

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

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

Part 3: Electric double-layer capacitors

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

Partie 3: Condensateurs électriques à double couche

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61881-3:2012



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2012 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

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

About the IEC

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

About IEC publications

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

Useful links:

IEC publications search - www.iec.ch/searchpub

The advanced search enables you to find IEC publications by a variety of criteria (reference number, text, technical committee,...).

It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

Electropedia - www.electropedia.org

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

Customer Service Centre - webstore.iec.ch/csc

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

A propos de 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.

Liens utiles:

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

La recherche avancée vous permet de trouver des publications CEI en utilisant différents critères (numéro de référence, texte, comité d'études,...).

Elle donne aussi des informations sur les projets et les publications remplacées ou retirées.

Just Published CEI - webstore.iec.ch/justpublished

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

Electropedia - www.electropedia.org

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

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

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

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

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

Part 3: Electric double-layer capacitors

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

Partie 3: Condensateurs électriques à double couche

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX

U

ICS 45.060

ISBN 978-2-83220-252-4

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

CONTENTS

FOREWORD.....	5
1 Scope.....	7
2 Normative references	7
3 Terms and definitions	8
4 Service conditions	10
4.1 Normal service conditions	10
4.1.1 General	10
4.1.2 Altitude.....	11
4.1.3 Temperature.....	11
4.2 Unusual service conditions	11
5 Quality requirements and tests	11
5.1 Test requirements	11
5.1.1 General	11
5.1.2 Test conditions	11
5.1.3 Measurement conditions	12
5.1.4 Voltage treatment	12
5.1.5 Thermal treatment	12
5.2 Classification of tests	12
5.2.1 General	12
5.2.2 Type tests	13
5.2.3 Routine tests	13
5.2.4 Acceptance tests	13
5.3 Capacitance and internal resistance	13
5.3.1 Measurement procedure for capacitance and internal resistance	13
5.3.2 Calculation methods for capacitance and internal resistance	14
5.3.3 Acceptance criteria of capacitance and internal resistance	14
5.4 Leakage current and self-discharge	15
5.4.1 Leakage current	15
5.4.2 Self-discharge	15
5.5 Insulation test between terminals and case	15
5.5.1 Capacitor cell (If applicable (applicable to metal case with terminals) and if required)	15
5.5.2 Capacitor module or bank.....	16
5.6 Sealing test	17
5.7 Surge discharge test (under consideration)	17
5.7.1 General	17
5.7.2 Preconditioning.....	17
5.7.3 Initial measurement	17
5.7.4 Test method	17
5.7.5 Post treatment.....	17
5.7.6 Final measurement.....	17
5.7.7 Acceptance criteria	18
5.8 Environmental testing	18
5.8.1 Change of temperature	18
5.8.2 Damp heat, steady state	18
5.9 Mechanical tests	19

5.9.1	Mechanical tests of terminals	19
5.9.2	External inspection	20
5.9.3	Vibration and shocks	20
5.10	Endurance test	20
5.10.1	General	20
5.10.2	Preconditioning	20
5.10.3	Initial measurements	20
5.10.4	Test methods	20
5.10.5	Post treatment	21
5.10.6	Final measurement	21
5.10.7	Acceptance criteria	21
5.11	Endurance cycling test	21
5.11.1	General	21
5.11.2	Preconditioning	21
5.11.3	Initial measurements	21
5.11.4	Test method	21
5.11.5	End of test criteria	22
5.11.6	Post treatment	22
5.11.7	Final measurement	22
5.11.8	Acceptance criteria	22
5.12	Pressure relief test	22
5.13	Passive flammability	22
5.14	EMC test	23
6	Overloads	23
7	Safety requirements	23
7.1	Discharge device	23
7.2	Case connections (grounding)	23
7.3	Protection of the environment	23
7.4	Other safety requirements	24
8	Marking	24
8.1	Marking of the capacitor	24
8.1.1	Capacitor cell	24
8.1.2	Capacitor module or bank	24
8.2	Data sheet	25
9	Guidance for installation and operation	25
9.1	General	25
9.2	Choice of rated voltage	25
9.3	Operating temperature	25
9.3.1	Life time of capacitor	25
9.3.2	Installation	26
9.3.3	Unusual cooling conditions	26
9.4	Over voltages	26
9.5	Overload currents	26
9.6	Switching and protective devices	26
9.7	Dimensioning of creepage distance and clearance	26
9.8	Connections	27
9.9	Parallel connections of capacitors	27
9.10	Series connections of capacitors	27

9.11 Magnetic losses and eddy currents.....	27
9.12 Guide for unprotected capacitors.....	27
Annex A (informative) Terms and definitions of capacitors	28
Bibliography.....	29
Figure 1 – The voltage – time characteristics between capacitor terminals in capacitance and internal resistance measurement	14
Figure 2 – V block.....	16
Figure A.1 – Example of capacitor application in capacitor equipment	28
Table 1 – Classification of tests	12
Table 2 – Damp heat steady-state test.....	19
Table 3 – Testing the robustness of terminals.....	20

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61881-3:2012

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

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

Part 3: Electric double-layer 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 61881-3 has been prepared by subcommittee 9: Electrical equipment and systems for railways.

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

FDIS	Report on voting
9/1680/FDIS	9/1708/RVD

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

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

A list of all parts of IEC 61881 series, under the general title *Railway applications – Rolling stock equipment – Capacitors for power electronics*, can be found on the IEC website.

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

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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61881-3:2012

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

Part 3: Electric double-layer capacitors

1 Scope

This part of IEC 61881 applies to d.c. electric double-layer capacitors (cell, module and bank) for power electronics intended to be used on rolling stock.

This standard specifies quality requirements and tests, safety requirements, and describes installation and operation information.

NOTE Example of the application for capacitors specified in this Standard; d.c. energy storage, etc.

Capacitors not covered by this Standard:

- IEC 61881-1: Paper/plastic film capacitors;
- IEC 61881-2: Aluminium electrolytic capacitors with non-solid electrolyte.

Guidance for installation and operation is given in Clause 9.

2 Normative references

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

IEC 60068-1:1988, *Environmental testing – Part 1: General and guidance*
and Amendment 1:1992

IEC 60068-2-14:2009, *Environmental testing – Part 2-14: Tests – Test N: Change of temperature*

IEC 60068-2-17:1994, *Environmental testing – Part 2-17: Tests. Test Q: Sealing*

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 60571:1998, *Electronic equipment used on rail vehicles*
and Amendment 1:2006

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

IEC 61373:2010, *Railway applications – Rolling stock equipment – Shock and vibration tests*

IEC 62236-3-2, *Railway applications – Electromagnetic compatibility – Part 3-2: Rolling stock – Apparatus*

IEC 62391-1:2006, *Fixed electric double-layer capacitors for use in electronic equipment – Part 1: Generic specification*

IEC 62391-2:2006, *Fixed electric double-layer capacitors for use in electronic equipment – Part 2: Sectional specification – Electric double-layer capacitors for power application*

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

IEC 62498-1:2010, *Railway applications – Environmental conditions for equipment – Part 1: Equipment on board rolling stock*

IEC 62576:2009, *Electric double-layer capacitors for use in hybrid electric vehicles – Test methods for electrical characteristics*

3 Terms and definitions

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

3.1

capacitor element

indivisible part of a capacitor consisting of two electrodes (typically made of carbon) separated by an electrolyte impregnated separator

Note 1 to entry: In the literature this type of capacitor element is often called EDLC (Electric double layer capacitor) element. An electric double-layer capacitor element utilizes the ability to accumulate electric charge in an electric double layer which is formed at the boundary surface between an electrode material (electronic conductor) and an electrolyte. This capacitor is essentially designed for operation with direct current voltage.

3.2

capacitor cell

one or more capacitor elements, packaged in the same enclosure with terminals brought out

SEE: Annex A

3.3

capacitor module

assembly of two or more capacitor cells, electrically connected to each other with or without additional electronics

SEE: Annex A

3.4

capacitor bank

assembly of two or more capacitor modules

SEE: Annex A

3.5

capacitor

general term used when it is not necessary to state whether a reference is made to capacitor cell, module or bank

[SOURCE: IEC 61881-1:2010, 3, modified]

3.6**capacitor equipment**

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

SEE: Annex A

3.7**capacitor for power electronics**

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

Note 1 to entry: Capacitor in this standard is d.c. capacitor.

3.8**pressure relief structure**

mechanism to release internal pressure of capacitor cell when exceeding specified value

3.9**discharge device**

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

3.10**rated voltage (d.c.) (U_R)**

maximum d.c. voltage which may be applied continuously to a capacitor at any temperature between the lower category temperature and the upper category temperature

[SOURCE: IEC 60384-1:2008, 2.2.16, modified]

Note 1 to entry: In typical traction application, the maximum voltage is the sum of the d.c. voltage and peak a.c. voltage or peak pulse voltage applied to the capacitor.

3.11**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, r.m.s. value of the insulating voltage is equivalent to the rated voltage divided by $\sqrt{2}$

3.12**maximum peak current (I_P)**

maximum peak current that can occur during continuous operation

3.13**rated current (I_R)**

r.m.s. value of the maximum allowable current at which the capacitor may be operated continuously at a specified temperature

Note 1 to entry: The cooling conditions of the module should be defined by the manufacturer.

3.14**maximum surge current (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

3.15**operating temperature**

temperature of the hottest point on the case of the capacitor when in steady-state conditions of temperature

SEE: 3.22

3.16

ambient temperature

temperature of the air surrounding the non-heat dissipating capacitor or temperature of the air in free air conditions at such a distance from the heat dissipating capacitor that the effect of the dissipation is negligible

3.17

upper category temperature

highest ambient temperature including internal heating in which a capacitor is designed to operate continuously

Note 1 to entry: Depending on the application the upper category temperature can be different. For traction energy storage application the continuous operation is based on the rated current, for other applications like board net stabilising it is based on the rated voltage.

