérieur d'un condensateur, destiné à interrompre le passage du courant en cas de défaut du condensateur

3.13.2

détecteur de surpression

dispositif conçu pour détecter une augmentation anormale de la pression interne par un/une signal/coupeure électrique et qui interrompt indirectement le passage du courant

3.13.3

structure de métallisation segmentée

structure de la couche métallique située au-dessus du diélectrique conformée 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'élément avec une perte de capacité négligeable

3.13.4

structure de métallisation spéciale non segmentée

structure de la couche métallique située au-dessus du diélectrique conformée de façon que les propriétés d'autorégénération de sûreté agissant à une tension allant jusqu'à U_s garantissent toute la fonctionnalité de l'élément avec une perte de capacité négligeable

3.14

dispositif de décharge d'un condensateur

dispositif pouvant être incorporé au sein d'un condensateur, capable de réduire pratiquement jusqu'à zéro la tension entre les bornes, en une durée donnée, après avoir déconnecté le condensateur d'un réseau

3.15

tension alternative assignée (U_N)

tension récurrente de crête maximale en fonctionnement de l'une ou l'autre des polarités, présentant une forme d'onde d'inversion pour laquelle le condensateur a été conçu

NOTE 1 La forme d'onde peut être variée. Des exemples sont donnés dans l'Annexe A.

NOTE 2 Il est admis que la valeur moyenne de la forme d'onde soit positive ou négative.

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

NOTE 4 Les définitions utilisées dans la présente norme peuvent différer de celles de la CEI 60077-1.

3.16

tension continue assignée (U_{NDC})

tension de crête maximale en fonctionnement de l'une ou l'autre des polarités mais présentant une forme d'onde sans inversion, pour laquelle le condensateur a été conçu, en vue d'un fonctionnement continu

Les condensateurs d'amortissement, pour thyristors blocables par la gâchette (GTO), peuvent être considérés comme des condensateurs pour courant continu avec une tension d'ondulation égale à la tension continue assignée $U_{NDC} = U_r$.

Dans le cas d'une tension d'inversion, il convient que l'utilisation fasse l'objet d'un accord entre l'utilisateur et le constructeur.

NOTE Si la tension d'inversion est faible (moins de 10 %), on peut considérer qu'il n'y a plus d'inversion de la forme d'onde. Il est recommandé pour les essais d'augmenter U_{NDC} et U_r de la tension d'inversion U .

3.17**tension d'ondulation (U_r)**

composante alternative crête-à-crête de la tension unidirectionnelle

3.18**tension de choc non récurrente (U_s)**

tension de crête provoquée par une commutation ou toute autre perturbation du système, autorisée pour un nombre de fois limité et pendant des durées inférieures à la période de base

3.19**tension d'isolement (U_i)**

valeur efficace de l'onde sinusoïdale de tension conçue pour l'isolement des bornes des condensateurs par rapport au boîtier ou à la terre. En l'absence de spécification, la valeur efficace de la tension d'isolement est équivalente à la tension assignée divisée par $\sqrt{2}$.

3.20**courant de crête maximal ($\hat{I}$)**

courant de crête maximal pouvant survenir en fonctionnement continu

3.21**courant maximal ($I_{\max}$)**

courant efficace maximal en fonctionnement continu

3.22**courant de choc maximal ($\hat{I}_s$)**

courant de crête non répétitif provoqué par une commutation ou toute autre perturbation du système, autorisé pour un nombre de fois limité et pendant des durées inférieures à la période de base

3.23**fréquence des impulsions (f_p)**

fréquence de répétition des impulsions de courant périodique

3.24**largeur d'impulsion de courant (τ)**

durée du passage du courant durant la charge ou la décharge d'une valeur de tension à une autre au niveau du condensateur

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

3.25**fréquence de résonance (f_r)**

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

3.26**cycle de service****3.26.1****service continu**

durée de fonctionnement telle qu'un condensateur soit en équilibre thermique la plupart du temps

3.26.2**service intermittent**

fonctionnement discontinu avec des charges variables qu'il convient de décrire en termes de périodes MARCHE/ARRÊT ou ÉLEVÉ/FAIBLE accompagnées de leur durée

3.27

température de fonctionnement

température du point le plus chaud sur le boîtier du condensateur en équilibre thermique

3.28

température minimale de fonctionnement ($\theta_{\min}$)

température minimale à laquelle il est permis d'alimenter le condensateur

3.29

échauffement du boîtier ($\Delta\theta_{\text{boîtier}}$)

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

3.30

température de l'air de refroidissement (θ_{amb})

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

Si une seule unité est impliquée, il s'agit de la température mesurée au niveau du point situé approximativement à 0,1 m du boîtier du condensateur et aux deux tiers de la hauteur de sa base.

3.30.1

température de sortie du fluide pour condensateurs à refroidissement forcé

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

3.30.2

température d'entrée du fluide pour condensateurs à refroidissement forcé

température du fluide de refroidissement mesurée au milieu du canal d'entrée du fluide en un point ne subissant pas l'influence de la dissipation de chaleur du condensateur

3.31

température maximale de fonctionnement ($\theta_{\max}$)

température maximale du boîtier à laquelle il est admis de faire fonctionner le condensateur

3.32

conditions de régime établi

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

3.33

pertes du condensateur

puissance active consommée par un condensateur

NOTE Sauf spécification contraire, il est considéré que les pertes du condensateur incluent les pertes au niveau des coupe-circuits et des résistances de décharge faisant partie intégrante du condensateur.

A fréquence élevée, les pertes du condensateur sont principalement dues aux pertes au niveau des connexions, des contacts et des électrodes.

3.34

tangente de l'angle de perte d'un condensateur $\tan \delta$

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

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

$$\tan \delta = \text{facteur de perte diélectrique}$$

3.35**résistance-série équivalente d'un condensateur R_{esr}**

résistance effective qui, connectée en série avec un condensateur idéal de capacité égale à celle du condensateur considéré, occasionnerait des pertes égales à la puissance active absorbée par le condensateur, dans des conditions de fonctionnement spécifiées

3.36**résistance en série R_s**

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

3.37**perte maximale en puissance (P_{max})**

perte maximale en puissance avec laquelle il est admis de charger le condensateur à la température maximale de boîtier

3.38**fréquence maximale pour perte de puissance et courant maximaux (f_2)**

fréquence à laquelle le courant maximum (I_{max}) produit la perte maximale en puissance (P_{max}) dans le condensateur. Voir à l'Annexe B les explications concernant (f_2).

