

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

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

Part 2: Aluminium electrolytic capacitors with non-solid electrolyte

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

Partie 2: Condensateurs électrolytiques à l'aluminium, à électrolyte non solide





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It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.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



IEC 61881-2

Edition 1.0 2012-08

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

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

Part 2: Aluminium electrolytic capacitors with non-solid electrolyte

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

Partie 2: Condensateurs électrolytiques à l'aluminium, à électrolyte non solide

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX

U

ICS 45.060

ISBN 978-2-83220-259-3

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	11
4.1.1 General	11
4.1.2 Altitude.....	11
4.1.3 Temperature.....	11
4.2 Unusual service conditions	11
5 Quality requirements and tests	12
5.1 Test requirements	12
5.1.1 General	12
5.1.2 Test conditions	12
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	14
5.3 Capacitance and tangent of loss angle ($\tan\delta$)	14
5.3.1 Capacitance	14
5.3.2 Tangent of loss angle ($\tan\delta$)	14
5.4 Leakage current	14
5.4.1 Capacitor cell	14
5.4.2 Capacitor module or bank.....	14
5.5 Insulation test between terminals and case	14
5.5.1 Capacitor cell	14
5.5.2 Capacitor module or bank.....	15
5.6 Sealing test	15
5.7 Surge discharge test (under consideration)	15
5.7.1 General	15
5.7.2 Preconditioning.....	15
5.7.3 Initial measurement	15
5.7.4 Test methods.....	15
5.7.5 Post treatment.....	16
5.7.6 Final measurement.....	16
5.7.7 Acceptance criteria	16
5.8 Environmental testing.....	16
5.8.1 Change of temperature	16
5.8.2 Damp heat, steady state	17
5.9 Mechanical testing	18
5.9.1 Mechanical tests of terminals	18

5.9.2	External inspection	18
5.9.3	Vibration and shocks	18
5.10	Endurance test	18
5.10.1	General	18
5.10.2	Preconditioning	18
5.10.3	Initial measurements	18
5.10.4	Test methods	18
5.10.5	Post treatment	19
5.10.6	Final measurement	19
5.10.7	Acceptance criteria	19
5.11	Pressure relief test	19
5.12	Passive flammability	19
6	Overloads	19
6.1	Maximum permissible voltage	19
6.2	Maximum permissible current	20
7	Safety requirements	20
7.1	Discharge device	20
7.2	Case connections (grounding)	20
7.3	Protection of the environment	20
7.4	Other safety requirements	20
8	Marking	21
8.1	Marking of the capacitor	21
8.1.1	Capacitor cell	21
8.1.2	Capacitor module or bank	21
8.2	Data sheet	21
9	Guidance for installation and operation	22
9.1	General	22
9.2	Choice of rated voltage	22
9.3	Operating temperature	22
9.3.1	Life time of capacitor	22
9.3.2	Installation	22
9.3.3	Unusual cooling conditions	23
9.4	Over voltages	23
9.5	Overload currents	23
9.6	Switching and protective devices	23
9.7	Dimensioning of creepage distance and clearance	24
9.8	Connections	24
9.9	Parallel connections of capacitors	24
9.10	Series connections of capacitors	24
9.11	Magnetic losses and eddy currents	24
9.12	Guide for unprotected capacitors	24
Annex A (informative)	Terms and definitions of capacitors	25
Bibliography		26
Figure 1	– Examples of preferred vent and anode position	23
Figure A.1	– Example of capacitor application in capacitor equipment	25
Table 1	– Classification of tests	13

Table 2 – Damp heat steady-state test.....	17
Table 3 – Testing the robustness of terminals.....	18

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

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

Part 2: Aluminium electrolytic capacitors with non-solid electrolyte

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 61881-2 has been prepared by technical committee 9: Electrical equipment and systems for railways.

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

FDIS	Report on voting
9/1679/FDIS	9/1707/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.

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

Part 2: Aluminium electrolytic capacitors with non-solid electrolyte

1 Scope

This part of IEC 61881 applies to d.c. aluminium electrolytic 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. filtering, etc.

Capacitors not covered by this Standard:

- IEC 61881-1: Paper/plastic film capacitors;
- IEC 61881-3: Electric double-layer capacitors.

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 60062:2004, *Marking codes for resistors and capacitors*

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 60068-2-21:2006, *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 60384-1:2008, *Fixed capacitors for use in electronic equipment – Part 1: Generic specification*

IEC 60384-4:2007, *Fixed capacitors for use in electronic equipment – Part 4: Sectional specification – Aluminium electrolytic capacitors with solid (MnO₂) and non-solid electrolyte*

IEC 60721-3-5:1997, *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 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*

3 Terms and definitions

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

3.1

capacitor element

indivisible electrolytic capacitor with non-solid electrolyte

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 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**aluminium electrolytic capacitor with non-solid electrolyte**

capacitor consisting of oxide film formed on the surface of aluminium foil by anodic oxidation as dielectric and paper or fibber impregnated with liquid electrolyte in close contact with the dielectric as a part of the cathode

3.9**pressure relief structure**

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

3.10**discharge device**

device which can reduce the voltage between the terminals practically to zero, within a given time, after the capacitor has been disconnected from a network

3.11**rated d.c. voltage (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.

3.12**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 $\sqrt{2}$

3.13**maximum peak current (I_P)**

maximum peak current that can occur during continuous operation

3.14**rated ripple current (I_{ripple})**

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

3.15**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

Note 1 to entry: See surge voltage in IEC 60384-4:2007, 4.14.

3.16**operating temperature**

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

SEE: 3.22

3.17**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

3.18

upper category temperature

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

3.19

lower category temperature

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

3.20

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

3.21

cooling-air temperature (T_{amb})

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

3.22

maximum operating temperature (T_{max})

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

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

3.23

steady-state conditions of temperature

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

3.24

tangent of the loss angle of a capacitor

tan

power loss of the capacitor divided by the reactive power of the capacitor at a sinusoidal voltage at a specified frequency

[SOURCE: IEC 60384-1:2008, 2.2.24]

$$\tan \delta = \frac{R_{\text{esr}}}{\frac{1}{\omega C}} = \frac{R_{\text{esr}}}{\frac{1}{2\pi f C}} = 2\pi f C \times R_{\text{esr}}$$

where R_{esr} is the equivalent series resistance;
 ω is the angular frequency ($2 \times \pi \times f$);
 C is the capacitance.

3.25

equivalent series resistance of a capacitor (R_{esr})

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

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 60721-3-5:1997 class 5k2 which has a range from –25 °C to 40 °C. Where ambient temperature lies outside this range, it shall be 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 in 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 test requirements for capacitors.

5.1.2 Test conditions

Unless otherwise specified, the test conditions shall be as in IEC 60384-1:2008, 4.2.1.

NOTE IEC 60384-1:2008, 4.2.1 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, tangent of loss angle and leakage current, etc.) for the capacitor shall be as in IEC 60384-4:2007, 4.2.3 with the following exceptions.

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

Relative humidity shall be 25 % to 75 %.