3.18

lower category temperature

lowest ambient temperature including internal heating in which a capacitor is designed to operate continuously

Note 1 to entry: Depending on the application the lower category temperature can be different. For traction energy storage application the continuous operation is based on the rated current, for other applications like board net stabilising it is based on the rated voltage.

3.19

case temperature rise (ΔT_{case})

difference between the temperature of the hottest point of the case and the temperature of the cooling air under the steady-state conditions of temperature

3.20

cooling air temperature (T_{amb})

temperature of the cooling air measured at the inlet, under the steady-state conditions of temperature

3.21

maximum operating temperature (T_{max})

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

Note 1 to entry: The operating temperature is different from upper category temperature.

3.22

steady-state conditions of temperature

thermal equilibrium attained by the capacitor at constant output and at constant coolant temperature

3.23

internal resistance (R_s)

d.c resistance causing losses in a capacitor due to termination jointing, electrolyte, electrodes, etc.

4 Service conditions

NOTE See IEC 60077-1.

4.1 Normal service conditions

4.1.1 General

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

4.1.2 Altitude

Not exceeding 1 400 m. See IEC 62498-1.

NOTE The effect of altitude on cooling air characteristics and insulation clearance should be taken into consideration, if the altitude exceeds 1 400 m.

4.1.3 Temperature

The climatic ambient temperatures are derived from IEC 60721-3-5 class 5k2 which has a range from $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ to $40\text{ }^{\circ}\text{C}$. Where ambient temperature lies outside this range, it shall be as agreed between the purchaser and the manufacturer.

NOTE Classes of temperature are listed in IEC 62498-1:2010, Table 2.

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 purchaser.

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;
- 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 K/h) or of humidity (more than 5 %/h);
- service areas higher than 1 400 m above sea level;
- superimposed electromagnetic fields;
- excessive over voltages, as far as they exceed the limits given in Clause 6 and 9.4;
- airtight (poor change of air) installations.

5 Quality requirements and tests

5.1 Test requirements

5.1.1 General

This subclause gives the tests and requirements for capacitors.

5.1.2 Test conditions

Unless otherwise specified, the test conditions for capacitors shall be as in IEC 60068-1:1988, 5.3.

NOTE IEC 60068-1:1988, 5.3 specifies the following standard atmospheric conditions for measurements and tests.

Temperature:	15 °C to 35 °C
Relative humidity:	25 % to 75 %
Air pressure:	86 kPa to 106 kPa

5.1.3 Measurement conditions

The measurement conditions (i.e. capacitance, internal resistance, leakage current, etc.) for the capacitor shall be as in IEC 60068-1:1988, 5.3 with following exception.

The temperature shall be $25\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$.

5.1.4 Voltage treatment

The capacitor shall be charged up to U_R and be held for 30 min by means of a d.c. source. Then the capacitor shall be discharged through a suitable discharge device.

5.1.5 Thermal treatment

The capacitor shall be placed in the environment at the temperature defined in 5.1.3 for a suitable soak period for thermal equalization.

5.2 Classification of tests

5.2.1 General

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

The type tests and the routine tests consist of the tests shown in Table 1.

Table 1 – Classification of tests

No.	Tests Item	Type tests		Routine tests	
		Cell	Module or bank	Cell	Module or bank
1A	Capacitance	5.3	5.3	5.3	5.3
1B	Internal resistance	5.3	5.3	5.3	5.3
2A	Leakage current	5.4.1	—	—	—
2B	Self-discharge	5.4.2 ^a	5.4.2	—	—
3	Insulation test between terminals and case	5.5.1.1 ^a (if applicable and required)	5.5.2.1	5.5.1.2 ^a (if applicable)	5.5.2.2
4	Sealing test	5.6	—	—	—
5	Surge discharge test	5.7	5.7	—	—
6	Change of temperature	5.8.1	5.8.1	—	—
7	Damp heat, steady state	5.8.2 (if applicable)	5.8.2 (module only)	—	—
8	Mechanical tests of terminals	5.9.1 ^a	5.9.1 (if applicable)	—	—
9	External inspection	5.9.2	5.9.2	5.9.2	5.9.2
10	Vibration and shocks	5.9.3	5.9.3	—	—
11	Endurance test	5.10	—	—	—
12	Endurance cycling test	5.11	5.11 ^b	—	—
13	Pressure relief test	5.12	—	—	—

No.	Tests Item	Type tests		Routine tests	
		Cell	Module or bank	Cell	Module or bank
14	Passive flammability	5.13	—	—	—
15	EMC test	—	5.14	—	—
^a This test may be substituted by capacitor module or bank test, when agreed between the manufacturer and the purchaser.					
^b This test may be substituted by capacitor cell test, when agreed between the manufacturer and the purchaser.					

5.2.2 Type tests

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

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

These tests shall be made upon capacitors which are designed identical to that of the capacitors defined in the contract.

In agreement between the manufacturer and the purchaser, a capacitor of a similar design can be used, when the same or more severe test conditions can be applied.

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 Routine tests

The test sequence for quality requirements shall be as follows.

Routine tests shall be carried out by the manufacturer on every capacitor before delivery. Upon request, the manufacturer shall deliver the capacitor with a certification detailing the results of the tests.

5.2.4 Acceptance tests

All or a part of the type tests and the routine tests may be carried out by the manufacturer, on agreement with the purchaser.

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

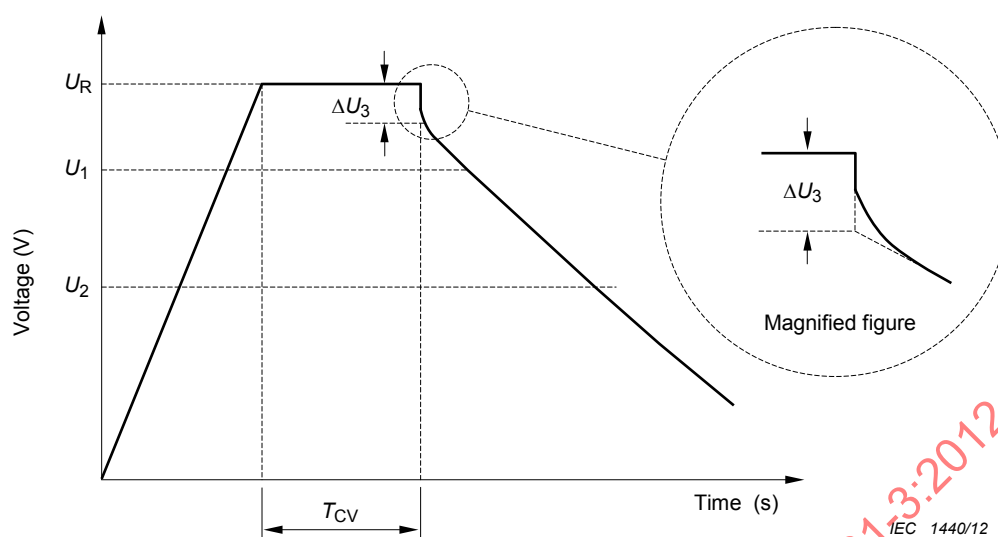
5.3 Capacitance and internal resistance

5.3.1 Measurement procedure for capacitance and internal resistance

The capacitance and internal resistance of the capacitor shall be measured in accordance with IEC 62576:2009, 4.1.1 through 4.1.4 with following exceptions.

- Unless otherwise specified, the capacitor preconditioning shall be carried out according to 5.1.4 and 5.1.5.
- Unless otherwise specified, measurement temperature shall be $25\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ (see 5.1.3).
- Measuring for the voltage drop characteristics: down to $0,3 U_R$.

The voltage–time characteristics between capacitor terminals during capacitance and internal resistance measurement, is shown in Figure 1.



Key

- U_R rated voltage (V)
- U_1 calculation start voltage (V)
- U_2 calculation end voltage (V)
- ΔU_3 voltage drop (V)
- T_{CV} constant voltage charging duration (s)

Figure 1 – The voltage–time characteristics between capacitor terminals in capacitance and internal resistance measurement

5.3.2 Calculation methods for capacitance and internal resistance

- a) The capacitance of the capacitor shall be calculated in accordance with IEC 62576:2009, 4.1.5 with the following exception.

W: measured discharged energy (J) from calculation start voltage ($U_1 = 0,9U_R$) to calculation end voltage ($U_2 = 0,4U_R$).

- b) The internal resistance of the capacitor shall be calculated in accordance with IEC 62576:2009, 4.1.6 with the following exceptions.

ΔU_3 : Apply the straight-line approximation to the voltage drop characteristics from the calculation start voltage ($U_1 = 0,9U_R$) to the calculation end voltage ($U_2 = 0,4U_R$) by using the least squares method. Obtain the intercept (voltage value) of the straight line at the discharge start time. ΔU_3 is the difference of voltages (V) between the intercept voltage value and the set value of constant voltage charging.

5.3.3 Acceptance criteria of capacitance and internal resistance

The capacitance of the capacitor shall be within the values as agreed between the manufacturer and the purchaser.

The internal resistance of the capacitor shall not exceed the value as agreed between the manufacturer and the purchaser.

5.4 Leakage current and self-discharge

5.4.1 Leakage current

The leakage current of the capacitor shall be measured in accordance with IEC 62391-1:2006, 4.7.1 with the following exceptions.

