

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



**Electric double-layer capacitors for use in hybrid electric vehicles –
Test methods for electrical characteristics**

**Condensateurs électriques à double couche pour véhicules électriques hybrides –
Méthodes d'essai des caractéristiques électriques**

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62576:2018



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2018 IEC, Geneva, Switzerland

All rights reserved. Unless otherwise specified, no part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from either IEC or IEC's member National Committee in the country of the requester. If you have any questions about IEC copyright or have an enquiry about obtaining additional rights to this publication, please contact the address below or your local IEC member National Committee for further information.

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'IEC ou du Comité national de l'IEC du pays du demandeur. Si vous avez des questions sur le copyright de l'IEC ou si vous désirez obtenir des droits supplémentaires sur cette publication, utilisez les coordonnées ci-après ou contactez le Comité national de l'IEC de votre pays de résidence.

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

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

About the IEC

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

About IEC publications

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

IEC Catalogue - webstore.iec.ch/catalogue

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

IEC publications search - webstore.iec.ch/advsearchform

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

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

Electropedia - www.electropedia.org

The world's leading online dictionary of electronic and electrical terms containing 21 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in 16 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

IEC Glossary - std.iec.ch/glossary

67 000 electrotechnical terminology entries in English and French extracted from the Terms and Definitions clause of IEC publications issued since 2002. Some entries have been collected from earlier publications of IEC TC 37, 77, 86 and CISPR.

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

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

A propos de l'IEC

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

A propos des publications IEC

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

Catalogue IEC - webstore.iec.ch/catalogue

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

Recherche de publications IEC - webstore.iec.ch/advsearchform

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

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

Electropedia - www.electropedia.org

Le premier dictionnaire en ligne de termes électroniques et électriques. Il contient 21 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 16 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

Glossaire IEC - std.iec.ch/glossary

67 000 entrées terminologiques électrotechniques, en anglais et en français, extraites des articles Termes et Définitions des publications IEC parues depuis 2002. Plus certaines entrées antérieures extraites des publications des CE 37, 77, 86 et CISPR de l'IEC.

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

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

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



**Electric double-layer capacitors for use in hybrid electric vehicles –
Test methods for electrical characteristics**

**Condensateurs électriques à double couche pour véhicules électriques hybrides –
Méthodes d'essai des caractéristiques électriques**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 31.060.99; 43.120

ISBN 978-2-8322-5341-0

**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	4
INTRODUCTION	6
1 Scope	7
2 Normative references	7
3 Terms and definitions	7
4 Tests methods	10
4.1 Capacitance, internal resistance, and maximum power density	10
4.1.1 Circuit for measurement	10
4.1.2 Test equipment	10
4.1.3 Measurement procedure	11
4.1.4 Calculation method for capacitance	12
4.1.5 Calculation method for internal resistance	12
4.1.6 Calculation method for maximum power density	13
4.2 Voltage maintenance characteristics	13
4.2.1 Circuit for measurement	13
4.2.2 Test equipment	14
4.2.3 Measurement procedures	15
4.2.4 Calculation of voltage maintenance rate	16
4.3 Energy efficiency	16
4.3.1 Circuit for test	16
4.3.2 Test equipment	16
4.3.3 Measurement procedures	17
4.3.4 Calculation of energy efficiency	18
Annex A (informative) Endurance test: continuous application of rated voltage at high temperature	20
A.1 General	20
A.2 Test procedure	20
A.2.1 Test condition	20
A.2.2 Test procedure	20
A.2.3 Judgment criteria	20
Annex B (informative) Heat equilibrium time of capacitors	22
B.1 General	22
B.2 Heat equilibrium time of capacitors	22
Annex C (informative) Charging/discharging efficiency and measurement current	24
C.1 General	24
C.2 Charging efficiency, discharging efficiency, and current	24
Annex D (informative) Procedures for setting the measurement current of capacitor with uncertain nominal internal resistance	26
D.1 General	26
D.2 Current setting procedures for measurement of capacitor	26
D.3 Example of setting current for determining capacitor characteristics	26
Annex E (informative) Endurance cycling test	27
E.1 General	27
E.2 Test method	27
E.2.1 Test temperature	27
E.2.2 Test equipment	27