5.1.4 Voltage treatment

The capacitor shall be subjected to voltage treatment as specified in IEC 60384-4:2007, 4.1. 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 of 5.1.3 for a suitable soak period for thermal equalization.

NOTE Leave time of capacitor to reach measuring condition may be generally 1 h to 4 h for capacitor cell and 4 h to 24 h for capacitor module and bank.

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 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	Tangent of loss angle	5.3	5.3	5.3	5.3
2	Leakage current	5.4	5.4	5.4	5.4
3	Insulation test between terminals and case	5.5.1 ^a (if applicable and required)	5.5.2	5.5.1 ^a (if applicable)	5.5.2
4	Sealing test	5.6	—	—	—
5	Surge discharge test	5.7	5.7 (if applicable)	—	—
6	Change of temperature	5.8.1	5.8.1	—	—
7	Damp heat, steady state	5.8.2 (if applicable)	5.8.2 ^b (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	Pressure relief test	5.11.1 (if applicable)	—	—	—
13	Passive flammability	5.12	—	—	—
^a This test may be substituted by 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 capacitor 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 tests 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 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 agreement between the manufacturer and the purchaser, and shall be stated in the contract.

5.3 Capacitance and tangent of loss angle ($\tan\delta$)

5.3.1 Capacitance

The capacitance of the capacitor shall be measured in accordance with IEC 60384-4:2007, 4.3.2 after the leakage current measurement (see 5.4).

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

5.3.2 Tangent of loss angle ($\tan\delta$)

The tangent of loss angle ($\tan\delta$) of the capacitor shall be measured in accordance with IEC 60384-4:2007, 4.3.3 after leakage current measurement (see 5.4).

The tangent of loss angle of the capacitors shall not exceed the values agreed between the manufacturer and the purchaser.

5.4 Leakage current

5.4.1 Capacitor cell

Unless otherwise specified, the capacitor cell shall be tested in accordance with IEC 60384-4:2007, 4.3.1 with the following details.

Before this measurement is made, the capacitors cell shall be fully discharged.

The duration of connecting voltage shall be measured in accordance with the time as agreed between the manufacturer and the purchaser.

During the test, neither electrical breakdown of the insulation nor flashover shall occur.

5.4.2 Capacitor module or bank

The capacitor module or bank shall be tested as agreed between the manufacturer and the purchaser.

5.5 Insulation test between terminals and case

5.5.1 Capacitor cell

Unless otherwise agreed between the manufacturer and the purchaser, the measurement for the capacitor shall be in accordance with IEC 60384-1:2008, 4.6.2.3, with the following details:

Measurement section: between the two terminations connected together and non-metallic case of capacitor,

- a) test voltage: voltage agreed between the manufacturer and the purchaser;
- b) test duration: 1 min, unless otherwise 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

Unless otherwise specified, the tests of capacitor shall be carried out in accordance with IEC 62497-1 with the 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 capacitor cell facing up. The temperature of examination solvent shall be 5 °C higher than the operating 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 be coming 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 shall be carried out by following procedure.

5.7.2 Preconditioning

The capacitor shall be treated in accordance with 5.1.4 and then 5.1.5.

5.7.3 Initial measurement

The capacitance and tangent of loss angle, and the leakage current of the capacitor shall be measured in accordance with 5.3 and 5.4 respectively.

5.7.4 Test methods

The capacitor shall be charged by means of a d.c. source up to $1,1 U_R$ within 5 min and then discharged through a suitable 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 internal resistance of capacitor cell, 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 in accordance with 5.1.5, and discharged through a suitable discharge device.

5.7.6 Final measurement

The capacitance and tangent of loss angle, and the leakage current of the capacitor shall be measured in accordance with 5.3 and 5.4 respectively.

5.7.7 Acceptance criteria

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

The leakage current and tangent of loss angle of the capacitor shall not exceed the values 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 in accordance with 5.1.4 and the 5.1.5.

5.8.1.3 Initial measurement

The capacitance and tangent of loss angle, and the leakage current of the capacitor shall be measured in accordance with 5.3 and 5.4 respectively.

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 in accordance with 5.1.5 and discharged through a suitable discharge device.

5.8.1.6 Final measurement

The capacitance and tangent of loss angle, and the leakage current of the capacitor shall be measured in accordance with 5.3 and 5.4 respectively.

5.8.1.7 Acceptance criteria

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

The leakage current and tangent of loss angle of the capacitor shall not exceed the values as agreed between the manufacturer and the purchaser.

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 in accordance with 5.1.4 and 5.1.5.

5.8.2.3 Initial measurement

The capacitance and tangent of loss angle, and the leakage current of the capacitor shall be measured in accordance with 5.3 and 5.4 respectively.

5.8.2.4 Test methods

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 in accordance with 5.1.5 and discharged through a suitable discharge device.

5.8.2.6 Final measurement

The capacitance and tangent of loss angle, and the leakage current of the capacitor shall be measured in accordance with 5.3 and 5.4 respectively.

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

The leakage current and tangent of loss angle of the capacitor shall not exceed the values as agreed between the manufacturer and the purchaser.

5.9 Mechanical testing

5.9.1 Mechanical tests of terminals

The capacitor shall be tested for appropriate robustness of 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 specified, 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 shall be treated in accordance with 5.1.4 and then 5.1.5.

5.10.3 Initial measurements

The capacitance and tangent of loss angle, and the leakage current of the capacitor cell shall be measured in accordance with 5.3 and 5.4 respectively.

5.10.4 Test methods

Test method for the capacitor cell shall be in accordance with IEC 60384-4:2007, 4.13 with following details:

- a) test temperature: upper category temperature;

- b) test voltage: pure d.c. voltage equal to U_R ;
- c) test duration: 2 000 h to 10 000 h (test duration shall be as agreed between the manufacturer and the purchaser).

5.10.5 Post treatment

The capacitor cell shall be treated in accordance with 5.1.5 and discharged through a suitable discharge device.

5.10.6 Final measurement

The capacitance and tangent of loss angle, and the leakage current of the capacitor shall be measured in accordance with 5.3 and 5.4 respectively.

5.10.7 Acceptance criteria

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

The leakage current and tangent of loss angle of the capacitor cell shall not exceed the values as agreed between the manufacturer and the purchaser.

No visible damage shall be observed.

5.11 Pressure relief test

The pressure relief test for the capacitor cell shall be carried out in accordance with IEC 60384-1:2008, 4.28.2.

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 does not guarantee safe end of life of a capacitor.

5.12 Passive flammability

The passive flammability test for the capacitor cell shall be carried out in accordance with IEC 60384-1:2008, 4.38.

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.

6 Overloads

6.1 Maximum permissible voltage

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

When voltage is applied continuously, the maximum permissible voltage is equal to the rated voltage. When higher voltages than the rated voltage is applied temporarily, the maximum permissible voltage is allowed subject to calculated voltages using rated voltage and surge ratio as defined in IEC 60384-4:2007, 2.2.7 under the conditions as defined in IEC 60384-4:2007, 4.14.