- a) Test temperature: $25\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$
- b) Electrification time: 24 h, 48 h or 72 h

The leakage current of the capacitor shall not exceed the value agreed between the manufacturer and the purchaser.

5.4.2 Self-discharge

The self-discharge test for the capacitor shall be carried out in accordance with IEC 62391-1:2006, 4.8 with following exceptions.

- a) Test temperature: $25\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$
- b) Measurement time: 16 h, 24 h or 48 h

The measured voltage after test shall exceed the value as agreed between the manufacturer and the purchaser.

5.5 Insulation test between terminals and case

5.5.1 Capacitor cell (If applicable (applicable to metal case with terminals) and if required)

5.5.1.1 Type test

The test voltage shall be applied between the two terminals connected together and non-metallic case or insulated case. Unless otherwise agreed between the manufacturer and the purchaser, the test voltage shall be specified by the manufacturer.

Unless otherwise agreed between the manufacturer and the purchaser, the method shall be selected from the following test methods by the manufacturer.

5.5.1.1.1 Foil method

A metal foil shall be closely wrapped around the body of the capacitor cell.

For the capacitor cell with axial terminations this foil shall extend beyond each end by not less than 5 mm, provided that a minimum distance of 1 mm/kV can be maintained between the foil and the terminations. If this minimum cannot be maintained, the extension of the foil shall be reduced by as much as is necessary to establish the distance of 1 mm/kV of test voltage.

For the capacitor cell with unidirectional terminations, a minimum distance of 1 mm/kV shall be maintained between the edge of the foil and each termination.

In no case shall the distance between the foil and the terminations be less than 1 mm.

For each of the specified test points there shall be no sign of breakdown or flashover during the test period.

5.5.1.1.2 V block method

The capacitor cell shall be clamped in the trough of a 90° metallic V-block (see Figure 2) of such a size that the capacitor cell body does not extend beyond the extremities of the block.

The clamping force shall be such as to guarantee adequate contact between the capacitor cell and the block.

The capacitor cell shall be positioned as follows:

- For cylindrical capacitors cell: the capacitor cell shall be positioned in the block so that the termination furthest from the axis of the capacitor cell is nearest to one of the faces of the block.
- For rectangular capacitors cell: the capacitor cell shall be positioned in the block so that the termination nearest the edge of the capacitor cell is nearest to one of the faces of the block.

For cylindrical and rectangular capacitor cell having axial terminations any out of centre positioning of the termination at its emergence from the capacitor cell body shall be ignored.

The specified test voltage is applied instantaneously through the internal resistance of the power source for the time specified in the relevant specification.

For each of the specified test points there shall be no sign of breakdown or flashover during the test period.

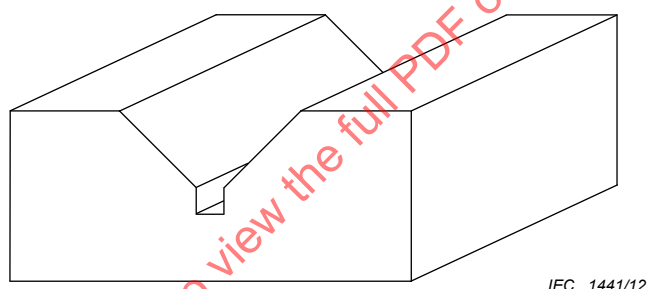


Figure 2 – V block

5.5.1.2 Routine test

Same as type test (see 5.5.1.1), with following details.

The test voltage shall be applied instantaneously through the internal resistance of the power source. The test voltage and test duration shall be as agreed between the manufacturer and the purchaser.

For each of the specified test points there shall be no sign of breakdown or flashover during the test period.

5.5.2 Capacitor module or bank

5.5.2.1 Type test

Unless otherwise agreed between the manufacturer and the purchaser, the tests for the capacitor module or bank shall be carried out in accordance with IEC 62497-1.

5.5.2.2 Routine test

Same as type test (see 5.5.2.1), with following exception.

The test duration shall be 10 s.

5.6 Sealing test

Unless the sealing capability of the capacitor cell has been proved otherwise, the sealing test shall be carried out according to test Qc, method 2 in IEC 60068-2-17:1994, using non-conductive silicon oil or equivalent solvent as an examination solvent.

The capacitor cell shall be immersed in an examination solvent with the sealing parts of the cell facing up. The test temperature of the examination solvent shall be 5 °C higher than the upper category temperature.

The immersion time for the capacitor cell shall be 3 times or more the thermal time constant for the capacitor cell.

No continuous generation of air bubbles in the examination solvent shall come from the sealing parts of the capacitor cell. If the judgment is in doubt, the test shall be performed without sleeve.

5.7 Surge discharge test (under consideration)

5.7.1 General

Unless otherwise specified, the surge discharge test for the capacitor cell shall be carried out by the following procedure.

5.7.2 Preconditioning

The capacitor shall be treated according to 5.1.4 and 5.1.5.

5.7.3 Initial measurement

The capacitance and internal resistance of the capacitor shall be measured in accordance with 5.3.

5.7.4 Test method

The capacitor shall be charged by means of a d.c. source up to U_R within 5 min and then discharged through appropriate discharge circuit within 1 min. The test shall be repeated 5 times. The test intervals should be within 6 min.

The resistance of the discharge circuit (cables, switches, shunts or electronic) shall have a maximum resistance equal to the capacitor cell internal resistance, but not higher than 1 mΩ.

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

$$I_{\text{test}} = 1,1 I_s$$

5.7.5 Post treatment

The capacitor shall be treated according to 5.1.5 and discharged through the suitable discharge device.

5.7.6 Final measurement

The capacitance and internal resistance of the capacitor shall be measured in accordance with 5.3.

5.7.7 Acceptance criteria

The capacitance change and internal resistance change shall be within the values as agreed between the manufacturer and the purchaser.

5.8 Environmental testing

5.8.1 Change of temperature

5.8.1.1 General

Unless otherwise specified, the change of temperature test for the capacitor shall be carried out by the following procedure.

5.8.1.2 Preconditioning

The capacitor shall be treated according to 5.1.4 and 5.1.5.

5.8.1.3 Initial measurement

The capacitance and internal resistance of the capacitor shall be measured in accordance with 5.3.

5.8.1.4 Test methods

The change of temperature test for the capacitor shall be carried out in accordance with test Na of IEC 60068-2-14:2009, on agreement between the manufacturer and the purchaser with the upper and lower limit temperature of the capacitor with following details.

- a) Upper limit temperature: Upper category temperature
- b) Lower limit temperature: Lower category temperature
- c) Number of cycles: As agreed between the manufacturer and the purchaser

5.8.1.5 Post treatment

The capacitor shall be treated according to 5.1.5.

5.8.1.6 Final measurement

The capacitance and internal resistance of the capacitor shall be measured in accordance with 5.3.

5.8.1.7 Acceptance criteria

The capacitance change and internal resistance change shall be within the values as agreed between the manufacturer and the purchaser.

NOTE In case of module, unless otherwise agreed between the manufacturer and the purchaser, there is an additional insulation test, followed by an IP code test specified in IEC 60529.

5.8.2 Damp heat, steady state

5.8.2.1 General

Unless otherwise specified, the damp heat, steady state test for the capacitor shall be carried out by the following procedure.

5.8.2.2 Preconditioning

The capacitor shall be treated according to 5.1.4 and 5.1.5.

5.8.2.3 Initial measurement

The capacitance and internal resistance of the capacitor shall be measured in accordance with 5.3.

5.8.2.4 Test method

The test shall be carried out in accordance with IEC 60068-2-78 and a degree of severity (see Table 2) as agreed between the manufacturer and the purchaser. No condensation shall occur during the test.

Table 2 – Damp heat steady-state test

Severity	Test temperature °C	Test humidity % RH	Duration Days
A	40	93	56
B	40	93	21

After completion of the steady-state test, the capacitor cell (if applicable) or module shall be subjected to insulation test between terminals and case according to 5.5.

5.8.2.5 Post treatment

The capacitor shall be treated according to 5.1.5.

5.8.2.6 Final measurement

The capacitance and internal resistance of the capacitor shall be measured in accordance with 5.3.

5.8.2.7 Acceptance criteria

No test sample shall suffer electric break down of insulation or flashover during insulation test between terminals and case (see 5.5).

The capacitance change and internal resistance change shall be within the values as agreed between the manufacturer and the purchaser.

5.9 Mechanical tests

5.9.1 Mechanical tests of terminals

The capacitor shall be tested for appropriate robustness of the terminals as agreed between the manufacturer and the purchaser (see Table 3).

Table 3 – Testing the robustness of terminals

No.	Tests or measurements	Test method		Test conditions
1	Tensile strength of connecting cables and soldered connections	IEC 60068-2-21	Ua ₁	Individual with capacitor weight, at least 10 N
2	Flexural strength of connections		Ub ₁	Number of flexing cycles: 2
3	Flexural strength of soldering and flat plug lugs		Ub ₂	Number of bending cycles, for soldered lugs with connected wire: 2
4	Torsion resistance of axial connections		Uc	Severity 2
5	Torque resistance of screwed and bolted elements		Ud	^a
6	Solderability and resistance to soldering heat of soldered connections	IEC 60068-2-20		Soldering iron: Size A Bit temperature: 350 °C
^a The torque resistance of the screwed and bolted connections shall be defined by the manufacturer.				

5.9.2 External inspection

The external inspection of the capacitor shall be done by visual examination of finish and marking of the capacitor as agreed between the manufacturer and the purchaser.