4 Conditions de service

NOTE Voir la CEI 60077-1.

4.1 Conditions de service normales

La présente norme donne des exigences relatives aux condensateurs destinés à être utilisés dans les conditions données ci-dessous:

4.1.1 Altitude

Ne dépassant pas 1 400 m (CEI 62491 classe A1).

NOTE Il convient de tenir compte de l'effet de l'altitude sur le refroidissement par convection et l'isolation externe, si l'altitude dépasse 1400 m. Dans ce cas, la correction ou l'établissement d'une structure adaptée doit faire l'objet d'un accord entre le constructeur et l'utilisateur

4.1.2 Température

Les températures climatiques ambiantes sont dérivées de la classe 5k2 de la CEI 60721-3-5 présentant une gamme de -25 °C à $+40\text{ °C}$.

Lorsque la température ambiante se situe en-dehors de cette gamme, elle doit faire l'objet d'un accord entre l'utilisateur et le constructeur.

La limite supérieure de température du boîtier θ_{max} à laquelle il est permis de faire fonctionner le condensateur doit être choisie parmi les valeurs suivantes 55 °C , 70 °C et 85 °C .

4.1.3 Température de fonctionnement avec ventilation forcée

Si des condensateurs sont destinés à un refroidissement forcé avec un agent liquide, les conditions de température de fonctionnement spécifiées en 4.1.2 doivent être observées.

Le Tableau 1 suivant, indiquant les températures privilégiées pour le liquide de refroidissement, doit être appliqué.

Tableau 1 – Température maximale de l'agent de refroidissement pendant une durée illimitée

Température d'entrée °C	Température de sortie °C
35	40
45	50
55	60

On admet que la température d'entrée la plus basse du liquide de refroidissement soit de -25°C .

Il existe deux méthodes pour spécifier la limite supérieure de température de l'agent de refroidissement en utilisant soit la température d'entrée, soit la température de sortie.

Sauf spécification contraire, le choix de la méthode doit être laissé au constructeur du condensateur.

Pour la méthode d'entrée, le flux de l'agent de refroidissement doit être spécifié.

4.2 Conditions de service inhabituelles

La présente norme ne s'applique pas aux condensateurs présentant des conditions de service généralement incompatibles avec ses exigences, sauf si un accord particulier a été passé entre le constructeur et l'utilisateur.

Des conditions de service inhabituelles nécessitent des mesures supplémentaires qui assurent le respect des conditions de la présente norme, même dans ces conditions de service inhabituelles.

Si de telles conditions de service inhabituelles existent, elles doivent alors être communiquées au constructeur du condensateur.

Les conditions de service inhabituelles peuvent inclure:

- des chocs et vibrations mécaniques inhabituels,
- de l'eau de refroidissement contenant des particules corrosives ou obstructives (eau de mer, eau très dure),
- des particules corrosives et abrasives dans l'air de refroidissement,
- de la poussière dans l'air de refroidissement, en particulier si elle est conductrice,
- de la poussière ou un gaz explosif,
- de l'huile ou de la vapeur d'eau ou des substances corrosives,
- un rayonnement nucléaire,
- une température inhabituelle de stockage ou de transport,
- une hygrométrie inhabituelle (région tropicale ou subtropicale),
- des variations excessives et rapides de la température (plus de 5°C/h) ou de l'hygrométrie (plus de $5\%/h$),
- des zones de service à une altitude supérieure à 1 400 m au-dessus du niveau de la mer,
- des champs électromagnétiques superposés,
- des surtensions excessives, dans la mesure où elles dépassent les limites données à l'Article 6,

- des installations étanches à l'air (renouvellement de l'air médiocre).

5 Exigences de qualité et essais

5.1 Exigences d'essai

5.1.1 Généralités

Le présent paragraphe indique les exigences d'essai relatives aux condensateurs unitaires.

5.1.2 Conditions d'essai

Sauf spécification contraire en cas de mesure ou d'essai particulier, la température du diélectrique du condensateur doit être comprise entre +5 °C et +35 °C.

Si des corrections sont nécessaires, la température de référence doit être de +20 °C, sauf s'il en a été convenu autrement par le constructeur et l'utilisateur.

NOTE Il est permis de présumer que la température du diélectrique est identique à la température ambiante, à condition que le condensateur ait été maintenu dans un état non alimenté à une température ambiante constante pendant une période adéquate afin d'atteindre l'équilibre thermique.

Les essais et mesures en courant alternatif doivent être réalisés avec une tension sinusoïdale de 50 Hz ou 60 Hz, sauf spécification contraire.

5.2 Classification des essais

Les essais sont classés en essais de série, essais de type et essais d'acceptation comme suit:

5.2.1 Essais de série

Les essais de série sont les suivants:

- a) essai d'étanchéité (5.8);
- b) examen externe (5.14.2);
- c) essai de tension entre bornes (5.5.2);
- d) essai de tension entre bornes et boîtier (5.6.1);
- e) mesures de capacité et de $\tan \delta$ (5.3);
- f) essai de dispositif de décharge interne (5.7);

Les essais de série doivent être réalisés par le constructeur sur chaque condensateur avant la livraison.

Sur sa demande, l'utilisateur doit recevoir un certificat détaillant les résultats de ce type d'essais. La séquence d'essais suit la séquence indiquée.

5.2.2 Essais de type

Sauf spécification contraire, chaque échantillon de condensateur destiné à subir un essai de type doit avoir d'abord subi avec succès l'application de tous les essais de série.

Les essais de type sont les suivants:

- a) essai de tension entre bornes (5.5.3);
- b) essai de tension entre bornes et boîtier (5.6.2);
- c) essai de tension de choc (5.9);

- d) essai d'autorégénération (5.11);
- e) essais d'environnement (5.13);
- f) essais mécaniques (5.14);
- g) mesure de la tangente de l'angle de perte ($\tan \delta$) d'un condensateur (5.4);
- h) essai de stabilité thermique (5.10);
- i) essai de dispositif de décharge interne (5.7);
- j) mesure de la fréquence de résonance (5.12);
- k) essai d'endurance entre bornes (5.15);
- l) essai de déconnexion au niveau des coupe-circuits (5.17);
- m) essai destructif (5.16).