6.2 Maximum permissible current

The capacitor shall be suitable for operation at ripple, charge/discharge and surge current levels and duration as agreed between the manufacturer and the purchaser without any failure. It should be recognised that any significant period of operation at ripple, charge/discharge and surge currents above the rated one will reduce the useful life.

The maximum permissible current shall be as agreed between the manufacturer and the purchaser. For continuous application, the maximum permissible current is ripple current as defined in 3.14. For instantaneous application, the maximum permissible current are maximum peak current as defined in 3.13 and maximum surge current as defined in 3.15.

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 U_R .

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

8 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 and manufacturing date (year and month or week of manufacture) or serial number;
- C = μF or F ;
- Tol^* = % or tolerance code as specified in IEC 60062:2004, Clause 5 (optional);
- U_R = V .

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

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

NOTE 3 Additional data can be added to the rating plate on agreement between the manufacturer and the 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 = μF or F ;
- Tol^* = % or tolerance code as specified in IEC 60062:2004, Clause 5 (optional);
- U_R = V ;
- I_s = A (optional);
- T_{max} = $^{\circ}\text{C}$ (optional);
- maximum tightening torque = Nm (see NOTE 2) (optional);
- cooling air temperature (only for forced cooling – see 4.1.3) (optional);
- IEC 61881-2 (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 module or bank 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.

8.2 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).

Tol *: capacitance tolerance of a capacitor

NOTE 1 Even if the purchaser does not inform the manufacturer of such laws the manufacturer 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 many factors involved, it is not possible to cover, using simple rules, installation and operation in all possible cases.

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

The major application:

D.C. harmonic filter generally supplied with a direct voltage superimposed with a non-sinusoidal alternating voltage.

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, ripple current, applied voltage and the other factors. The manufacturer may provide formula to calculate estimated life under actual operation. However the formula may have some limitation.

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

- Excessive temperatures accelerate degradation of the dielectric of capacitor.
- 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 so placed 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 cooling air temperature, the efficiency of the cooling and the intensity and duration of the radiation, it may be necessary to adopt one of the following precautions:

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

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

NOTE Some cylindrical capacitors are equipped with a vent as a pressure relief structure on its end-seal. As for screw terminal type capacitors, the plastics compound is used to fix the internal element in place. The compound may melt when the capacitor is subjected to abnormal heating. If the molten compound clogs the pressure relief vent, it may disturb the vent operation. The screw type capacitor with end-seal having the vent should not be mounted so that the vent is downward. If the capacitors have to be mounted horizontally, the vent and anode terminal should be oriented as shown in Figure 1.

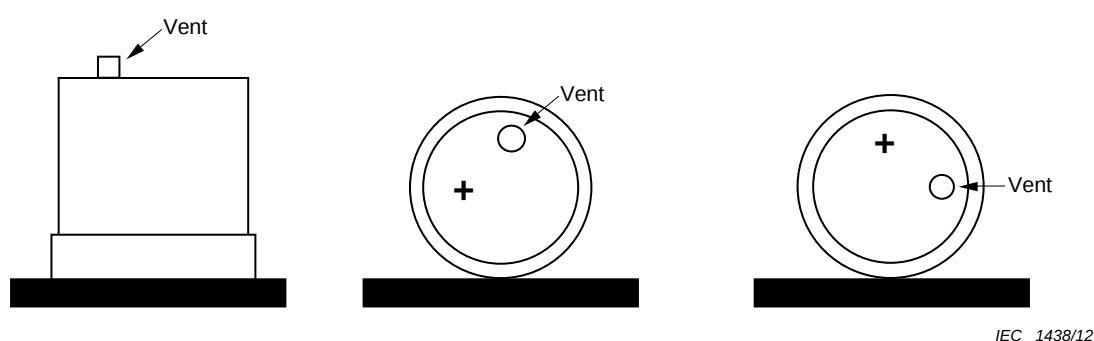


Figure 1 – Examples of preferred vent and anode position

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 defined in 3.13, 3.14 and 3.15.

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 external fuses, 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

Switching and protective devices and connections shall be capable of withstanding the electrodynamics 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 may give rise to local heat generation and possibility of 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 the 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.

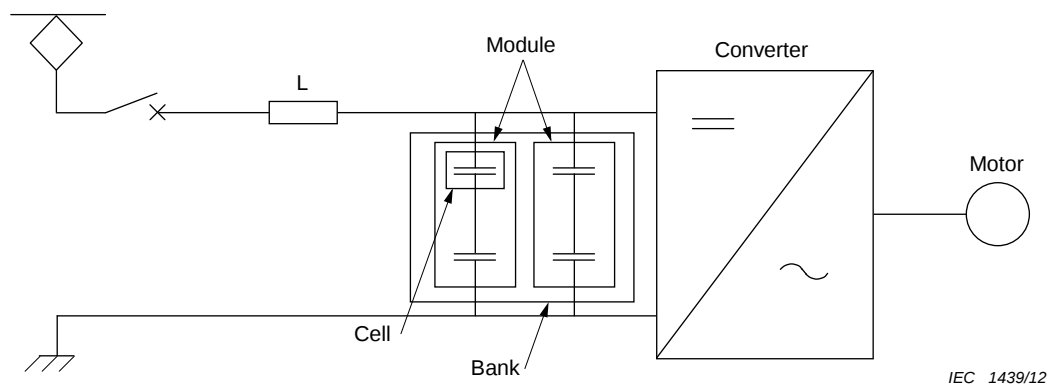


Figure A.1 – Example of capacitor application in capacitor equipment

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 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, *Railway applications – Rolling stock equipment – Capacitors for power electronics – Part 1: Paper/plastic film capacitors*

IEC 61881-3, *Railway applications – Rolling stock equipment – Capacitors for power electronics – Part 3: Electric double-layer capacitors*

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

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	31
1 Domaine d'application	33
2 Références normatives	33
3 Termes et définitions	34
4 Conditions de service	37
4.1 Conditions de service normales	37
4.1.1 Généralités	37
4.1.2 Altitude	37
4.1.3 Température	37
4.2 Conditions de service inhabituelles	37
5 Exigences de qualité et essais	38
5.1 Exigences d'essai	38
5.1.1 Généralités	38
5.1.2 Conditions d'essai	38
5.1.3 Conditions de mesure	38
5.1.4 Traitement par application de tension	38
5.1.5 Traitement thermique	38
5.2 Classification des essais	38
5.2.1 Généralités	38
5.2.2 Essais de type	39
5.2.3 Essais de série	39
5.2.4 Essais d'acceptation	40
5.3 Capacité et tangente de l'angle de perte ($\tan\delta$)	40
5.3.1 Capacité	40
5.3.2 Tangente de l'angle de perte ($\tan\delta$)	40
5.4 Courant de fuite	40
5.4.1 Unité de condensateur	40
5.4.2 Module ou batterie de condensateurs	40
5.5 Essai d'isolation entre bornes et boîtier	40
5.5.1 Unité de condensateur	40
5.5.2 Module ou batterie de condensateurs	41
5.6 Essai d'étanchéité	41
5.7 Essai de tension de choc (à l'étude)	41
5.7.1 Généralités	41
5.7.2 Préconditionnement	41
5.7.3 Mesure initiale	41
5.7.4 Méthodes d'essai	41
5.7.5 Post-traitement	42
5.7.6 Mesure finale	42
5.7.7 Critères d'acceptation	42
5.8 Essais d'environnement	42
5.8.1 Variation de température	42
5.8.2 Chaleur humide, essai continu	43
5.9 Essais mécaniques	44
5.9.1 Essais mécaniques des bornes	44