5.9.3 Vibration and shocks

Unless otherwise agreed between the manufacturer and the purchaser, those tests for the capacitor shall be carried out in accordance with IEC 61373:2010, category 1B for capacitor cell and module or category 1A for capacitor bank.

5.10 Endurance test

5.10.1 General

Unless otherwise specified, the endurance test for the capacitor cell shall be carried out by the following procedure.

5.10.2 Preconditioning

The capacitor cell shall be treated according to 5.1.4 and 5.1.5.

5.10.3 Initial measurements

The capacitance and internal resistance of the capacitor cell shall be measured in accordance with 5.3.

The mechanical dimensions and mass shall be taken.

5.10.4 Test methods

Test method for the capacitor cell shall be in accordance with IEC 62391-2:2006, 4.10 with following details.

- a) test temperature: upper category temperature;
- b) test voltage: constant d.c. voltage equal to U_R ;
- c) test duration: 1 000 h or as agreed between the manufacturer and the purchaser.

5.10.5 Post treatment

The capacitor cell shall be treated according to 5.1.5 and discharged through a suitable discharge device.

5.10.6 Final measurement

The capacitance and internal resistance of the capacitor cell shall be measured in accordance with 5.3.

The changes in dimensions and mass shall be documented. The information shall be given to the purchaser, if requested.

5.10.7 Acceptance criteria

Unless otherwise specified, capacitance shall not be less than 70 % of the initial measured value and internal resistance shall not exceed 200 % of the specified value.

No visible damage and no electrolyte leakage shall be observed.

5.11 Endurance cycling test

5.11.1 General

Unless otherwise specified, the endurance cycling test for the capacitor shall be carried out by the following procedure.

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

5.11.2 Preconditioning

The capacitor shall be treated according to 5.1.4 and 5.1.5.

5.11.3 Initial measurements

The capacitance and internal resistance of the capacitor shall be measured in accordance with 5.3.

5.11.4 Test method

The capacitor shall be placed in the heated chamber. The capacitor shall be connected to a charge and discharge device, which is able to charge and discharge the capacitor with the constant specified current. The heated chamber is to be adjusted to achieve the test temperature.

Unless otherwise specified, the test shall consist of the following steps, repeating c) through f) continuously until the end of test criteria is reached:

- a) charge up to U_R with constant current of 5 mA/F per cell;
- b) continue charging at U_R for 30 min;
- c) discharge with constant current of 50 mA/F per cell for the duration (t) given the following formula;

$$t = 0,5 U_R C_R / I_{CC}$$

where U_R is rated voltage;

C_R is capacitance;

I_{CC} is constant current.

- d) pause for 15 s without charging current;

- e) charge up to U_R with constant current of 50 mA/F per cell;
- f) pause for 15 s without charging current.

When the capacitor has reached the test temperature, the cooling/heating conditions are adjusted so that stabilisation is achieved at this test temperature. After this initial stabilization no changes in cooling/heating temperature are permitted.

The test temperature shall be 10 °C lower than the maximum operating temperature.

5.11.5 End of test criteria

The capacitance and internal resistance of the capacitor can be measured while the cycling is in operation by measuring voltage-time curves and analysing them. The measured capacitance and internal resistance after the capacitor reaches thermal equilibrium are assumed as initially measured value during cycling.

NOTE The capacitance and internal resistance measurements during cycling might differ from the initial measurements and final measurements due to a different measurement current.

The test is finished when the measured value during cycling reaches one of the following criteria:

- capacitance reaches 70 % of its initial value; or
- internal resistance reaches 200 % of its initial value.

5.11.6 Post treatment

The capacitor cell shall be treated according to 5.1.5.

5.11.7 Final measurement

The capacitance and internal resistance of the capacitor shall be measured in accordance with 5.3.

5.11.8 Acceptance criteria

The number of the reached cycles shall be within the range as agreed between the manufacturer and the purchaser.

The capacitance shall not be less than 70 % of the initial measured value and internal resistance shall not exceed 200 % of the specified value.

No visible damage and no electrolyte leakage shall be observed.

5.12 Pressure relief test

The pressure relief test for the capacitor cell shall be carried out in accordance with IEC 62391-1, 4.21.

NOTE 1 This test is performed to give an indication of the behaviour of the capacitor cell at the end of life and to prove the proper work of the safety system within the specification limits. Completely safe failure during this test cannot be guaranteed.

NOTE 2 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 destruction test does not guarantee safe end of life of a capacitor.

5.13 Passive flammability

The passive flammability test for the capacitor cell shall be carried out in accordance with IEC 62391-1:2006, 4.20.

The capacitor cell shall be held in the flame in the position which best promotes burning. Each capacitor shall be exposed to the flame only once. Test severity (flame exposure time) shall be given by the manufacturer. The maximum burning time of any capacitor cell should not exceed 30 s.

5.14 EMC test

Unless otherwise specified, module and bank shall be in accordance with IEC 62236-3-2 and IEC 60571:2006, 10.2.6 (Supply over voltages, surges and electrostatic discharge), 10.2.7 (Transit burst susceptibility test) and 10.2.8 (Radio interference test).

6 Overloads

The maximum permissible voltage for continuous operation is the rated voltage for capacitors. The maximum permissible voltage is absolute maximum voltage: voltage permissible with strong impact on life time.

The capacitor cell shall be suitable for operation at voltage levels and durations as agreed between the manufacturer and the purchaser without any failure. It should be recognised that any significant period of operation at voltages above the rated voltage and below absolute maximum voltage will reduce the useful life.

7 Safety requirements

7.1 Discharge device

The use of discharge resistors is not suitable for certain power electronic capacitors. When required by the purchaser, each capacitor module and bank shall be provided with means for discharging to 60 V or less, from an initial voltage of U_R .

The discharging time shall be as agreed between the manufacturer and the purchaser.

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

The 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 over voltage.

7.2 Case connections (grounding)

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

7.3 Protection of the environment

Precautions shall be taken to not allow dispersion of harmful substances in critical concentrations into the environment. In some countries, there exist legal requirements in this respect.

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

If required, the manufacturer shall deliver the fire load or mass of the main components.

NOTE Main components are the components weighing more than 1 % of the capacitors.

7.4 Other safety requirements

The purchaser 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 Marking

8.1 Marking of the capacitor

8.1.1 Capacitor cell

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

- Manufacturer name (company abbreviation name) or trade mark;
- Product identification number, manufacturing date (year and month or week of manufacture) or serial number;
- C = F;
- Tol* = % (optional);
- U_R = V.

NOTE 1 The location of the markings on the capacitor cell should be defined as agreed between the manufacturer and the purchaser.

NOTE 2 For small capacitor cells 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 as agreed between the manufacturer and the purchaser.

8.1.2 Capacitor module or bank

The following information shall be given on the rating plate of each capacitor module or bank:

- Manufacturer name (company abbreviation name) or trade mark;
- Product identification number and manufacturing date (year and month or week of manufacture) or serial number;
- C = F;
- Tol* = % (optional);
- U_R = V;
- I_s = A (optional);
- T_{max} = °C (optional);
- maximum tightening torque = Nm (see Note 2) (optional);
- cooling air temperature (only for forced cooling – see 4.1.3) (optional);
- IEC 61881-3 (optional).

NOTE 1 The location of the markings on the capacitor module or bank should be defined as agreed between the manufacturer and the purchaser.

NOTE 2 For small capacitor modules or banks 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 as agreed between the manufacturer and the purchaser.

Tol *: capacitance tolerance of a capacitor.

8.2 Data sheet

Information shall be provided by the manufacturer to enable correct operation of the capacitor. If the capacitor cell contains materials 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 purchaser, who shall inform the manufacturer of such law(s).

NOTE 1 Even if the purchaser does not inform the manufacturer of such laws, the manufacturer might still should observe laws and regulations.

NOTE 2 MSDS with mass percentage may be submitted for the purpose, as agreed between the manufacturer and the purchaser.

9 Guidance for installation and operation

9.1 General

Overstressing shortens 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 capacitor and the many factors involved, it is not possible to cover installation and operation in all possible cases by simple rules.

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

The major application:

DC energy storage: 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 or higher than the recurrent peak voltage.

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

NOTE The use of maximum permissible voltage and maximum operating temperature results in reduced lifetime.

9.3 Operating temperature

9.3.1 Life time of capacitor

The life time of the capacitor is affected by the operating temperature, applied voltage and other factors. The manufacturer shall define the lifetime of the capacitors for the following three operating points:

- Lifetime at constant rated voltage and an ambient temperature of 25 °C.
- Lifetime at constant rated voltage and an ambient temperature of the maximum operating temperature.
- Lifetime at 80 % of constant rated voltage and an ambient temperature of 25 °C.

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

- Excessive temperatures accelerate electrochemical degradation of the electrolyte.

- Extremely low temperatures or very rapid changes from hot to cold may initiate partial degradation in the electrolyte or mechanical construction.

9.3.2 Installation

The capacitors shall be installed so that there is adequate dissipation of the heat produced by the capacitor losses.

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

Depending on the coolant 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 thermal radiation;
- choose a capacitor designed for higher operation temperature or employ capacitors with rated voltage higher than that laid down in Clauses 4 and 6 and in 9.4;
- capacitors installed at high altitudes (above 1 400 m) will be subjected to decreased heat dissipation; this should be considered when determining the power of the equipment.

The manufacturer should deliver a set of thermal values that describe the thermal behaviour of the capacitor hotspot as a function of the ambient temperature, the load and the cooling conditions. The cooling conditions shall be recommended by the manufacturer.

9.3.3 Unusual cooling conditions

In exceptional cases, the ambient temperature may be higher than 40 °C. If this is the case the manufacturer has to take this into account concerning lifetime and safety of operation.