Les essais de type sont destinés à montrer le bien-fondé de la conception du condensateur et sa capacité à fonctionner d'après les considérations détaillées dans la présente norme.

Les essais de type doivent être réalisés par le constructeur, et l'utilisateur doit, sur sa demande, recevoir un certificat détaillant les résultats de ces essais.

Ces essais doivent être réalisés sur un condensateur de conception identique à celle du condensateur faisant l'objet du contrat, ou sur un condensateur dont la conception donne au cours de l'essai des conditions d'essai identiques ou plus sévères.

Il n'est pas essentiel que tous les essais de type soient réalisés sur le même échantillon de condensateur. Le choix est laissé au constructeur.

5.2.3 Essais d'acceptation

Il est admis que les essais de série et/ou de type, ou certains d'entre eux, soient réalisés par le constructeur après accord avec l'utilisateur.

Le nombre d'échantillons susceptibles d'être soumis à ces essais répétés, ainsi que les critères d'acceptation et l'autorisation de livrer ces unités doivent faire l'objet d'un accord entre le constructeur et l'utilisateur, et doivent être indiqués dans le contrat.

5.2.4 Résumé des essais

Le Tableau 2 répertorie les essais de type et les essais de série relatifs aux condensateurs unitaires.

Tableau 2 – Résumé des essais

	Essai	Type	Série
1	Mesures de capacité et de $\tan \delta$	-	5.3
2	Mesure de la tangente de perte ($\tan \delta$) du condensateur	5.4	-
3	Essai de tension entre bornes	5.5.3	5.5.2
4	Essai de tension entre bornes et boîtier	5.6.2	5.6.1
5	Essai de dispositif de décharge interne	5.7	5.7
6	Essai d'étanchéité	-	5.8
7	Essai de tension de choc	5.9	-
8	Essai de stabilité thermique	5.10	-
9	Essai d'autorégénération	5.11	-
10	Mesure de la fréquence de résonance	5.12	-
11	Essais d'environnement	5.13	-
12	Essais mécaniques	5.14	-
13	Examen externe	-	5.14.2
14	Essai d'endurance	5.15	-
15	Essai destructif	5.16	-
16	Essai de déconnexion au niveau des coupe-circuits	5.17	

5.3 Mesures de la capacité et de $\tan \delta$ (essai de série)

5.3.1 Procédure de mesure

La capacité et la tangente δ doivent être mesurées pour une tension et une fréquence choisies par le constructeur.

La méthode utilisée ne doit inclure aucune erreur due à des harmoniques ou des accessoires extérieurs au condensateur à mesurer, tels que des bobines d'inductance et des circuits de blocage dans le circuit de mesure.

La précision de la méthode de mesure doit être indiquée et doit être supérieure à 0,2 %, pour la capacité, et à 10 % pour $\tan \delta$, sans toutefois nécessairement dépasser 1×10^{-4} si la mesure est réalisée à 50-60 Hz.

NOTE Pour des condensateurs de l'ordre du milliFarad, une précision plus faible peut être appropriée.

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

Pour les condensateurs dotés de coupe-circuits internes, la mesure de la capacité doit également être effectuée avant les essais de tension.

5.3.2 Tolérances de capacité

Sauf spécification contraire, la capacité mesurée ne doit pas différer de la capacité assignée de plus de -10 % à +10 %.

5.3.3 Exigences de perte ($\tan \delta$)

On admet que les exigences relatives aux pertes du condensateur fassent l'objet d'un accord entre le constructeur et l'utilisateur.

NOTE Il convient que le constructeur, après accord, fournisse des courbes et des tableaux indiquant les pertes du condensateur dans des conditions de régime établi, à la puissance assignée, en fonction de la température ambiante selon la catégorie de température.

5.4 Mesure de la tangente de perte ($\tan \delta$) du condensateur (essai de type)

5.4.1 Mesures

Les mesures suivantes doivent être réalisées:

5.4.1.1 Condensateurs pour courant alternatif

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

5.4.1.2 Condensateurs pour courant continu

La mesure doit être réalisée avec une fréquence comprise entre 50 Hz et 60 Hz à la tension d'ondulation (U_r) divisée par $2\sqrt{2}$.

NOTE Les pertes dans les électrodes, les connexions, les sorties et les bornes sont fonction de la fréquence et peuvent être calculées.

5.4.2 Exigences de perte

La valeur de $\tan \delta$ mesurée conformément à 5.4.1 ne doit pas dépasser la valeur déclarée par le constructeur, ou la valeur convenue entre le constructeur et l'utilisateur.

5.5 Essai de tension entre bornes

5.5.1 Généralités

Les essais doivent être réalisés conformément au Tableau 3.

Tableau 3 – Tension d'essai entre bornes

	Condensateurs pour courant alternatif	Condensateurs pour courant continu	
	Tous types	Non autorégénérateur	Autorégénérateur
Valeur efficace de la tension d'essai alternative	$1,5 U_N$	–	–
Tension d'essai continue	$2,15 U_N$	$2 U_{NDC}$	$1,5 U_{NDC}$

La tension d'essai indiquée dans le Tableau peut être réduite si les condensateurs sont destinés à un service intermittent (voir 3.26.2) ou à une durée de fonctionnement réduite; les nouvelles valeurs doivent faire l'objet d'un accord entre le constructeur et l'utilisateur. Pour les condensateurs directement connectés à la ligne d'alimentation, la tension d'essai entre bornes peut être augmentée après accord entre constructeur et utilisateur.

NOTE Il est admis que la tension d'essai alternative soit à 50 Hz ou 60 Hz.

5.5.2 Essai de série

Chaque condensateur doit être soumis, pendant 10 s, à l'un des essais de 5.5.1 à la température ambiante. Le choix est laissé au constructeur. Au cours de l'essai, aucune perforation ni aucun contournement ne doit se produire.

Des claquages autorégénérateurs sont admis.

Il est permis de réduire la durée à 2 s à condition d'augmenter la tension de 10 %.

Ceci doit faire l'objet d'un accord entre le constructeur et l'utilisateur.

Dans le cas d'unités dont tous les éléments sont en parallèle, le fonctionnement d'un ou plusieurs coupe-circuits internes est admis, à condition que les tolérances de capacité soient toujours respectées.

NOTE Si nécessaire, cet essai peut être renouvelé une seule fois.

5.5.3 Essai de type

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

Le choix est laissé au constructeur.

Après l'essai de tension entre les bornes, on doit mesurer la capacité et $\tan \delta$.