5.9.2	Examen externe	44
5.9.3	Vibrations et chocs	44
5.10	Essai d'endurance	45
5.10.1	Généralités.....	45
5.10.2	Préconditionnement.....	45
5.10.3	Mesures initiales	45
5.10.4	Méthodes d'essai.....	45
5.10.5	Post -traitement.....	45
5.10.6	Mesure finale.....	45
5.10.7	Critères d'acceptation	45
5.11	Essai de décharge de pression.....	45
5.12	Inflammabilité passive	46
6	Surcharges.....	46
6.1	Tension maximale admissible	46
6.2	Courant maximale admissible	46
7	Exigences de sécurité	46
7.1	Dispositif de décharge	46
7.2	Connexions du boîtier (mise à la terre)	47
7.3	Protection de l'environnement	47
7.4	Autres exigences de sécurité.....	47
8	Marquage	47
8.1	Marquage du condensateur	47
8.1.1	Unité de condensateur.....	47
8.1.2	Module ou batterie de condensateurs	48
8.2	Fiche technique	48
9	Guide d'installation et de fonctionnement	48
9.1	Généralités.....	48
9.2	Choix de la tension assignée.....	49
9.3	Température de fonctionnement	49
9.3.1	Durée de vie du condensateur	49
9.3.2	Installation.....	49
9.3.3	Conditions de refroidissement inhabituelles	50
9.4	Surtensions	50
9.5	Courants de surcharge	50
9.6	Dispositifs de commutation et de protection.....	50
9.7	Dimensionnement des lignes de fuite et des distances d'isolement	51
9.8	Connexions	51
9.9	Connexions parallèles des condensateurs	51
9.10	Connexions de condensateurs en série	51
9.11	Pertes magnétiques et courants de Foucault	51
9.12	Guide pour les condensateurs non protégés.....	51
	Annexe A (informative) Termes et définitions des condensateurs.....	52
	Bibliographie.....	53
	Figure 1 – Exemples de positions privilégiées pour la ventilation et l'anode	50
	Figure A.1 – Exemple d'application d'un condensateur dans une installation de condensateurs	52

Tableau 1 – Classification des essais	39
Tableau 2 – Essai à chaleur humide en régime établi	43
Tableau 3 – Essai de robustesse des bornes	44

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

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

Partie 2: Condensateurs électrolytiques à l'aluminium, à électrolyte non solide

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 Norme internationale CEI 61881-2 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
9/1679/FDIS	9/1707/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.

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

Partie 2: Condensateurs électrolytiques à l'aluminium, à électrolyte non solide

1 Domaine d'application

La présente partie de la CEI 61881 s'applique aux condensateurs électrolytiques à l'aluminium 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; filtration continue, etc.

Condensateurs non couverts par la présente Norme:

- CEI 61881-1: Condensateurs papier et film plastique;
- CEI 61881-3: Condensateurs électriques à double couche.

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 60062:2004, *Codes de marquage des résistances et des condensateurs* (disponible en anglais seulement)

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 60068-2-21:2006, *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 60384-1:2008, *Condensateurs fixes utilisés dans les équipements électroniques – Partie 1: Spécification générique* (disponible en anglais seulement)

CEI 60384-4:2007, *Condensateurs fixes utilisés dans les équipements électroniques – Partie 4: Spécification intermédiaire – Condensateurs électrolytiques à l'aluminium à électrolyte solide (MnO₂) et non solide*

CEI 60721-3-5:1997, *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 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: Équipement embarqué du matériel roulant*

3 Termes et définitions

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

3.1

élément de condensateur

condensateur électrolytique indivisible à électrolyte non solide

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**condensateur électrolytique à l'aluminium à électrolyte non solide**

condensateur composé d'un film d'oxyde formé à la surface d'une feuille d'aluminium par oxydation anodique, constituant le diélectrique, et d'un papier ou d'une fibre imprégnée d'un électrolyte liquide en contact étroit avec le diélectrique, constituant une partie de la cathode

3.9**structure de décompression**

mécanisme destiné à décharger la pression interne du condensateur lorsqu'elle dépasse la valeur spécifiée

3.10**dispositif de décharge**

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

3.11**tension continue assignée (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.

3.12**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 $\sqrt{2}$

3.13**courant de crête maximal (I_P)**

courant de crête maximal pouvant survenir en fonctionnement continu

3.14**courant d'ondulation assigné ($I_{\text{ondulation}}$)**

valeur efficace du courant alternatif maximal autorisé d'une fréquence spécifiée, à laquelle le condensateur peut fonctionner de façon continue à une température spécifiée

3.15**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

Note 1 à l'article: Voir tension de choc dans la CEI 60384-4:2007, 4.14.

3.16**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

3.17**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

3.18**température de catégorie supérieure**

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

3.19**température de catégorie inférieure**

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

3.20**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 régime établi

3.21**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

3.22**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: Cette température est différente de la température de catégorie supérieure.

3.23**conditions de température en régime établi**

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

3.24**tangente de l'angle de perte d'un condensateur****tan**

perte de puissance du condensateur divisée par la puissance réactive du condensateur pour une tension sinusoïdale à une fréquence spécifiée

[SOURCE: CEI 60384-1:2008, 2.2.24]

$$\tan \delta = \frac{R_{\text{esr}}}{\frac{1}{\omega C}} = \frac{R_{\text{esr}}}{\frac{1}{2\pi f C}} = 2\pi f C \times R_{\text{esr}}$$

où R_{esr} est la résistance-série équivalente;
 ω est la fréquence angulaire ($2 \times \pi \times f$);
 C est la capacité.

3.25

résistance-série équivalente d'un condensateur (R_{rse})

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

4 Conditions de service

NOTE Voir la CEI 60077-1.

4.1 Conditions de service normales

4.1.1 Généralités

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

4.1.2 Altitude

Ne dépassant pas 1 400 m. Voir la 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 60721-3-5:1997 présentant une gamme de -25 °C à $+40\text{ °C}$. Lorsque la température ambiante se situe en-dehors de cette gamme, elle doit faire l'objet d'un accord entre l'acheteur 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 %/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 exigences d'essai relatives aux condensateurs.

5.1.2 Conditions d'essai

Sauf spécification contraire, les conditions d'essai doivent être conformes au 4.2.1 de la 60384-1:2008.

NOTE Le 4.2.1 de la CEI 60384-1:2008 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, tangente de l'angle de perte et courant de fuite, etc.) pour le condensateur doivent être conformes au 4.2.3 de la CEI 60384-4:2007, avec les exceptions suivantes.

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

L'humidité relative doit être comprise entre 25 % et 75 %.