9.4 Over voltages

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

9.5 Overload currents

The capacitors should never be operated with currents exceeding the maximum values as defined in 3.12, 3.13 and 3.14.

Transient over currents 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 over currents to acceptable values in relation to the capacitor and to the equipment.

If the capacitors are provided with fuses (external), the peak value of the over currents due to switching operations shall be limited to the value of I_S .

9.6 Switching and protective devices

Switches, protective devices and connections shall be capable of withstanding the electrodynamic and thermal stresses caused by the transient over currents 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 over currents, should be taken.

9.7 Dimensioning of creepage distance and clearance

See IEC 62497-1.

9.8 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 at least as cool as the capacitor itself.

Any bad contacts in capacitor circuits give rise to local heat generation and possible arcing at the connection that may overheat and overstress the capacitors.

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

9.9 Parallel connections of capacitors

Special care is necessary when designing circuits with capacitors connected in parallel, because of the possible danger that 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.

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.

Special precautions have to be taken in this case.

9.10 Series connections of capacitors

Because of variations in the parameters of capacitors, the correct voltage sharing between capacitor cells should be ensured.

The insulation voltage of capacitor module or bank shall be chosen for the series arrangement.

Special precautions have to be taken in this case.

9.11 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 of magnetic materials as far as possible.

9.12 Guide for unprotected capacitors

In case of unprotected capacitors, the purchaser has to ensure by qualified installation that no danger appears due to a failing capacitor.

Annex A (informative)

Terms and definitions of capacitors

A.1 Capacitor application in capacitor equipment

An example of schematic diagram for capacitor cell (see 3.2), capacitor module (see 3.3) and capacitor bank (see 3.4) used in capacitor equipment (see 3.6) is shown in Figure A.1.

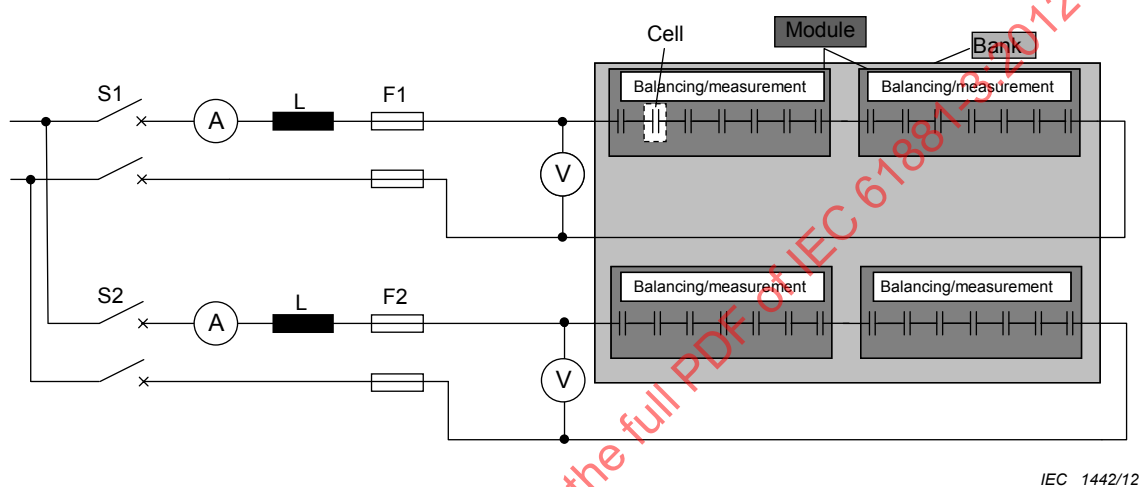


Figure A.1 – Example of capacitor application in capacitor equipment

Bibliography

IEC 60050 (436), *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 60384-1:2008, *Fixed capacitors for use in electronic equipment – Part 1: Generic specification*

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

IEC 60850:2007, *Railway applications – Supply voltages of traction systems*

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

IEC 61881-1: 2010, *Rail way applications – Rolling stock equipment – Capacitors for power electronics – Part 1: Paper/plastic film capacitors*

IEC 61881-2, *Railway applications – Rolling stock equipment – Capacitors for power electronics – Part 2: Aluminium electrolytic capacitors with non-solid electrolyte*

IEC 61991:2000, *Railway applications – Rolling stock – Protective provisions against electrical hazards*

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	33
1 Domaine d'application	35
2 Références normatives	35
3 Termes et définitions	36
4 Conditions de service	39
4.1 Conditions de service normales	39
4.1.1 Généralités	39
4.1.2 Altitude	39
4.1.3 Température	39
4.2 Conditions de service inhabituelles	39
5 Exigences de qualité et essais	40
5.1 Exigences d'essai	40
5.1.1 Généralités	40
5.1.2 Conditions d'essai	40
5.1.3 Conditions de mesure	40
5.1.4 Traitement par application de tension	40
5.1.5 Traitement thermique	40
5.2 Classification des essais	40
5.2.1 Généralités	40
5.2.2 Essais de type	41
5.2.3 Essais de série	42
5.2.4 Essais d'acceptation	42
5.3 Capacité et résistance interne	42
5.3.1 Procédure de mesure de la capacité et de la résistance interne	42
5.3.2 Méthodes de calcul de la capacité et de la résistance interne	43
5.3.3 Critères d'acceptation de la capacité et de la résistance interne	43
5.4 Courant de fuite et autodécharge	44
5.4.1 Courant de fuite	44
5.4.2 Autodécharge	44
5.5 Essai d'isolation entre bornes et boîtier	44
5.5.1 Unité de condensateur (S'il est applicable (applicable au boîtier métallique à bornes) et s'il est exigé)	44
5.5.2 Module ou batterie de condensateurs	46
5.6 Essai d'étanchéité	46
5.7 Essai de tension de choc (à l'étude)	46
5.7.1 Généralités	46
5.7.2 Préconditionnement	46
5.7.3 Mesure initiale	46
5.7.4 Méthode d'essai	46
5.7.5 Post-traitement	47
5.7.6 Mesure finale	47
5.7.7 Critères d'acceptation	47
5.8 Essais d'environnement	47
5.8.1 Variation de température	47
5.8.2 Chaleur humide, essai continu	48
5.9 Essais mécaniques	49

5.9.1	Essais mécaniques des bornes.....	49
5.9.2	Examen externe	49
5.9.3	Vibrations et chocs	49
5.10	Essai d'endurance.....	49
5.10.1	Généralités.....	49
5.10.2	Préconditionnement.....	49
5.10.3	Mesures initiales	49
5.10.4	Méthodes d'essai.....	50
5.10.5	Post-traitement.....	50
5.10.6	Mesure finale.....	50
5.10.7	Critères d'acceptation.....	50
5.11	Essai de cycle d'endurance	50
5.11.1	Généralités.....	50
5.11.2	Préconditionnement.....	50
5.11.3	Mesures initiales	50
5.11.4	Méthode d'essai	50
5.11.5	Critères de fin d'essai.....	51
5.11.6	Post-traitement.....	51
5.11.7	Mesure finale.....	51
5.11.8	Critères d'acceptation.....	51
5.12	Essai de décharge de pression.....	51
5.13	Inflammabilité passive	52
5.14	Essai CEM	52
6	Surcharges.....	52
7	Exigences de sécurité	52
7.1	Dispositif de décharge.....	52
7.2	Connexions du boîtier (mise à la terre).....	53
7.3	Protection de l'environnement	53
7.4	Autres exigences de sécurité.....	53
8	Marquage.....	53
8.1	Marquage du condensateur	53
8.1.1	Unité de condensateur.....	53
8.1.2	Module ou batterie de condensateurs	54
8.2	Fiche technique.....	54
9	Guide d'installation et de fonctionnement	54
9.1	Généralités.....	54
9.2	Choix de la tension assignée.....	55
9.3	Température de fonctionnement	55
9.3.1	Durée de vie du condensateur	55
9.3.2	Installation.....	55
9.3.3	Conditions de refroidissement inhabituelles	56
9.4	Surintensités	56
9.5	Courants de surcharge	56
9.6	Dispositifs de commutation et de protection.....	56
9.7	Dimensionnement des lignes de fuite et des distances d'isolement	56
9.8	Connexions	56
9.9	Connexions parallèles des condensateurs.....	57
9.10	Connexions de condensateurs en série	57

9.11 Pertes magnétiques et courants de Foucault	57
9.12 Guide pour les condensateurs non protégés	57
Annexe A (informative) Termes et définitions des condensateurs	58
Bibliographie	59
Figure 1 – Caractéristiques tension-temps entre les bornes du condensateur pour la mesure de la capacité et de la résistance interne	43
Figure 2 – Support en V	45
Figure A.1 – Exemple d'application d'un condensateur dans une installation de condensateurs	58
Tableau 1 – Classification des essais	41
Tableau 2 – Essai à chaleur humide en régime établi	48
Tableau 3 – Essai de robustesse des bornes	49

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61881-3:2012

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

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

Partie 3: Condensateurs électriques à double couche

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 brevet. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de brevets et de ne pas avoir signalé leur existence.

La présente Norme internationale CEI 61881-3 a été établie par le comité d'études 9: Matériels et systèmes électriques ferroviaires.

Le texte de cette Norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
9/1680/FDIS	9/1708/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.

Une liste de toutes les parties de la série CEI 61881, présentées sous le titre général *Applications ferroviaires – Matériel roulant – Condensateurs pour électronique de puissance*, peut être consultée sur le site web de la CEI.