5.6 Essai de tension alternative entre bornes et boîtier

5.6.1 Essai de série

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

Les valeurs de la tension d'essai sont les suivantes:

$$U_{t, \text{boîtier}} = 2 U_i + 1\,000 \text{ V ou } 2\,000 \text{ V en choisissant la valeur la plus élevée,}$$

où U_i représente la tension d'isolement.

Il est permis de réduire la durée à 2 s à condition d'augmenter la tension de 10 %.

Ceci doit faire l'objet d'un accord entre le constructeur et l'utilisateur.

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

Au cours de l'essai, aucune perforation ni aucun contournement ne doit se produire. L'essai doit être réalisé même si l'une des bornes est destinée à être connectée au boîtier en service.

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

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

NOTE 2 Il convient que l'essai de tension entre le détecteur de surpression et le boîtier fasse l'objet d'un accord entre l'utilisateur et le constructeur.

NOTE 3 Si nécessaire, cet essai peut être renouvelé une seule fois.

5.6.2 Essai de type

Les unités dont toutes les bornes sont isolées du boîtier doivent être soumises à un essai conformément à 5.6.1 avec la même valeur de tension, mais pendant une durée de 1 min. Pour les condensateurs directement connectés à la ligne d'alimentation, la tension d'essai peut être augmentée après accord entre constructeur et utilisateur.

Les condensateurs avec un boîtier isolant doivent être étroitement enveloppés dans une feuille métallique durant l'essai.

5.7 Essai de dispositif de décharge interne

La résistance du dispositif de décharge interne, le cas échéant, doit être vérifiée soit par une mesure de résistance, soit par une mesure du taux d'autodécharge.

L'essai doit être réalisé après les essais de tension de 5.5.

5.8 Essai d'étanchéité

Les condensateurs unitaires non alimentés doivent être chauffés à une température uniforme correspondant au moins à leur température de fonctionnement maximale plus 5 °C et ils doivent être maintenus à cette température pendant une durée au moins triple de la constante thermique, mais de 2 h au minimum.

Aucune fuite ne doit survenir. Il est recommandé d'utiliser un indicateur adapté.

La source de fuite du condensateur doit être détectable par inspection visuelle.

La position d'essai du condensateur unitaire doit être définie après accord entre le constructeur et l'utilisateur en prenant en compte sa position usuelle.

NOTE Si le condensateur ne comporte aucun matériau liquide, le choix d'effectuer ou non cet essai et celui de la méthode d'essai sont laissés au constructeur, et il convient que celui-ci soit réalisé par échantillonnage.

5.9 Essai de tension de choc

Les unités doivent être chargées au moyen d'une source de courant continu, puis déchargées dans un éclateur situé le plus près possible du condensateur. Elles doivent être soumises à cinq décharges de ce type dans un intervalle de 10 min. Pour les grandes unités, un intervalle supérieur à 10 min peut être nécessaire.

La tension d'essai doit être égale à $1,1 U_N$.

Dans les 5 min suivant l'essai, les unités doivent être soumises à un essai de tension entre bornes (voir 5.5).

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

La mesure ne doit pas présenter de différence supérieure à celle correspondant au claquage d'un élément ou au déclenchement d'un coupe-circuit interne.

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

La formule suivante doit être vérifiée: $\tan \delta \leq 1,2 \times \tan \delta_0 + 1 \times 10^{-4}$.

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

Si l'on spécifie cependant un courant de choc maximum, le courant de décharge doit être adapté en modifiant la tension de charge et l'impédance du circuit de décharge selon une valeur de:

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

5.10 Essai de stabilité thermique

5.10.1 Généralités

Cet essai est réalisé à la fois sur les condensateurs pour courant alternatif et sur ceux pour courant continu, et il fournit les informations suivantes sur les condensateurs qui y sont soumis:

- a) il détermine la stabilité thermique du condensateur dans des conditions de surcharge;
- b) il conditionne le condensateur afin de permettre une mesure reproductible des pertes.

5.10.2 Procédure de mesure

Un condensateur unitaire doit être placé dans une enceinte où doit régner une température de refroidissement correspondant:

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

Après que toutes les parties du condensateur ont atteint la température de l'agent de refroidissement, le condensateur doit être soumis, pendant une période d'au moins 48 h, à une tension alternative de forme essentiellement sinusoïdale.

La valeur de la tension et de la fréquence doit être maintenue constante tout au long de l'essai.

Le courant doit être de $1,1 I_{\text{max}}$.

Les conditions d'alimentation sont celles indiquées dans l'Annexe B avec une puissance $= 1,21 P_{\text{max}}$.

Pendant 6 h au moins, la température du boîtier près du sommet doit être mesurée au moins quatre fois; durant toute cette période de 6 h, l'échauffement ne doit pas dépasser 1 °C.

Si l'on observe une variation plus importante, il est permis de poursuivre l'essai jusqu'à ce que l'exigence ci-dessus soit satisfaite lors de quatre mesures consécutives pendant une période de 6 h.

Avant et après l'essai, la capacité doit être mesurée dans la gamme de températures définie en 5.1.2 pour les essais et les deux mesures doivent être corrigées en fonction de la même température de diélectrique.

La différence entre les deux mesures doit être inférieure à une valeur correspondant au claquage d'un élément ou au déclenchement d'un coupe-circuit interne. A la fin de cet essai, la mesure de $\tan \delta$ est réalisée (voir 5.4.1).

NOTE 1 Lorsque l'on vérifie la conformité des pertes du condensateur ou des conditions de température, il convient de prendre en compte les variations de tension, de fréquence et de température de l'agent de refroidissement au cours de l'essai. Pour cette raison, il est recommandé d'effectuer un traçage de ces paramètres et de la température du boîtier en fonction du temps.

NOTE 2 Il est permis de réaliser l'essai, après accord entre le constructeur et l'utilisateur, avec une tension non sinusoïdale, à condition que les valeurs du courant et des pertes en puissance restent égales à $1,1 I_{\max}$ et $1,21 P_{\max}$.

5.11 Essai d'autorégénération

Il est permis de réaliser cet essai sur une unité complète, ou sur un élément séparé, ou sur un groupe d'éléments appartenant à l'unité, à condition que les éléments en essai soient identiques à ceux utilisés dans l'unité et que leurs conditions soient similaires à celles de l'unité. Le choix est laissé au constructeur. Cet essai doit être réalisé en vue de démontrer les propriétés d'autorégénération; il est uniquement applicable aux condensateurs autorégénérateurs.