5.1.4 Traitement par application de tension

Le condensateur doit être soumis à un traitement par application de tension selon le 4.1 de la CEI 60384-4:2007. Puis le condensateur doit être déchargé au moyen d'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'imprégnation appropriée, permettant une égalisation thermique.

NOTE Le temps nécessaire pour que le condensateur atteigne la condition de mesure peut généralement varier de 1 h à 4 h pour une unité de condensateur et de 4 h à 24 h pour un module ou une batterie de condensateurs.

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	Tangente de l'angle de perte	5.3	5.3	5.3	5.3
2	Courant de fuite	5.4	5.4	5.4	5.4
3	Essai d'isolation entre les bornes et le boîtier	5.5.1 ^a (si applicable et exigé)	5.5.2	5.5.1 ^a (si applicable)	5.5.2
4	Essai d'étanchéité	5.6	—	—	—
5	Essai de tension de choc	5.7	5.7 (si applicable)	—	—
6	Changement de température	5.8.1	5.8.1	—	—
7	Chaleur humide, essai continu	5.8.2 (si applicable)	5.8.2 ^b (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	Essais d'endurance	5.10	—	—	—
12	Essai de décharge de pression	5.11.1 (si applicable)	—	—	—
13	Inflammabilité passive	5.12	—	—	—
^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 du condensateur défini 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 ces unités doivent faire l'objet d'un accord entre le constructeur et l'acheteur, et doivent être indiqués dans le contrat.

5.3 Capacité et tangente de l'angle de perte ($\tan\delta$)

5.3.1 Capacité

La capacité du condensateur doit être mesurée conformément au 4.3.2 de la CEI 60384-4:2007 après mesure du courant de fuite (voir 5.4).

La capacité du condensateur doit respecter la tolérance de capacité ayant fait l'objet d'un accord entre le constructeur et l'acheteur.

5.3.2 Tangente de l'angle de perte ($\tan\delta$)

La tangente de l'angle de perte ($\tan\delta$) du condensateur doit être mesurée conformément au 4.3.3 de la CEI 60384-4:2007 après mesure du courant de fuite (voir 5.4).

La tangente de l'angle de perte des condensateurs ne doit pas dépasser les valeurs définies d'un commun accord par le constructeur et l'acheteur.

5.4 Courant de fuite

5.4.1 Unité de condensateur

Sauf spécification contraire, l'unité de condensateur doit être soumise à des essais conformément au 4.3.1 de la CEI 60384-4:2007, avec les précisions suivantes.

Avant la réalisation de cette mesure, l'unité de condensateur doit être complètement déchargée.

La durée de la tension de connexion doit être mesurée conformément au temps défini d'un commun accord par le constructeur et l'acheteur.

Durant cet essai, aucun claquage électrique de l'isolation ni aucun contournement ne doivent se produire.

5.4.2 Module ou batterie de condensateurs

Le module ou la batterie de condensateurs doit être soumis à des essais, conformément à l'accord défini entre le constructeur et l'acheteur.

5.5 Essai d'isolation entre bornes et boîtier

5.5.1 Unité de condensateur

La mesure pour le condensateur doit être conforme au 4.6.2.3 de la CEI 60384-1:2008, avec les précisions suivantes, sauf si un accord particulier a été passé entre le constructeur et l'acheteur:

Section de mesure: entre les deux bornes connectées ensemble et le boîtier non-métallique du condensateur,

- a) tension d'essai: tension ayant fait l'objet d'un accord entre le constructeur et l'acheteur;
- b) durée d'essai: 1 min, sauf si un accord particulier a été passé entre le constructeur et l'acheteur.

Pour chacun des points d'essai spécifiés, aucun signe de claquage ou de contournement ne doit apparaître durant la période d'essai.

5.5.2 Module ou batterie de condensateurs

Sauf spécification contraire, les essais du condensateur doivent être réalisés conformément à la CEI 62497-1 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 du solvant d'examen doit être supérieure de 5 °C à la température de fonctionnement.

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 ne doit apparaître dans le solvant d'examen au niveau 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 le condensateur doit être réalisé selon la procédure suivante.

5.7.2 Préconditionnement

Le condensateur doit être traité conformément au 5.1.4 puis au 5.1.5.

5.7.3 Mesure initiale

La capacité et la tangente de l'angle de perte, ainsi que le courant de fuite du condensateur, doivent être mesurés conformément au 5.3 et au 5.4, respectivement.

5.7.4 Méthodes d'essai

Le condensateur doit être chargé au moyen d'une source de courant continu jusqu'à atteindre $1,1 U_R$ 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 d'essai 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 au 5.1.5, et déchargé au moyen d'un dispositif de décharge approprié.

5.7.6 Mesure finale

La capacité et la tangente d'angle de perte, ainsi que le courant de fuite du condensateur, doivent être mesurés conformément au 5.3 et au 5.4, respectivement.

5.7.7 Critères d'acceptation

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

Le courant de fuite et la tangente de l'angle de perte du condensateur ne doivent pas dépasser les valeurs définies d'un commun accord par 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 tangente de l'angle de perte, ainsi que le courant de fuite du condensateur, doivent être mesurés conformément à 5.3 et à 5.4, respectivement.

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, en respectant les limites supérieure et inférieure 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 et déchargé au moyen d'un dispositif de décharge approprié.

5.8.1.6 Mesure finale

La capacité et la tangente de l'angle de perte, ainsi que le courant de fuite du condensateur, doivent être mesurés conformément à 5.3 et à 5.4, respectivement.

5.8.1.7 Critères d'acceptation

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

Le courant de fuite et la tangente de l'angle de perte ne doivent pas dépasser les valeurs définies d'un commun accord par le constructeur et l'acheteur.

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 tangente de l'angle de perte, ainsi que le courant de fuite du condensateur, doivent être mesurés conformément au 5.3 et au 5.4, respectivement.

5.8.2.4 Méthodes 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 °C	Humidité d'essai % HR	Durée 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 et déchargé au moyen d'un dispositif de décharge approprié.

5.8.2.6 Mesure finale

La capacité et la tangente de l'angle de perte, ainsi que le courant de fuite du condensateur, doivent être mesurés conformément à 5.3 et à 5.4, respectivement.

5.8.2.7 Critères d'acceptation

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

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

Le courant de fuite et la tangente de l'angle de perte ne doivent pas dépasser les valeurs définies 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 spécification contraire, ces essais sur le condensateur doivent être réalisés conformément à la CEI 61373:2010, suivant la catégorie 1B pour les unités et les modules de condensateurs ou la 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, puis à 5.1.5.

5.10.3 Mesures initiales

La capacité et la tangente de l'angle de perte, ainsi que le courant de fuite de l'unité de condensateur, doivent être mesurés conformément à 5.3 et à 5.4, respectivement.

5.10.4 Méthodes d'essai

La méthode d'essai applicable à l'unité de condensateur doit être conforme à 4.13 de la CEI 60384-4:2007 avec les précisions suivantes:

- a) température d'essai: température de catégorie supérieure;
- b) tension d'essai: tension continue pure égale à U_R ;
- c) durée d'essai: 2 000 h à 10 000 h (la durée d'essai doit être conforme à la valeur définie d'un commun accord par le constructeur et l'acheteur).