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 61881-3:2012

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

Partie 3: Condensateurs électriques à double couche

1 Domaine d'application

La présente partie de la CEI 61881 s'applique aux condensateurs électriques à double couche en courant continu (unité, module et batterie) pour électronique de puissance, destinés à être utilisés sur le matériel roulant.

La présente norme spécifie les exigences relatives à la qualité et les essais, ainsi que les exigences de sécurité, et elle fournit des informations sur l'installation et les conditions de fonctionnement.

NOTE Exemple d'application pour les condensateurs spécifiés dans la présente Norme; stockage d'énergie en courant continu, etc.

Les condensateurs suivants ne sont pas couverts par la présente Norme:

- CEI 61881-1: Condensateurs papier et film plastique;
- CEI 61881-2: Condensateurs électrolytiques à l'aluminium, à électrolyte non solide.

Les guides d'installation et de fonctionnement sont fournis à l'Article 9.

2 Références normatives

Les documents suivants sont cités en référence de manière normative, en intégralité ou en partie, dans le présent document et sont indispensables pour son application. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

CEI 60068-1:1988, *Essais d'environnement – Partie 1: Généralités et guide*
et Amendement 1:1992

CEI 60068-2-14:2009, *Essais d'environnement – Partie 2-14: Essais – Essai N: Variation de température*

CEI 60068-2-17:1994, *Essais d'environnement – Partie 2-17: Essais. Essai Q: Etanchéité*

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 60571:1998, *Équipements électroniques utilisés sur les véhicules ferroviaires*
et Amendement 1: 2006

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 61373:2010, *Applications ferroviaires – Matériel roulant – Essais de chocs et vibrations*

CEI 62236-3-2, *Applications ferroviaires – Compatibilité électromagnétique – Partie 3-2: Matériel roulant – Appareils*

IEC 62391-1:2006, *Fixed electric double layer capacitors for use in electronic equipment – Part 1: Generic specification (disponible en anglais seulement)*

IEC 62391-2:2006, *Condensateurs électriques fixes à double couche utilisés dans les équipements électroniques – Partie 2: Spécification intermédiaire – Condensateurs électriques à double couche pour application de puissance*

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*

CEI 62498-1:2010, *Applications ferroviaires – Conditions d'environnement pour le matériel – Partie 1: Equipement embarqué du matériel roulant*

CEI 62576:2009, *Condensateurs électriques à double couche pour véhicules électriques hybrides – Méthodes d'essai des caractéristiques électriques*

3 Termes et définitions

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

3.1

élément de condensateur

partie indivisible d'un condensateur constituée de deux électrodes (généralement composées de carbone) séparées par un séparateur imprégné d'électrolyte

Note 1 à l'article: Dans la littérature, ce type d'élément de condensateur est souvent appelé élément EDLC (Electric double layer capacitor, en anglais). Un élément de condensateur électrique à double couche utilise la capacité d'accumulation d'une charge électrique dans une double couche électrique qui se forme à la surface limite entre un matériau d'électrode (conducteur électronique) et un électrolyte. Ce condensateur est principalement conçu pour fonctionner avec une tension continue.

3.2

unité de condensateur

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

VOIR: Annexe A

3.3

module de condensateurs

ensemble de deux unités de condensateurs ou plus, raccordées entre elles électriquement avec ou sans équipement électronique supplémentaire

VOIR: Annexe A

3.4

batterie de condensateurs

ensemble de deux modules de condensateurs ou plus

VOIR: Annexe A

3.5 condensateur

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

[SOURCE: CEI 61881-1:2010, 3, modifiée]

3.6 installation de condensateurs

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

VOIR: Annexe A

3.7 condensateur pour électronique de puissance

condensateur 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

Note 1 à l'article: Le condensateur, dans la présente norme, est un condensateur pour courant continu.

3.8 structure de décompression

mécanisme destiné à décharger la pression interne de l'unité de condensateur lorsqu'elle dépasse la valeur spécifiée

3.9 dispositif de décharge

dispositif capable de ramener pratiquement la tension à zéro entre les bornes, en une durée donnée, après avoir déconnecté le condensateur d'un réseau

3.10 tension assignée (en courant continu) (U_R)

tension continue maximale pouvant être appliquée de façon continue sur un condensateur à toute température comprise entre la température de catégorie inférieure et la température de catégorie supérieure

[SOURCE: CEI 60384-1:2008, 2.2.16, modifiée]

Note 1 à l'article: Dans une application typique de traction, la tension maximale est la somme de la tension continue et de la tension alternative de crête ou de la tension d'impulsion de crête appliquée au condensateur.

3.11 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 $\sqrt{2}$

3.12 courant de crête maximal (I_P)

courant de crête maximal pouvant survenir en fonctionnement continu

3.13 courant assigné (I_R)

valeur efficace du courant maximal autorisé auquel le condensateur peut fonctionner de façon continue à une température spécifiée

Note 1 à l'article: Il convient que les conditions de refroidissement du module soient définies par le constructeur.

3.14

courant de choc maximal (I_S)

courant de crête non répétitif provoqué par une commutation ou toute autre perturbation du système, autorisé pour un nombre de fois limité

3.15

température de fonctionnement

température du point le plus chaud sur le boîtier du condensateur dans des conditions de température en régime établi

VOIR: 3.22

3.16

température ambiante

température de l'air entourant le condensateur sans dissipation de chaleur ou température de l'air en conditions d'air libre à une distance telle du condensateur à dissipation de chaleur que l'effet de la dissipation est négligeable

3.17

température de catégorie supérieure

température ambiante maximale, incluant le chauffage intérieur, à laquelle un condensateur est conçu pour fonctionner de façon continue

Note 1 à l'article: La température de catégorie supérieure peut varier en fonction de l'application. Pour l'application de stockage d'énergie de traction, le fonctionnement continu est basé sur le courant assigné; pour d'autres applications telles que la stabilisation nette embarquée, il est basé sur la tension assignée.

3.18

température de catégorie inférieure

température ambiante minimale, incluant le chauffage intérieur, à laquelle un condensateur est conçu pour fonctionner de façon continue

Note 1 à l'article: La température de catégorie inférieure peut varier en fonction de l'application. Pour l'application de stockage d'énergie de traction, le fonctionnement continu est basé sur le courant assigné; pour d'autres applications telles que la stabilisation nette embarquée, il est basé sur la tension assignée.

3.19

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

différence entre la température du point le plus chaud du boîtier et la température de l'air de refroidissement dans des conditions de température en un régime établi

3.20

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

température de l'air de refroidissement mesurée au niveau de l'entrée, dans des conditions de température en régime établi

3.21

température maximale de fonctionnement (T_{max})

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

Note 1 à l'article: La température de fonctionnement est différente de la température de catégorie supérieure.

3.22

conditions de température en régime établi

équilibre thermique atteint par le condensateur pour une puissance et une température du fluide de refroidissement constantes

3.23

résistance interne (R_S)

résistance en courant continu provoquant des pertes dans un condensateur, dues au raccordement des sorties, à l'électrolyte, aux électrodes, etc.

4 Conditions de service

NOTE Voir la CEI 60077-1.

4.1 Conditions de service normales

4.1.1 Généralités

La présente norme spécifie les exigences relatives aux condensateurs destinés à être utilisés dans les conditions suivantes:

4.1.2 Altitude

Ne dépassant pas 1 400 m. Voir CEI 62498-1.

NOTE Il convient de tenir compte de l'effet de l'altitude sur les caractéristiques de l'air de refroidissement et la distance d'isolement dans l'air, si l'altitude dépasse 1 400 m.

4.1.3 Température

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

NOTE Les classes de température sont répertoriées dans le Tableau 2 de la CEI 62498-1:2010.

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'acheteur.

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,
- 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 K/h) ou de l'hygrométrie (plus de $5\text{ \%h}$),
- 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 et en 9.4,
- 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 essais et exigences applicables aux condensateurs.

5.1.2 Conditions d'essai

Sauf spécification contraire, les conditions d'essai relatives aux condensateurs doivent être conformes à 5.3 de la CEI 60068-1:1988.

NOTE La CEI 60068-1:1988, 5.3 spécifie les conditions atmosphériques de référence suivantes pour les mesures et les essais.

Température:	15 °C à 35 °C
Humidité relative:	25 % à 75 %
Pression de l'air:	86 kPa à 106 kPa

5.1.3 Conditions de mesure

Les conditions de mesure (c'est-à-dire capacité, résistance interne et courant de fuite, etc.) pour le condensateur doivent être conformes à 5.3 de la CEI 60068-1:1988 avec l'exception suivante.

La température doit être égale à $25\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$.

5.1.4 Traitement par application de tension

Le condensateur doit être chargé pour atteindre une tension U_R et maintenu ainsi pendant 30 min au moyen d'une source de courant continu. Puis le condensateur doit être déchargé grâce un dispositif de décharge approprié.

5.1.5 Traitement thermique

Le condensateur doit être maintenu dans l'environnement à la température spécifiée en 5.1.3 pendant une durée d'impregnation appropriée, permettant une égalisation thermique.

5.2 Classification des essais

5.2.1 Généralités

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

Les essais de type et les essais de série comprennent les essais décrits dans le Tableau 1.