Le condensateur ou l'élément doit être soumis pendant 10 s à une tension continue: 1,1 fois la tension non récurrente/de choc (U_s), ou la tension d'essai de série ($2,15 U_N$ pour les condensateurs à courant alternatif, $1,5 U_{NDC}$ pour les condensateurs à courant continu) en fonction de la valeur la plus élevée.

Si moins de cinq mises hors-circuit surviennent durant cette période, la tension doit être augmentée lentement jusqu'à obtenir cinq mises hors-circuit depuis le début de l'essai ou jusqu'à ce que la tension ait atteint 2,5 fois la tension assignée.

Si moins de cinq mises hors-circuit surviennent durant cette période lorsque la tension a atteint $2,5 U_N$, pendant une durée de 10 s, l'essai doit être terminé.

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

La formule suivante doit être vérifiée: $\tan \delta \leq 1,1 \tan \delta_0 + 1 \times 10^{-4}$.

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

5.12 Mesure de la fréquence de résonance

La fréquence de résonance doit être mesurée dans la gamme de températures indiquée en 5.1.2, en utilisant une méthode permettant de minimiser les erreurs dues aux connexions et accessoires.

La méthode de mesure la plus adaptée peut être choisie parmi les deux exemples indiqués dans l'Annexe C.

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

NOTE L'auto-inductance est calculée à partir de la fréquence de résonance et il convient que la valeur de l'auto-inductance ne dépasse pas la valeur ayant fait l'objet d'un accord entre constructeur et l'utilisateur.

5.13 Essai d'environnement

5.13.1 Variation de température

L'essai de variation de température doit être réalisé conformément à l'essai Na ou Nb décrit dans la CEI 60068-2-14, après accord entre l'utilisateur et le constructeur, selon les limites supérieures et inférieures de température du condensateur.

L'essai Nb doit être réalisé avec une période de transition d'environ 1 h ($1^\circ\text{C}/\text{min}$).

5.13.2 Chaleur humide, essai continu

L'essai à chaleur humide en régime établi (voir Tableau 4) doit être réalisé conformément à la CEI 60068-2-78 avec un degré de sévérité conforme à la catégorie d'emplacement du condensateur.

Avant le début de l'essai de longue durée, la capacité doit être mesurée à température ambiante. Après la réalisation de l'essai en régime établi, le condensateur doit être soumis à un essai de tension entre bornes conformément à 5.5.1, et à une rigidité diélectrique entre les bornes et le boîtier, conformément à 5.6.1.

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

Aucun échantillon d'essai ne doit subir de perforation ou de contournement. Des mises hors-circuit autorégénératrices sont permises. La variation de capacité ne doit pas dépasser 2 %.

Tableau 4 – Essai à chaleur humide

Classe d'application du condensateur	Essai	Environnement d'essai	Durée jours
	Ca	40/93	56
	Ca	40/93	21

5.14 Essais mécaniques

5.14.1 Essais mécaniques des bornes

La robustesse des terminaisons doit faire l'objet d'essais conformément aux Tableaux 5 et 6.

Tableau 5 – Essai de robustesse des bornes

1 No.	2 Essais ou mesures	3 Caractéristiques		4 Critères d'essai
1	Résistance à la traction des câbles de connexion et des connexions soudées	CEI 60068-2-21	Ua1	Individuel avec poids du condensateur, au minimum 10 N
2	Résistance à la flexion des connexions		Ub1	Nombre de cycles de flexion: 2
3	Résistance à la flexion des cosses à souder et des cosses de fiches plates		Ub2	Nombre de cycles de flexion, pour cosses soudées avec câble connecté également: 2
4	Résistance à la torsion des sorties axiales		Uc	Sévérité 2
5	Résistance au couple des éléments vissés et boulonnés		Ud	Sévérité 2
6	Brasabilité et résistance à la chaleur des connexions brasées	CEI 60068-2-20		Fer à souder à 350 °C Taille A

Tableau 6 – Exemple de courant admissible des bornes à vis et boulons

Courant efficace maximal continu A	Pas de l'écrou	Matériau du boulon	Couple Nm	
			Max.	Min.
10	M 3,5	Laiton	0,8	0,4
16	M 4		1,2	0,6
25	M 5		2,0	1,0
63	M 6		3,0	1,5
100	M 8		6,0	3,0
160	M 10		10,0	5,0
250	M 12		15,5	7,5
315	M 16		30,0	15,0
400	M 20		52,0	26,0

NOTE D'autres matériaux que le laiton sont autorisés à condition qu'ils présentent des propriétés électriques et mécaniques équivalentes ou supérieures.

5.14.2 Examen externe

Les condensateurs sont soumis à un examen visuel et à une vérification de la finition et du marquage.

5.14.3 Vibrations et chocs

Voir la CEI 61373. Pour des condensateurs non normalisés, spécialement spécifiés, les conditions d'essai peuvent faire l'objet d'un accord entre le constructeur et l'utilisateur, par exemple, pour la réalisation d'essais sur l'unité d'application complète.

5.15 Essai d'endurance

L'essai d'endurance a pour objectif de démontrer les caractéristiques de fonctionnement du condensateur dans les conditions survenant effectivement en service.

L'essai d'endurance doit être réalisé sur une unité complète ou des condensateurs modélisés.

5.15.1 Conditionnement des unités avant l'essai

Les unités doivent être exposées à 1,1 fois U_N en air calme à une température d'au moins +10 °C pendant 16 h à 24 h.

NOTE Cette procédure est laissée au choix du constructeur.

5.15.2 Mesures de la capacité initiale et du facteur de perte

Les unités doivent être placées pendant 12 h au moins, dans un état non alimenté, dans une pièce ventilée, à une température de (30 ± 2) °C.

Les mesures doivent être réalisées de la même manière qu'en 5.3 à une température ambiante identique, 5 min après l'application de tension.

5.15.3 Essai d'endurance

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

Les unités d'essai doivent être placées dans la chambre chauffée et être alimentées selon les conditions appropriées décrites dans le Tableau 7. Les condensateurs pour courant alternatif et ceux pour courant continu doivent être soumis à l'essai approprié, selon la décision du constructeur. Lorsque l'unité a atteint la température d'essai, les conditions de refroidissement/réchauffement sont adaptées de manière à obtenir la stabilisation à cette température d'essai. Après cette stabilisation, aucune variation de la température de refroidissement/réchauffement n'est admise.