5.10.5 Post -traitement

L'unité de condensateur doit être traitée conformément à 5.1.5 et déchargée au moyen d'un dispositif de décharge approprié.

5.10.6 Mesure finale

La capacité et la tangente de l'angle de perte, ainsi que le courant de fuite du condensateur, doivent être mesurés conformément à 5.3 et à 5.4, respectivement.

5.10.7 Critères d'acceptation

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

Le courant de fuite et la tangente de l'angle de perte de l'unité de condensateur ne doivent pas dépasser les valeurs définies d'un commun accord par le constructeur et l'acheteur.

Aucun dommage visible ne doit être observé.

5.11 Essai de décharge de pression

L'essai de décharge de pression de l'unité de condensateur doit être réalisé conformément à 4.28.2 de la CEI 60384-1:2008.

NOTE 1 Cet essai est réalisé afin de donner une indication sur le comportement de l'unité de condensateur à la fin de sa durée de vie et pour démontrer le bon fonctionnement du système de sécurité à l'intérieur des limites spécifiées. On ne peut pas garantir une défaillance en toute sécurité au cours de cet essai.

NOTE 2 Les conditions réelles pouvant différer de manière significative en service, le comportement à la fin de la durée de vie pourrait également être différent. Il convient de prendre en considération l'énergie stockée, le courant de court-circuit prévu, la durée du courant de défaillance, etc., dans l'application. La conformité ne garantit pas une fin de vie en toute sécurité du condensateur.

5.12 Inflammabilité passive

L'essai d'inflammabilité passive sur l'unité de condensateur doit être réalisé conformément à 4.38 de la CEI 60384-1:2008.

L'unité de condensateur doit être maintenue dans la flamme dans la position qui favorise le plus la combustion. Chaque condensateur doit être exposé à la flamme un fois seulement. La sévérité d'essai (temps d'exposition à la flamme) doit être indiquée par le constructeur. Il convient que le temps maximal de combustion de toute unité de condensateur ne dépasse pas 30 s.

6 Surcharges

6.1 Tension maximale admissible

Le condensateur doit s'adapter à un fonctionnement pour des niveaux de tension et des durées correspondant aux valeurs définies d'un commun accord par le constructeur et l'acheteur, sans aucune défaillance. Il convient de comprendre que toute période de fonctionnement significative à une tension dépassant la tension assignée réduira la durée de vie utile.

Lorsque la tension est appliquée de façon continue, la tension maximale admissible est égale à la tension assignée. Lorsque des tensions supérieures à la tension assignée sont appliquées de façon temporaire, la tension maximale admissible est autorisée, suivant les tensions calculées à partir du rapport entre la tension assignée et la tension de choc défini en 2.2.7 de la CEI 60384-4:2007, dans les conditions données en 4.14 de la CEI 60384-4:2007.

6.2 Courant maximal admissible

Le condensateur doit s'adapter à un fonctionnement pour des niveaux de courant d'ondulation, de charge/décharge et de choc ainsi que des durées correspondant aux valeurs définies d'un commun accord par le constructeur et l'acheteur, sans aucune défaillance. Il convient de comprendre que toute période de fonctionnement significative à des niveaux de courant d'ondulation, de charge/décharge et de choc dépassant le courant assigné réduira la durée de vie utile.

Le courant maximal admissible doit être conforme à la valeur définie d'un commun accord par le constructeur et l'acheteur. Pour une application continue, le courant maximal admissible est le courant d'ondulation tel que défini en 3.14. Pour une application instantanée, le courant maximal admissible est le courant de crête maximal tel que défini en 3.13 et le courant de choc maximal tel que défini en 3.15.

7 Exigences de sécurité

7.1 Dispositif de décharge

L'utilisation de résistances de décharge ne convient pas à certains condensateurs électroniques de puissance. Si l'acheteur l'exige, chaque module ou batterie de condensateurs doit être fourni avec des dispositifs permettant une décharge jusqu'à 60 V ou moins, à partir d'une tension initiale U_R .

Le temps de décharge doit faire l'objet d'un accord entre le constructeur et l'acheteur.

Un dispositif de décharge ne remplace pas le court-circuit des bornes du condensateur ensemble et par rapport à la terre avant le maniement.

Les condensateurs connectés directement à d'autres matériels électriques fournissant un circuit de décharge doivent être considérés comme correctement déchargés, à condition que

les caractéristiques du circuit garantissent la décharge du condensateur pendant le temps spécifié ci-dessus.

Les circuits de décharge doivent présenter une capacité conductrice adéquate pour décharger le condensateur à partir de la valeur crête de la surtension maximale.

7.2 Connexions du boîtier (mise à la terre)

Pour permettre de fixer le potentiel du boîtier métallique du condensateur, et de supporter le courant en cas de claquage de l'isolation ou de contournement du boîtier, on doit fournir avec le boîtier une connexion, ou une zone métallique non peinte, résistant à la corrosion adaptable à une pince de connexion supportant le courant.

7.3 Protection de l'environnement

Des précautions doivent être prises afin d'empêcher la dispersion de substances nocives présentant des concentrations critiques dans l'environnement. Dans certains pays, il existe des exigences légales à cet effet.

L'acheteur doit spécifier toute exigence spéciale concernant l'étiquetage s'appliquant au pays d'installation (voir 8.1.2).

Si nécessaire, le constructeur doit indiquer la charge calorifique ou la masse des principaux composants.

NOTE Les principaux composants sont les composants dont le poids représente plus de 1 % du poids des condensateurs.

7.4 Autres exigences de sécurité

L'acheteur doit spécifier au moment de l'enquête toute exigence spéciale relative aux réglementations de sécurité applicables au pays dans lequel le condensateur est destiné à être installé.

8 Marquage

8.1 Marquage du condensateur

8.1.1 Unité de condensateur

Les informations suivantes doivent figurer sur la plaque d'identification de chaque unité de condensateur:

- Nom du constructeur (nom abrégé de la société) ou marque;
- Numéro d'identification du produit et date de fabrication (année et mois ou semaine de fabrication) ou numéro de série;
- C = μF ou F ;
- Tol* = % ou code de tolérance tel que spécifié à l'Article 5 de la CEI 60062:2004 (facultatif);
- U_R = V .

NOTE 1 Il convient que l'emplacement des marquages sur l'unité de condensateur soit défini d'un commun accord par le constructeur et l'acheteur.

NOTE 2 Dans le cas de petites unités qui ne se prêtent pas à l'indication des éléments ci-dessus sur la plaque d'identification, il est admis de faire figurer certains éléments dans une fiche d'instruction.

Tol *: tolérance de capacité d'un condensateur

NOTE 3 Des données complémentaires peuvent être ajoutées sur la plaque signalétique après accord entre le constructeur et l'acheteur.