Tableau 1 – Classification des essais

No.	Type d'essai	Essais de type		Essais de série	
		Unité	Module ou batterie	Unité	Module ou batterie
1A	Capacité	5.3	5.3	5.3	5.3
1B	Résistance interne	5.3	5.3	5.3	5.3
2A	Courant de fuite	5.4.1	—	—	—
2B	Autodécharge	5.4.2 ^a	5.4.2	—	—
3	Essai d'isolation entre les bornes et le boîtier	5.5.1.1 ^a (si applicable et exigé)	5.5.2.1	5.5.1.2 ^a (si applicable)	5.5.2.2
4	Essai d'étanchéité	5.6	—	—	—
5	Essai de tension de choc	5.7	5.7	—	—
6	Changement de température	5.8.1	5.8.1	—	—
7	Chaleur humide, essai continu	5.8.2 (si applicable)	5.8.2 (module seulement)	—	—
8	Essais mécaniques des bornes	5.9.1 ^a	5.9.1 (si applicable)	—	—
9	Examen externe	5.9.2	5.9.2	5.9.2	5.9.2
10	Vibrations et chocs	5.9.3	5.9.3	—	—
11	Essai d'endurance	5.10	—	—	—
12	Essai cyclique d'endurance	5.11	5.11 ^b	—	—
13	Essai de décharge de pression	5.12	—	—	—
14	Inflammabilité passive	5.13	—	—	—
15	Essai CEM	—	5.14	—	—
^a Cet essai peut être remplacé par un essai de module ou de batterie, si cela fait l'objet d'un accord entre le constructeur et l'acheteur. ^b Cet essai peut être remplacé par un essai d'unité de condensateur, si cela fait l'objet d'un accord entre le constructeur et l'acheteur.					

5.2.2 Essais de type

Les essais de type sont destinés à montrer le bien-fondé et la sûreté 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'acheteur doit, sur sa demande, recevoir un certificat détaillant les résultats de ces essais.

Ces essais doivent être réalisés sur des condensateurs de conception identique à celle des condensateurs définis dans le contrat.

Si cela fait l'objet d'un accord entre le constructeur et l'acheteur, il est possible d'utiliser un condensateur de conception similaire, si l'on peut appliquer des conditions d'essai identiques ou plus sévères.

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

5.2.3 Essais de série

La séquence d'essais répondant aux exigences de qualité doit être la suivante.

Les essais de série doivent être réalisés par le constructeur sur chaque condensateur avant livraison. Sur demande, le constructeur doit livrer le condensateur accompagné d'une certification détaillant les résultats des essais.

5.2.4 Essais d'acceptation

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

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

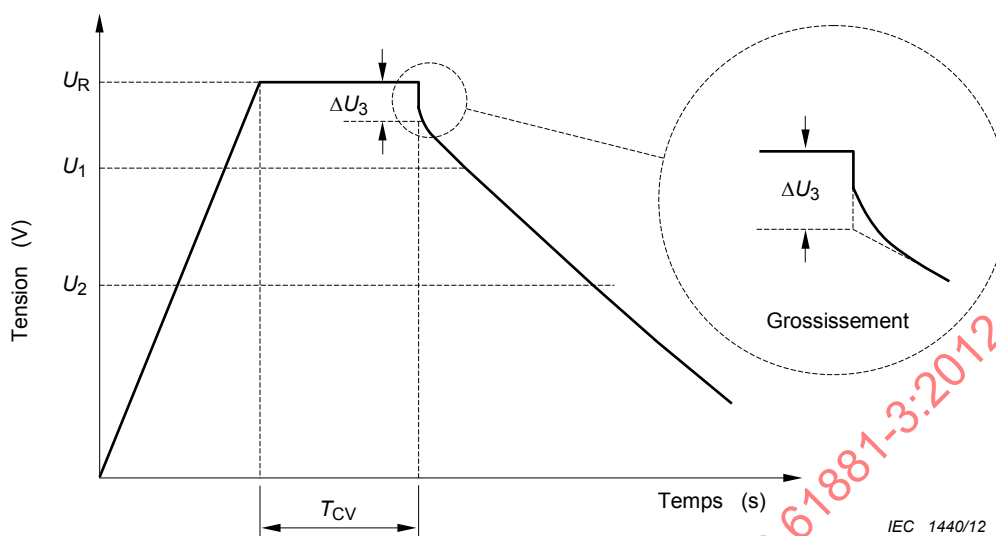
5.3 Capacité et résistance interne

5.3.1 Procédure de mesure de la capacité et de la résistance interne

La capacité et la résistance interne du condensateur doivent être mesurées conformément au 4.1.1 à 4.1.4 de la CEI 62576:2009, avec les exceptions suivantes.

- a) Sauf spécification contraire, le condensateur doit être soumis à un préconditionnement selon 5.1.4 et 5.1.5.
- b) Sauf spécification contraire, la température de mesure doit être égale à $25\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ (voir 5.1.3).
- c) Mesure des caractéristiques de chute de tension: jusqu'à $0,3 U_R$.

Les caractéristiques tension-temps entre les bornes du condensateur au cours de la mesure de la capacité et de la résistance interne sont indiquées sur la Figure 1.



U_R tension assignée (V)

U_1 tension au début du calcul (V)

U_2 tension à la fin du calcul (V)

ΔU_3 chute de tension (V)

T_{CV} durée(s) de la charge à tension constante

Figure 1 – Caractéristiques tension-temps entre les bornes du condensateur pour la mesure de la capacité et de la résistance interne

5.3.2 Méthodes de calcul de la capacité et de la résistance interne

- a) La capacité du condensateur doit être calculée conformément au 4.1.5 de la CEI 62576:2009, avec l'exception suivante.

W: énergie déchargée mesurée (J) entre la tension au début du calcul ($U_1 = 0,9U_R$) et la tension à la fin du calcul ($U_2 = 0,4U_R$).

- b) La résistance interne du condensateur doit être calculée conformément au 4.1.6 de la CEI 62576:2009, avec les exceptions suivantes.

ΔU_3 : Appliquer l'approximation linéaire aux caractéristiques de chute de tension entre la tension au début du calcul ($U_1 = 0,9U_R$) et la tension à la fin du calcul ($U_2 = 0,4U_R$) grâce à la méthode des plus petits carrés. Relever le point d'interception (valeur de tension) de la ligne droite au début de la décharge. ΔU_3 représente la différence de tension (V) entre la valeur de la tension d'interception et la valeur de référence de la charge à tension constante.

5.3.3 Critères d'acceptation de la capacité et de la résistance interne

La capacité du condensateur doit se situer dans l'intervalle de valeurs défini après accord entre le constructeur et l'acheteur.

La résistance interne du condensateur ne doit pas dépasser la valeur définie après accord entre le constructeur et l'acheteur.

5.4 Courant de fuite et autodécharge

5.4.1 Courant de fuite

Le courant de fuite du condensateur doit être mesuré conformément au 4.7.1 de la CEI 62391-1:2006, avec les exceptions suivantes.

- a) Température d'essai: $25\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$
- b) Temps de mise sous tension: 24 h, 48 h ou 72 h

Le courant de fuite du condensateur ne doit pas dépasser la valeur définie d'un commun accord par le constructeur et l'acheteur.

5.4.2 Autodécharge

L'essai d'autodécharge du condensateur doit être réalisé conformément au 4.8 de la CEI 62391-1:2006, avec les exceptions suivantes.

- a) Température d'essai: $25\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$
- b) Durée de mesure: 16 h, 24 h ou 48 h

La tension mesurée après essai doit dépasser la valeur définie d'un commun accord par le constructeur et l'acheteur.

5.5 Essai d'isolation entre bornes et boîtier

5.5.1 Unité de condensateur (Si applicable (applicable au boîtier métallique à bornes) et si exigé)

5.5.1.1 Essai de type

La tension d'essai doit être appliquée entre les deux bornes connectées ensemble et le boîtier non-métallique ou le boîtier isolé. Sauf si un accord particulier a été passé entre le constructeur et l'acheteur, la tension d'essai doit être spécifiée par le constructeur.

Sauf si un accord particulier a été passé entre le constructeur et l'acheteur, le constructeur doit choisir l'une des méthodes d'essai suivantes.

5.5.1.1.1 Méthode de la feuille

Une feuille métallique doit être étroitement enroulée autour du corps de l'unité de condensateur.

Pour une unité de condensateur à sorties axiales, cette feuille doit dépasser au moins de 5 mm à chaque extrémité, à condition qu'une distance minimale de 1 mm/kV puisse être maintenue entre la feuille et les sorties. Si cette distance minimale ne peut pas être maintenue, l'extension de la feuille doit être réduite autant que nécessaire afin d'établir la distance de 1 mm/kV de tension d'essai.

Pour une unité de condensateur à sorties unidirectionnelles, une distance minimale de 1 mm/kV doit être maintenue entre le bord de la feuille et chacune des sorties.

En aucun cas la distance entre la feuille et les sorties ne doit être inférieure à 1 mm.

Aucun signe de claquage ou de contournement ne doit apparaître au niveau de l'un des points d'essai spécifiés durant la période d'essai.

5.5.1.1.2 Méthode du support en V

L'unité de condensateur doit être fixée au creux d'un support en V métallique à 90° (voir Figure 2) de taille suffisante pour que le corps de l'unité de condensateur ne dépasse pas les extrémités du support.

La force de serrage doit garantir un contact adéquat entre l'unité de condensateur et le support.

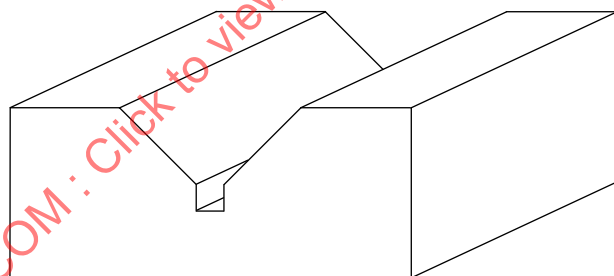
L'unité de condensateur doit être positionnée de la façon suivante:

- Pour les unités de condensateurs cylindriques: l'unité de condensateur doit être positionnée dans le support de manière que la sortie la plus éloignée de l'axe de l'unité de condensateur soit située au plus près de l'une des faces du support.
- Pour les unités de condensateurs rectangulaires: l'unité de condensateur doit être positionnée dans le support de manière que la sortie la plus proche du bord de l'unité de condensateur soit située au plus près de l'une des faces du support.