La température d'essai est la température maximale du boîtier ($\theta_{\max}$, voir 3.31) en condition de fonctionnement maximale continue, c'est-à-dire à l'exclusion des conditions de fonctionnement à durée réduite et des conditions exceptionnelles.

La tension d'essai U_t (tension continue pure ou sinusoïdale alternative avec une tension crête égale à U_{NDC} ou U_N multipliée par le facteur d'accélération) doit être appliquée. Un facteur d'accélération ou une durée d'essai différente peuvent être sélectionnés d'après le Tableau 7.

Le choix est laissé au constructeur. A la moitié de l'essai d'endurance, le condensateur doit être mis hors tension, refroidi en air calme à température ambiante, et soumis à 1 000 décharges comme en 5.9, mais avec un courant de crête de $1,4 \hat{I}$, où $\hat{I}$ représente le courant de crête maximal (voir 3.20).

La fréquence des décharges doit être décidée par le constructeur.

Dès que possible, les condensateurs doivent être remis sous tension afin d'achever l'essai.

Tableau 7 – Essai d'endurance

Type de condensateur	U_t	Pas des essais	Température	Durée ou nombre de décharges
Courant continu	$1,4 U_{\text{NDC}}$	$1,4 U_{\text{NDC}}$	Température d'essai	250 h
		$1,4 \hat{I}$	Température de salle	1 000 fois
		$1,4 U_{\text{NDC}}$	Température d'essai	250 h
	$1,3 U_{\text{NDC}}$	$1,3 U_{\text{NDC}}$	Température d'essai	500 h
		$1,4 \hat{I}$	Température de salle	1 000 fois
		$1,3 U_{\text{NDC}}$	Température d'essai	500 h
Courant alternatif	$1,35 U_N$ (voir note 1)	$1,35 U_N$	Température d'essai	250 h
		$1,4 \hat{I}$	Température de salle	1 000 fois
		$1,35 U_N$	Température d'essai	250 h
	$1,25 U_N$ (voir note 1)	$1,25 U_N$	Température d'essai	500 h
		$1,4 \hat{I}$	Température de salle	1 000 fois
		$1,25 U_N$	Température d'essai	500 h

NOTE 1 Les conditions pendant ces essais peuvent être différentes des conditions de service, par exemple 50 Hz ou 60 Hz pour tous les condensateurs pour courant alternatif.

NOTE 2 Un refroidissement par air forcé à bain de liquide peut être utilisé si la température du boîtier dépasse $\theta_{\max}$.

NOTE 3 Après accord entre utilisateur et constructeur, un condensateur d'amortissement pour thyristor blocable à porte (GTO) peut être soumis aux essais avec une tension d'ondulation (unidirectionnelle) $U_t = U_r = (1,25 \text{ ou } 1,35) U_N$ comme pour les condensateurs pour courant alternatif.

5.15.4 Mesure de la capacité finale et de la tangente $\tan \delta$

La mesure doit être réalisée, comme indiqué dans l'Article 5 dans les deux jours suivant la fin de l'essai d'endurance.

5.15.5 Critères d'acceptation

Les mesures de capacité réalisées dans l'Article 5 ne doivent pas différer de plus de 3 % des valeurs initiales. Pour des condensateurs destinés à être utilisés comme filtres directement alimentés par la ligne d'alimentation, des tolérances plus contraignantes peuvent faire l'objet d'un accord entre utilisateur et constructeur.

Les pertes doivent être mentionnées dans le rapport d'essai.

Si un condensateur a été rejeté, l'essai est renouvelé et aucun autre échec n'est autorisé.

5.16 Essai destructif

5.16.1 Généralités

Cet essai est réalisé afin de donner une indication sur le comportement du condensateur à la fin de sa durée de vie et pour démontrer le bon fonctionnement du système de sécurité à l'intérieur des limites spécifiées.

Cet essai ne doit être effectué que sur les condensateurs protégés (voir 7.1) avec un quelconque système de sécurité, par exemple autorégénérateur. Cependant, il convient de prendre en compte les notes suivantes.

NOTE 1 Il convient que les condensateurs non autorégénérateurs protégés par des coupe-circuits internes soient conformes à 5.17. Pour ce type de condensateurs, la conformité à 5.17 est considérée comme équivalente à 5.16.

NOTE 2 Il convient que les condensateurs sans dispositif de déconnexion mais avec, ou conçus pour fonctionner avec, un détecteur de surpression, soient soumis à cet essai et reçoivent la marque «Sécurité de fonctionnement possible uniquement avec un détecteur de surpression».

NOTE 3 Il convient de soumettre les condensateurs autorégénérateurs avec coupe-circuits internes à cet essai et non à l'essai de 5.17.

NOTE 4 Les conditions réelles pouvant différer de manière significative en service, le comportement à la fin de la durée de vie pourrait également être différent. Il convient de prendre en considération l'énergie stockée, le courant de court-circuit prévu, la durée du courant de défaillance, etc., dans l'application. La conformité à 5.16 minimise le risque de défaillance grave mais ne garantit pas à 100 % une fin de vie en toute sécurité du condensateur.

L'essai destructif doit être réalisé par rapport au type de système de sécurité et à l'application principale des condensateurs, conformément au Tableau 8. L'exécution de l'essai en appliquant des cycles CC – CA ou des cycles CA – CC est laissée au choix du constructeur. Après une défaillance, le temps nécessaire pour déconnecter le condensateur de l'alimentation doit être donné par le constructeur. Dans le cas des condensateurs autorégénérateurs, d'autres méthodes, permettant de montrer le comportement du condensateur en fin de vie et de vérifier le fonctionnement correct du système de sécurité, peuvent faire l'objet d'un accord entre l'utilisateur et le constructeur.

Tableau 8 – Essai destructif en fonction du type de système de sécurité

Type d'élément	Système de sécurité	Application principale	Article concernant l'essai
Autorégénérateur	1. Détecteur de surpression	Courant alternatif	5.16.2
		Courant continu	5.16.3
	2. Sectionneur à surpression	Courant alternatif	5.16.2

Type d'élément	Système de sécurité	Application principale	Article concernant l'essai
		Courant continu	5.16.3
	3. Structure de métallisation segmentée et spéciale non segmentée	Courant continu/courant alternatif	5.16.3
Non autorégénérateur	1. Détecteur de surpression	Courant alternatif	5.16.2
		Courant continu	5.16.3
	2. Coupe-circuits internes	Courant alternatif	5.17

5.16.2 Séquence d'essais pour condensateurs à courant alternatif

L'essai doit être réalisé sur un condensateur unitaire.