E.2.3	Preconditioning.....	27
E.2.4	Initial measurements	27
E.2.5	Test steps.....	27
E.2.6	Test.....	28
E.2.7	End of test criteria	28
E.2.8	Post treatment	29
E.2.9	Final measurement	29
E.2.10	Acceptance criteria	29
	Bibliography.....	30
	Figure 1 – Basic circuit for measuring capacitance, internal resistance and maximum power density	10
	Figure 2 – Voltage–time characteristics between capacitor terminals in capacitance and internal resistance measurement.....	11
	Figure 3 – Basic circuit for measuring the voltage maintenance characteristics	14
	Figure 4 – Time characteristics of voltage between capacitor terminals in voltage maintenance test	15
	Figure 5 – Voltage-time characteristics between capacitor terminals in charging/discharging efficiency test	17
	Figure B.1 – Heat equilibrium times of capacitors (from 85 °C to 25 °C).....	22
	Figure B.2 – Heat equilibrium times of capacitors (from –40 °C to 25 °C).....	23
	Figure B.3 – Temperature changes of capacitors' central portions	23
	Figure E.1 – Endurance cycling test steps	28
	Table D.1 – Example of setting current for measurement of capacitor	26

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**ELECTRIC DOUBLE-LAYER CAPACITORS FOR USE IN
HYBRID ELECTRIC VEHICLES – TEST METHODS
FOR ELECTRICAL CHARACTERISTICS**

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 62576 has been prepared by IEC technical committee 69: Electric road vehicles and electric industrial trucks.

This second edition cancels and replaces the first edition published in 2009. This edition constitutes a technical revision.

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

- a) information on applicability of this document has been added in Clause 1;
- b) the definitions of some terms in Clause 3 have been improved;
- c) the description of test procedures in Clause 4 has been clarified;
- d) information on endurance cycling test has been added (Annex E).

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

CDV	Report on voting
69/486/CDV	69/539/RVC

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

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

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

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

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

INTRODUCTION

The electric double-layer capacitor (capacitor) is used as an energy storage system for vehicles. Capacitor-installed electric vehicles are commercialized with an eye to improving fuel economy by recovering regenerative energy, and by peak power assistance during acceleration, etc. Although standards for capacitors already exists (IEC 62391 series), those for electric vehicles involve patterns of use, usage environment, and values of current that are quite different from those assumed in the existing standards. Standard evaluation and test methods will be useful for both auto manufacturers and capacitor suppliers to speed up the development and lower the costs of such capacitors. With these points in mind, this document aims to provide basic and minimum specifications in terms of the methods for testing electrical characteristics, and to create an environment that supports the expanding market of electric vehicles and large capacity capacitors. Additional practical test items to be standardized should be reconsidered after technology and market stabilization of capacitors for electric vehicles. Regarding endurance, which is important in practical use, just a basic concept is set forth in the informative annexes.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62576:2018

ELECTRIC DOUBLE-LAYER CAPACITORS FOR USE IN HYBRID ELECTRIC VEHICLES – TEST METHODS FOR ELECTRICAL CHARACTERISTICS

1 Scope

This document describes the methods for testing electrical characteristics of electric double-layer capacitor cells (hereinafter referred to as "capacitor") used for peak power assistance in hybrid electric vehicles.

All the tests in this document are type tests.

This document can also be applicable to the capacitor used in idling reduction systems (start and-stop systems) for the vehicles.

This document can also be applicable to the capacitor modules consisting of more than one cell.

NOTE Annex E provides information on endurance cycling test.

2 Normative references

There are no normative references in this document.