Pour les unités de condensateurs cylindriques et rectangulaires à sorties axiales, toute excentration de la sortie émergeant du corps de l'unité de condensateur ne doit pas être prise en considération.

La tension d'essai spécifiée est appliquée instantanément à travers la résistance interne de la source de puissance pendant le temps indiqué dans la spécification correspondante.

Aucun signe de claquage ou de contournement ne doit apparaître au niveau de l'un des points d'essai spécifiés durant la période d'essai.



IEC 1441/12

Figure 2 – Support en V

5.5.1.2 Essai de série

Identique à l'essai de type (voir 5.5.1.1), avec les précisions suivantes.

La tension d'essai doit être appliquée instantanément à travers la résistance interne de la source de puissance. La tension d'essai et la durée d'essai doivent être conformes aux valeurs définies d'un commun accord par le constructeur et l'acheteur.

Aucun signe de claquage ou de contournement ne doit apparaître au niveau de l'un des points d'essai spécifiés durant la période d'essai.

5.5.2 Module ou batterie de condensateurs

5.5.2.1 Essai de type

Sauf si un accord particulier a été passé entre le constructeur et l'acheteur, les essais sur le module ou la batterie de condensateurs doivent être réalisés conformément à la CEI 62497-1.

5.5.2.2 Essai de série

Identique à l'essai de type (voir 5.5.2.1), avec l'exception suivante.

La durée d'essai doit être égale à 10 s.

5.6 Essai d'étanchéité

A moins que la capacité d'étanchéité de l'unité de condensateur ne soit démontrée par d'autres moyens, l'essai d'étanchéité doit être réalisé conformément à l'essai Qc, méthode 2, décrit dans la CEI 60068-2-17:1994, en utilisant comme solvant d'examen une huile silicone non-conductrice ou un solvant équivalent.

L'unité de condensateur doit être immergée dans un solvant d'examen, les pièces assurant l'étanchéité du condensateur étant orientées face vers le haut. La température d'essai du solvant d'examen doit être supérieure de 5 °C à la température de catégorie supérieure.

Le temps d'immersion de l'unité de condensateur doit être au moins égal au triple de la constante de temps de l'unité de condensateur.

Aucun dégagement continu de bulles d'air apparaissant dans le solvant d'examen ne doit provenir des pièces d'étanchéité de l'unité de condensateur. Si le résultat est douteux, l'essai doit être réalisé sans manchon.

5.7 Essai de tension de choc (à l'étude)

5.7.1 Généralités

Sauf spécification contraire, l'essai de tension de choc sur l'unité de condensateur doit être réalisé selon la procédure suivante.

5.7.2 Préconditionnement

Le condensateur doit être traité conformément à 5.1.4 et à 5.1.5.

5.7.3 Mesure initiale

La capacité et la résistance interne du condensateur doivent être mesurées conformément à 5.3.

5.7.4 Méthode d'essai

Le condensateur doit être chargé au moyen d'une source de courant continu pour atteindre U_R dans un intervalle de 5 min, puis déchargé au travers d'un circuit de décharge approprié dans un intervalle de 1 min. L'essai doit être répété 5 fois. Il convient que les intervalles de temps soient de 6 min.

La résistance du circuit de décharge (câbles, interrupteurs, shunts ou électronique) doit avoir une valeur maximale égale à la résistance interne de l'unité de condensateur, mais ne dépassant pas 1 mΩ.

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

$$I_{\text{essai}} = 1,1 I_s$$

5.7.5 Post-traitement

Le condensateur doit être traité conformément à 5.1.5, et déchargé au moyen d'un dispositif approprié.

5.7.6 Mesure finale

La capacité et la résistance interne du condensateur doivent être mesurées conformément à 5.3.

5.7.7 Critères d'acceptation

La variation de capacité et de résistance interne doit respecter l'intervalle de valeurs défini après accord entre le constructeur et l'acheteur.

5.8 Essais d'environnement

5.8.1 Variation de température

5.8.1.1 Généralités

Sauf spécification contraire, l'essai de variation de température sur le condensateur doit être réalisé selon la procédure suivante.

5.8.1.2 Préconditionnement

Le condensateur doit être traité conformément à 5.1.4 et à 5.1.5.

5.8.1.3 Mesure initiale

La capacité et la résistance interne du condensateur doivent être mesurées conformément à 5.3.

5.8.1.4 Méthodes d'essai

L'essai de variation de température sur le condensateur doit être réalisé conformément à l'essai Na décrit dans la CEI 60068-2-14:2009, après accord entre le constructeur et l'acheteur, selon les limites supérieures et inférieures de température du condensateur, avec les précisions suivantes.

- a) Limite supérieure de température: Température de catégorie supérieure
- b) Limite inférieure de température: Température de catégorie inférieure
- c) Nombre de cycles: Selon accord entre le constructeur et l'acheteur

5.8.1.5 Post-traitement

Le condensateur doit être traité conformément à 5.1.5.

5.8.1.6 Mesure finale

La capacité et la résistance interne du condensateur doivent être mesurées conformément à 5.3.

5.8.1.7 Critères d'acceptation

La variation de capacité et de résistance interne doit respecter l'intervalle de valeurs défini d'un commun accord par le constructeur et l'acheteur.

NOTE Dans le cas d'un module, sauf si un accord particulier a été passé entre le constructeur et l'acheteur, il existe un essai d'isolation supplémentaire, suivi d'un essai de code IP spécifié dans la CEI 60529.

5.8.2 Chaleur humide, essai continu

5.8.2.1 Généralités

Sauf spécification contraire, l'essai à chaleur humide en régime établi sur le condensateur doit être réalisé selon la procédure suivante.

5.8.2.2 Préconditionnement

Le condensateur doit être traité conformément à 5.1.4 et à 5.1.5.

5.8.2.3 Mesure initiale

La capacité et la résistance interne du condensateur doivent être mesurées conformément à 5.3.

5.8.2.4 Méthode d'essai

L'essai doit être réalisé conformément à la CEI 60068-2-78 avec un degré de sévérité (voir Tableau 2) conforme au degré défini après accord entre le constructeur et l'acheteur. Aucune condensation ne doit se produire durant l'essai.

Tableau 2 – Essai à chaleur humide en régime établi

Sévérité	Température d'essai	Humidité d'essai	Durée
	°C	% HR	Jours
A	40	93	56
B	40	93	21

Après la réalisation de l'essai en régime établi, l'unité (le cas échéant) ou le module de condensateurs doit être soumis à un essai d'isolation entre bornes et boîtier conformément à 5.5.

5.8.2.5 Post-traitement

Le condensateur doit être traité conformément à 5.1.5.

5.8.2.6 Mesure finale

La capacité et la résistance interne du condensateur doivent être mesurées conformément à 5.3.

5.8.2.7 Critères d'acceptation

Aucun échantillon d'essai ne doit subir de claquage électrique de l'isolation ou de contournement durant l'essai d'isolation entre bornes et boîtier (voir 5.5).

La variation de capacité et de résistance interne doit respecter l'intervalle de valeurs défini d'un commun accord par le constructeur et l'acheteur.

5.9 Essais mécaniques

5.9.1 Essais mécaniques des bornes

Les bornes du condensateur doivent faire l'objet d'essais de robustesse appropriés, tels que définis après accord entre le constructeur et l'acheteur (voir Tableau 3).

Tableau 3 – Essai de robustesse des bornes

No.	Essais ou mesures	Méthode d'essai		Conditions d'essai
1	Résistance à la traction des câbles de connexion et des connexions soudées	CEI 60068-2-21	Ua ₁	Individuel avec poids du condensateur, au minimum 10 N
2	Résistance à la flexion des connexions		Ub ₁	Nombre de cycles de flexion: 2
3	Résistance à la flexion des cosses à souder et des cosses de fiches plates		Ub ₂	Nombre de cycles de flexion, pour cosses soudées avec câble connecté: 2
4	Résistance à la torsion des sorties axiales		Uc	Sévérité 2
5	Résistance au couple des éléments vissés et boulonnés		Ud	^a
6	Brasabilité et résistance à la chaleur de brasage des connexions brasées	CEI 60068-2-20		Fer à souder: Taille A Température du fer: 350 °C
^a La résistance au couple des connexions vissées et boulonnées doit être définie par le constructeur.				

5.9.2 Examen externe

L'examen externe du condensateur doit comporter un examen visuel et une vérification de la finition et du marquage, selon accord entre le constructeur et l'acheteur.

5.9.3 Vibrations et chocs

Sauf si un accord particulier a été passé entre le constructeur et l'acheteur, ces essais sur le condensateur doivent être réalisés conformément à la CEI 61373:2010, de catégorie 1B pour les unités et les modules de condensateurs ou de catégorie 1A pour les batteries de condensateurs.

5.10 Essai d'endurance

5.10.1 Généralités

Sauf spécification contraire, l'essai d'endurance de l'unité de condensateur doit être réalisé selon la procédure suivante.

5.10.2 Préconditionnement

Le condensateur doit être traité conformément à 5.1.4 et à 5.1.5.

5.10.3 Mesures initiales

La capacité et la résistance interne de l'unité de condensateur doivent être mesurées conformément à 5.3.

Les dimensions mécaniques et la masse doivent être relevées.