Selon la spécification du constructeur, il est permis d'utiliser un condensateur ayant réussi l'essai d'endurance.

Le principe de l'essai consiste à favoriser les défaillances du ou des éléments grâce à une alimentation en courant continu à forte impédance interne, et à vérifier ensuite le comportement du condensateur lorsqu'une tension alternative est appliquée. Il est permis de favoriser la défaillance de condensateurs non autorégénérateurs sans coupe-circuits internes en suivant les procédures de 5.17.5. Le choix est laissé au constructeur. Le condensateur doit être monté dans un four à circulation d'air présentant une température égale à la température maximale de l'air ambiant correspondant à la catégorie de températures du condensateur.

Quand toutes les parties du condensateur ont atteint la température du four, la séquence d'essais suivante doit être réalisée avec le circuit indiqué en Figure 1. A la place du coupe-circuit de la Figure 1, si le condensateur est protégé par le détecteur de surpression, on utilise un disjoncteur commandé par le détecteur de surpression.

- Les sélecteurs H et K étant respectivement en position 1 et «a», la source de tension alternative N est fixée à $1,3 U_N$ et le courant dans le condensateur est enregistré.
- La source de tension continue T est déterminée par la valeur de la tension et du courant de court-circuit indiqué par le constructeur; le commutateur H est ensuite placé en position 2.
- Le commutateur H est placé en position 3 et le commutateur K en position «b» afin d'appliquer la tension d'essai continue au condensateur en la maintenant pendant une certaine période, selon les indications du constructeur.
- Le commutateur K est ensuite placé en position «a» à nouveau afin d'appliquer la tension d'essai alternative au condensateur pendant une période de 5 min tandis que le courant est enregistré de nouveau.

Il est possible d'obtenir les conditions suivantes:

- 1) L'ampèremètre I et le voltmètre U indiquent tous les deux une valeur nulle: dans ce cas, le coupe-circuit ou l'état du détecteur de surpression doit être vérifié. Si le coupe-circuit a sauté, il doit être remplacé. La tension «N» est ensuite appliquée au condensateur et, si le coupe-circuit saute à nouveau ou si le détecteur de surpression s'est déclenché, la procédure est interrompue.

Si le coupe-circuit ne saute pas ou si le détecteur de surpression ne s'est pas déclenché, la procédure consistant à appliquer au condensateur la tension T et N selon les exigences de c) et d) est poursuivie en utilisant uniquement le commutateur K.

- 2) Le courant indiqué par l'ampèremètre I est nul et le voltmètre U indique $1,3 U_N$.

Dans ce cas, la procédure est interrompue.

- 3) Le courant indiqué par l'ampèremètre I est supérieur à zéro. Dans ce cas, la procédure se poursuit conformément à b), c) et d).

Si, après avoir répété plusieurs fois cette procédure, la capacité restante est supérieure à zéro ou à 10 % de la valeur initiale dans le cas de condensateurs autorégénérateurs avec structure segmentée ou structure spéciale non segmentée, il est permis d'utiliser un autre échantillon, et/ou d'augmenter la tension d'essai et la durée d'essai, ou bien de soumettre l'unité à une surpression d'origine extérieure jusqu'à ce que le disjoncteur ou le détecteur de surpression fonctionne. Le constructeur doit indiquer la valeur de cette pression.

Lorsque la procédure est interrompue, le condensateur est refroidi à la température ambiante et l'essai de tension entre bornes et entre bornes et boîtier est réalisé conformément à 5.5 et 5.6. En cas de fonctionnement d'un détecteur de surpression, aucun essai de tension entre bornes n'est exigé. L'état du détecteur après le refroidissement à température ambiante doit être signalé.

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

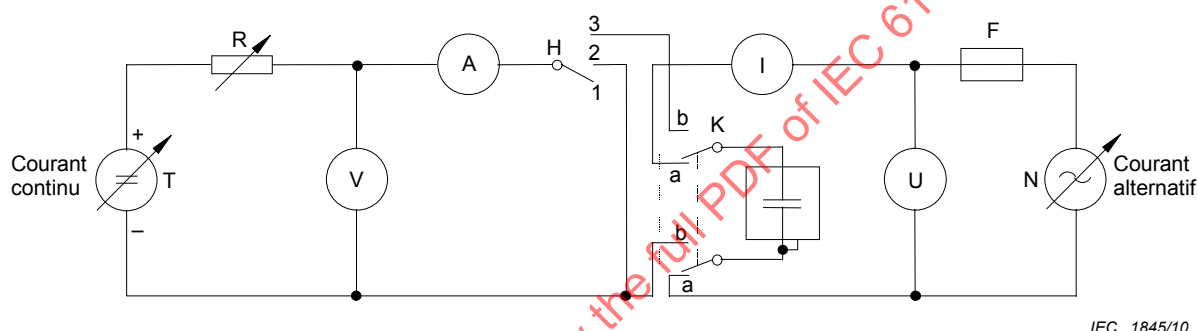


Figure 1 – Montage pour essai destructif

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

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

NOTE 1 Si le condensateur est utilisé en parallèle avec d'autres unités, il convient de réaliser l'essai en plaçant une capacité correspondante en parallèle avec la source N.

NOTE 2 Si le condensateur unitaire est trop grand ou trop petit pour se conformer aux paramètres d'essai, il convient de réaliser l'essai conformément à l'accord passé entre le constructeur et l'utilisateur.

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

L'utilisateur peut fournir des informations théoriques, alors que le constructeur peut déclarer I^2t , ces informations pouvant raisonnablement aider le concepteur à estimer le risque d'explosion.

5.16.3 Séquence d'essais pour condensateurs à courant continu

L'essai doit être réalisé sur un condensateur unitaire. Selon la spécification du constructeur, il est permis d'utiliser un condensateur ayant réussi l'essai d'endurance. Le principe de l'essai consiste à favoriser les défaillances du ou des éléments grâce à une alimentation en courant continu à forte impédance interne, et à vérifier ensuite le comportement du condensateur lorsque l'on applique une tension continue élevée avec une faible tension alternative ou continue superposée et de faible impédance interne.