8.1.2 Module ou batterie de condensateurs

Les informations suivantes doivent figurer sur la plaque d'identification de chaque module ou batterie de condensateurs:

- Nom du constructeur (nom abrégé de la société) ou marque;
- Numéro d'identification du produit et date de fabrication (année et mois ou semaine de fabrication) ou numéro de série;
- C = μF ou F ;
- Tol^* = % ou code de tolérance tel que spécifié à l'Article 5 de la CEI 60062:2004 (facultatif);
- U_R = V ;
- I_s = A (facultatif);
- T_{max} = $^{\circ}C$ (facultatif);
- couple de serrage maximal = Nm (voir NOTE 2) (facultatif);
- température de l'air de refroidissement (seulement pour refroidissement forcé – voir 4.1.3) (facultatif);
- CEI 61881-2 (facultatif).

NOTE 1 Il convient que l'emplacement des marquages sur le module ou la batterie de condensateurs soit défini d'un commun accord par le constructeur et l'acheteur.

NOTE 2 Dans le cas de petits modules ou batteries de condensateurs qui ne se prêtent pas à l'indication des éléments ci-dessus sur la plaque d'identification, il est admis de faire figurer certains éléments dans une fiche d'instruction.

NOTE 3 Des données complémentaires peuvent être ajoutées sur la plaque signalétique après accord entre le constructeur et l'acheteur.

8.2 Fiche technique

Le constructeur doit fournir des informations permettant d'utiliser correctement le condensateur. Si l'unité de condensateur contient des matières susceptibles de polluer l'environnement ou de représenter un quelconque autre danger, la nature de ces matières et leur masse doivent être indiquées dans la fiche technique conformément aux lois du pays de l'acheteur, qui doit informer le constructeur de ces lois.

NOTE 1 Même si l'acheteur n'informe pas le constructeur de ces lois, il convient que le constructeur respecte les lois et réglementations.

NOTE 2 Un MSDS comportant un pourcentage de masse peut faire l'objet d'un accord entre le constructeur et l'acheteur.

9 Guide d'installation et de fonctionnement

9.1 Généralités

Les contraintes excessives raccourcissent la durée de vie d'un condensateur; il convient donc de contrôler de façon stricte les conditions de fonctionnement (c'est-à-dire température, tension, courant et refroidissement).

En raison des différents types de condensateurs et des nombreux facteurs impliqués, il n'est pas possible de couvrir, par de simples règles, l'installation et le fonctionnement dans tous les cas possibles.

Tol *: tolérance de capacité d'un condensateur

Les informations suivantes sont données concernant les points les plus importants à prendre en considération. En outre, les instructions du constructeur et des autorités responsables doivent être suivies.

La principale application est la suivante:

Filtre d'harmonique en courant continu généralement alimenté avec une tension continue superposée sur une tension alternative non sinusoïdale.

9.2 Choix de la tension assignée

La tension assignée du condensateur doit être égale à la tension de crête récurrente.

La plupart des applications en électronique de puissance présentent des charges variables. Par conséquent, il est nécessaire que la tension assignée et les contraintes de tension réelles fassent l'objet de discussions approfondies entre le constructeur et l'acheteur.

NOTE L'application de la tension maximale admissible et de la température maximale de fonctionnement entraînent une réduction de la durée de vie.

9.3 Température de fonctionnement

9.3.1 Durée de vie du condensateur

La durée de vie du condensateur est influencée par la température de fonctionnement, le courant d'ondulation, la tension appliquée ainsi que par d'autres facteurs. Le constructeur peut fournir des formules permettant le calcul de la durée de vie estimée en conditions de fonctionnement réelles. Ces formules peuvent cependant présenter certaines limites.

Il convient de prêter attention à la température de fonctionnement de l'unité de condensateur, car elle a une grande influence sur sa durée de vie:

- Des températures excessives accélèrent la dégradation du diélectrique du condensateur.
- Des températures extrêmement basses ou des passages très rapides du chaud au froid sont susceptibles de provoquer une dégradation partielle dans l'électrolyte ou la construction mécanique.

9.3.2 Installation

Les condensateurs doivent être installés de manière à permettre une dissipation adéquate de la chaleur produite par les pertes du condensateur.

La température des condensateurs soumis à un rayonnement solaire ou à toute source de température élevée augmente.

En fonction de la température de l'air de refroidissement, de l'efficacité du refroidissement et de l'intensité ainsi que la durée du rayonnement, il peut être nécessaire d'adopter l'une des précautions suivantes:

- protéger le condensateur du rayonnement;
- choisir un condensateur conçu pour une température de l'air supérieure en service ou utiliser des condensateurs avec une tension assignée supérieure à celle définie aux Articles 4, 6 et en 9.4;
- les condensateurs installés à haute altitude (plus de 1 400 m) sont soumis à une dissipation de chaleur moindre, élément qu'il convient de prendre en compte lorsque l'on détermine la puissance des unités.

Il convient que le constructeur fournisse un ensemble de valeurs thermiques décrivant le comportement thermique du point chaud du condensateur en fonction de la température

ambiante; les cycles de charge et les conditions de refroidissement doivent faire l'objet de recommandations de la part du constructeur.

NOTE Sur certains condensateurs cylindriques, la ventilation constitue une structure de décompression située au niveau de l'extrémité étanche. Pour les condensateurs à vis, on utilise une matière plastique pour fixer l'élément interne en place. La matière est susceptible de fondre si elle est exposée à une chaleur anormale. Si la matière fondue bouche la ventilation de décompression, elle peut perturber le fonctionnement de celle-ci. Sur un condensateur à vis équipé d'une ventilation au niveau de son extrémité étanche, il convient de ne pas orienter la ventilation vers le bas. Si les condensateurs doivent être montés horizontalement, il convient d'orienter la ventilation et la borne d'anode comme indiqué sur la Figure 1.

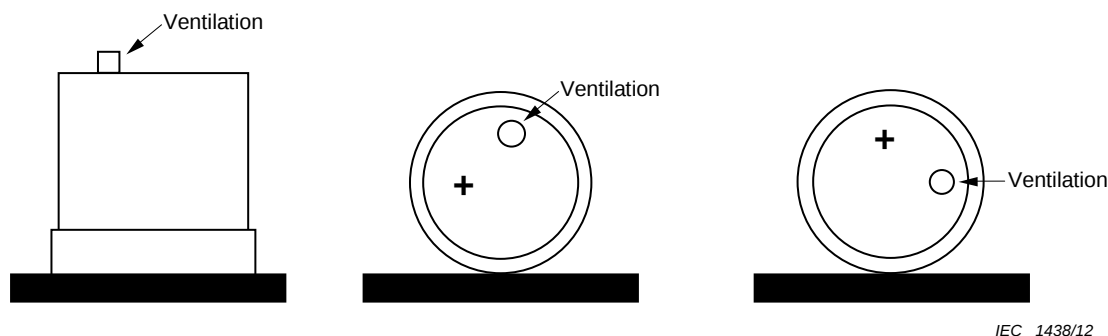


Figure 1 – Exemples de positions privilégiées pour la ventilation et l'anode

9.3.3 Conditions de refroidissement inhabituelles

Dans des cas exceptionnels, la température ambiante peut dépasser 40 °C. Dans ce cas, le constructeur doit prendre cet élément en compte pour définir la durée de vie et la sécurité de fonctionnement.