Il est permis de favoriser la défaillance de condensateurs non autorégénérateurs sans coupe-circuits internes en suivant les procédures de 5.17.5. Le choix est laissé au constructeur.

Le condensateur doit être monté dans un four à circulation d'air présentant une température égale à la température maximale de l'air ambiant correspondant à la catégorie de températures du condensateur.

Quand toutes les parties du condensateur ont atteint la température du four, la séquence d'essais suivante doit être réalisée avec le circuit indiqué à la Figure 1: la source N est un générateur de courant continu avec tension d'ondulation superposée (composante de courant alternatif).

Un exemple de générateur N est donné à la Figure 2.

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

- a) Les sélecteurs H et K étant respectivement en position 1 et «a», la source de tension N est fixée à $1,3 U_N$ et à $1,1 I_N$.
- b) La source de tension continue T est fixée à la valeur indiquée par le constructeur; le commutateur H est ensuite placé en position 2.
- c) Le commutateur H est placé en position 3 et le commutateur K en position «b» afin d'appliquer la tension d'essai continue T au condensateur en la maintenant pendant une certaine période, selon les indications du constructeur.
- d) Le commutateur K est ensuite placé en position «a» à nouveau afin d'appliquer la tension d'essai N au condensateur pendant une période de 5 min tandis que le courant est enregistré.

Les conditions suivantes peuvent être obtenues:

- 1) L'ampèremètre I et le voltmètre U indiquent tous les deux une valeur nulle.

Dans ce cas, le coupe-circuit ou l'état du détecteur de surpression doit être vérifié. Si le coupe-circuit a sauté, il doit être remplacé. La tension N est ensuite appliquée au condensateur et si le coupe-circuit saute à nouveau ou si le détecteur de surpression s'est déclenché, la procédure est interrompue. Si le coupe-circuit ne saute pas ou si le détecteur de surpression ne s'est pas déclenché, la procédure consistant à appliquer au condensateur la tension T et N selon les exigences de c) et d) est poursuivie en utilisant uniquement le commutateur K.

- 2) Le courant indiqué par l'ampèremètre I est nul et le voltmètre U indique $1,3 U_N$.

Dans ce cas, la procédure est interrompue et la capacité est vérifiée.

Si la capacité est supérieure à zéro, la procédure se poursuit conformément à b), c) et d).

- 3) Le courant indiqué par l'ampèremètre I est supérieur à zéro.

Dans ce cas, la procédure se poursuit conformément à b), c) et d).

Si, après avoir répété plusieurs fois cette procédure, la capacité restante est supérieure à zéro ou à 10 % de la valeur initiale dans le cas de condensateurs autorégénérateurs avec structure segmentée ou spéciale non segmentée, il est permis d'utiliser un autre échantillon, et/ou d'augmenter la tension d'essai et la durée d'essai, ou bien de soumettre l'unité à une surpression d'origine extérieure jusqu'à ce que le disjoncteur ou le détecteur de surpression fonctionne. Le constructeur doit indiquer la valeur de cette pression.

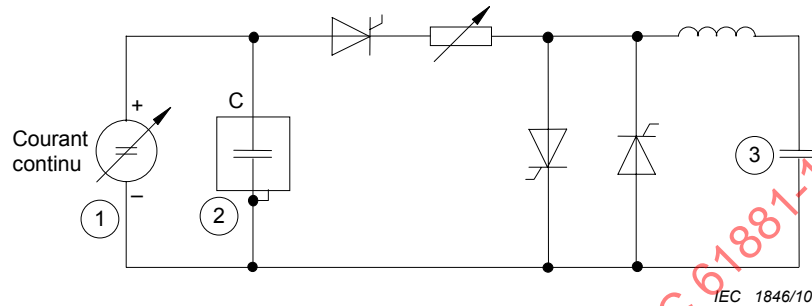
Lorsque la procédure est interrompue, le condensateur est refroidi à la température ambiante et l'essai de tension entre bornes et entre bornes et boîtier doit être réalisé conformément à 5.5 et 5.6.

En cas de fonctionnement d'un détecteur de surpression, aucun essai de tension entre bornes ne doit être effectué.

Si aucun dispositif conforme à la Figure 2 n'est disponible, une source N correspondant à la Figure 3 peut être utilisée. Dans ce cas, un fort courant continu est généré par un pont de diodes. Les générateurs de courant continu et alternatif doivent être réglables.

Le paragraphe 5.16.3 a) doit être modifié de la façon suivante: «les sélecteurs H et K étant placés respectivement en position 1 et «a», la source de tension N doit être fixée à $1,3 U_N$ ».

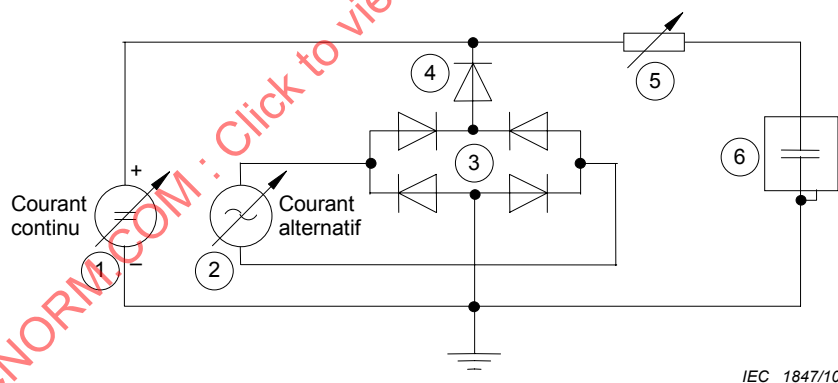
Il convient que le courant de court-circuit de la source de tension N au niveau des bornes du condensateur soit supérieur à $5 I_{max}$.



Légende

- 1 Générateur haute tension, courant continu élevé
- 2 Spécimen en essai
- 3 Dispositif onduleur

Figure 2 – Source N de courant continu – type 1



Légende

- 1 Générateur à courant continu, haute tension, faible courant (300 mA)
- 2 Générateur à courant alternatif basse tension, courant élevé
- 3 Pont de redressement basse tension
- 4 Redresseur HT de blocage
- 5 Réglage du courant de court-circuit
- 6 Spécimen en essai

Figure 3 – Source N de courant continu – type 2