9.4 Surtensions

Des surtensions transitoires survenant dans des conditions de service inhabituelles sont susceptibles d'imposer le choix de condensateurs de valeurs assignées plus élevées.

9.5 Courants de surcharge

Il convient de ne jamais appliquer aux condensateurs en fonctionnement un courant dépassant les valeurs maximales définies en 3.13, 3.14 et 3.15.

Des surintensités transitoires d'amplitude et de fréquence élevées peuvent apparaître lorsque des condensateurs sont connectés dans le circuit ou lorsque l'équipement est commuté. Il peut être nécessaire de réduire ces surintensités transitoires à des valeurs acceptables en relation avec le condensateur et l'équipement.

Si les condensateurs sont fournis avec des fusibles externes, la valeur crête des surintensités dues aux opérations de commutation doit être limitée à la valeur de I_S .

9.6 Dispositifs de commutation et de protection

Les dispositifs de commutation et de protection ainsi que les connexions doivent être capables de résister aux contraintes électrodynamiques et thermiques provoquées par les surintensités transitoires d'amplitude et de fréquence élevées, susceptibles d'apparaître lors de la mise en circuit ou dans d'autres circonstances.

Si la prise en compte des contraintes électrodynamiques et thermiques entraîne des dimensions excessives, il convient de prendre des précautions spéciales dans le but d'assurer une protection contre les surintensités.

9.7 Dimensionnement des lignes de fuite et des distances d'isolement

Voir la CEI 62497-1.

9.8 Connexions

Les connexions établissant la liaison vers le condensateur sont capables de dissiper la chaleur du condensateur. Dans d'autres cas, elles sont susceptibles de transférer la chaleur générée au niveau de connexions extérieures dans le condensateur.

Par conséquent, il est nécessaire de toujours appliquer aux connexions établissant la liaison avec les condensateurs un refroidissement au moins égal à celui du condensateur lui-même.

Un mauvais contact au niveau des circuits de condensateurs est susceptible de provoquer une génération de chaleur localisée et éventuellement la formation d'un arc au niveau de la connexion qui peut surchauffer les condensateurs ou les soumettre à des contraintes excessives.

L'examen régulier de tous les contacts de l'installation de condensateurs et des connexions de condensateur est donc recommandé.

9.9 Connexions parallèles des condensateurs

Il est nécessaire d'apporter un soin particulier à la conception des circuits dans le cas de condensateurs connectés en parallèle, car il existe un risque éventuel. En effet, la division du courant dépend de faibles différences de résistance et d'inductance dans les trajets de courant, de telle façon que l'un des condensateurs est susceptible d'être facilement surchargé.

Par conséquent, quand un condensateur subit un court-circuit, l'énergie totale des condensateurs en parallèle est rapidement dissipée au point de claquage.

Des précautions spéciales doivent être prises dans ce cas.

9.10 Connexions de condensateurs en série

En raison des variations au niveau des paramètres des condensateurs, il convient que la division de tension correcte entre les unités de condensateurs soit assurée.

La tension d'isolement du module ou de la batterie de condensateurs doit être choisie pour le montage en série.

Des précautions particulières doivent être prises dans ce cas.

9.11 Pertes magnétiques et courants de Foucault

Il est possible que les forts champs magnétiques des conducteurs en électronique de puissance provoquent une magnétisation alternative des boîtiers magnétiques et des courants de Foucault dans une pièce métallique quelconque, produisant ainsi de la chaleur. Par conséquent, il est nécessaire de placer les condensateurs à une distance raisonnable des conducteurs de courant élevé et d'éviter l'utilisation, dans la mesure du possible, de matériaux magnétiques.

9.12 Guide pour les condensateurs non protégés

Dans le cas des condensateurs non protégés, l'acheteur doit assurer par une installation qualifiée qu'aucun danger n'apparaît du fait d'un condensateur défaillant.

Annexe A (informative)

Termes et définitions des condensateurs

A.1 Application du condensateur dans une installation de condensateurs

Un exemple de schéma représentant une unité (voir 3.2), un module (voir 3.3) et une batterie de condensateurs (voir 3.4) utilisés dans une installation de condensateurs (voir 3.6) est illustré sur la Figure A.1.

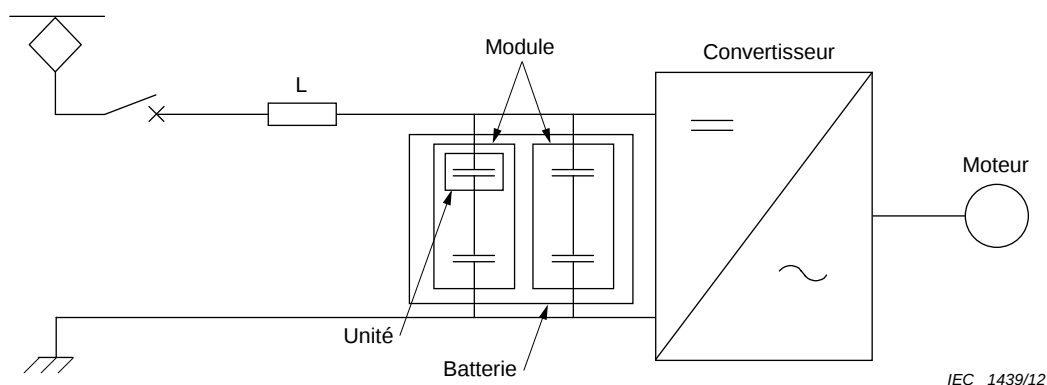


Figure A.1 – Exemple d'application d'un condensateur dans une installation de condensateurs

Bibliographie

CEI 60050-436, *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) – Partie 436: Condensateurs de puissance*

CEI 60077-1:1999, *Applications ferroviaires – Equipements électriques du matériel roulant – Partie 1: Conditions générales de service et règles générales*

CEI 60077-2:1999, *Applications ferroviaires – Equipements électriques du matériel roulant – Partie 2: Composants électrotechniques – Règles générales*

CEI 60664-1:2007, *Coordination de l'isolement des matériels dans les systèmes (réseaux) à basse tension – Partie 1: Principes, exigences et essais*

CEI 60850:2007, *Applications ferroviaires – Tensions d'alimentation des réseaux de traction*

CEI 61287-1:2005, *Applications ferroviaires – Convertisseurs de puissance embarqués sur le matériel roulant – Partie 1: Caractéristiques et méthodes d'essais*

CEI 61881-1, *Applications ferroviaires – Matériel roulant – Condensateurs pour électronique de puissance – Partie 1: Condensateurs papier et film plastique*

CEI 61881-3, *Applications ferroviaires – Matériel roulant – Condensateurs pour électronique de puissance – Partie 3: Condensateurs électriques à double couche*

CEI 61991:2000, *Applications ferroviaires – Matériel roulant – Dispositions de protection contre les dangers électriques*

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

3, rue de Varembé
PO Box 131
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

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