3 Terms and definitions

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

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

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

3.1

ambient temperature

temperature of the air, in the immediate vicinity of a capacitor

3.2

applied voltage

voltage (V) applied between the terminals of a capacitor

3.3

calculation end voltage

voltage (V) at a selected end point for calculating the characteristics including capacitance under a state of voltage decrease during discharge

3.4

calculation start voltage

voltage (V) at a selected start point for calculating the characteristics including capacitance under a state of voltage decrease during discharge

3.5

capacitance

ability of a capacitor to store electrical charge (F)

3.6

charge accumulated electrical energy

amount of charged energy (J) accumulated from the beginning to the end of charging

3.7

charge current

I_c

current (A) required to charge a capacitor

3.8

charging efficiency

efficiency under specified charging conditions, and ratio (%) of stored energy to charge accumulated electrical energy

Note 1 to entry: This value is calculated from the internal resistance of a capacitor.

Note 2 to entry: Refer to Formula C.8.

3.9

constant voltage charging

charging during which the voltage is maintained at a constant value regardless of charge current or temperature

3.10

discharge accumulated electrical energy

amount of discharged energy (J) accumulated from the beginning to the end of discharging

3.11

discharge current

I_d

current (A) required to discharge a capacitor

3.12

discharging efficiency

efficiency under specified discharging conditions, and ratio (%) of discharge accumulated electrical energy to stored energy

Note 1 to entry: This value is calculated from the internal resistance of a capacitor.

Note 2 to entry: Refer to Formula C.10.

3.13

electric double-layer capacitor capacitor

device that stores electrical energy using a double layer in an electrochemical cell, and whose positive and negative electrodes are of the same material

Note 1 to entry: The electrolytic capacitor is not included in capacitor of this document.

3.14

energy efficiency

E_f

ratio (%) of discharge accumulated electrical energy to charge accumulated electrical energy under specified charging and discharging conditions

3.15**internal resistance**

combined resistance (Ω) of constituent material specific resistance and inside connection resistance of a capacitor

3.16**maximum power density** P_{dm}

greatest electrical power output of a capacitor per mass (W/kg) or volume (W/l)

3.17**nominal internal resistance** R_N

nominal value of the internal resistance (R_N) to be used in design and measurement condition setting (Ω), generally at the ambient temperature

3.18**post-treatment**

discharging and storage of a capacitor under specified ambient conditions (temperature, humidity, and pressure) after tests

Note 1 to entry: Generally, post-treatment implies that a capacitor is discharged and stored until its inner temperature attains thermal equilibrium with the surrounding temperature before its electrical characteristics are measured.

3.19**pre-conditioning**

charging and discharging and storage of a capacitor under specified ambient conditions (temperature, humidity, and pressure) before testing.

Note 1 to entry: Generally, pre-conditioning implies that a capacitor is discharged and stored until its inner temperature attains thermal equilibrium with the surrounding temperature, before its electrical characteristics are measured.

3.20**rated voltage** U_R

maximum DC voltage (V) that may be applied continuously for a certain time under the upper category temperature to a capacitor so that a capacitor can exhibit specified demand characteristics

Note 1 to entry: This voltage is the setting voltage in capacitor design.

Note 2 to entry: The endurance test using the rated voltage is described in Annex A.

3.21**ambient temperature**

temperature of air in the vicinity of the device under test, in this document (25 ± 2) °C

3.22**stored energy**

energy (J) stored in a capacitor

3.23**upper category temperature**

highest ambient temperature at which a capacitor is designed to operate continuously

3.24**voltage maintenance characteristics**

ability of a capacitor to maintain the voltage, with its terminals open, after a specified time period subsequent to the charging

3.25

voltage maintenance rate ratio of voltage maintenance

ratio of the voltage at the open-ended terminals to the charge voltage after a specified time period subsequent to the charging of a capacitor

4 Tests methods

4.1 Capacitance, internal resistance, and maximum power density

4.1.1 Circuit for measurement

The capacitance and the internal resistance shall be measured by using the constant current and constant voltage charging and the constant current discharging. Figure 1 shows the basic circuit to be used for the measurement.

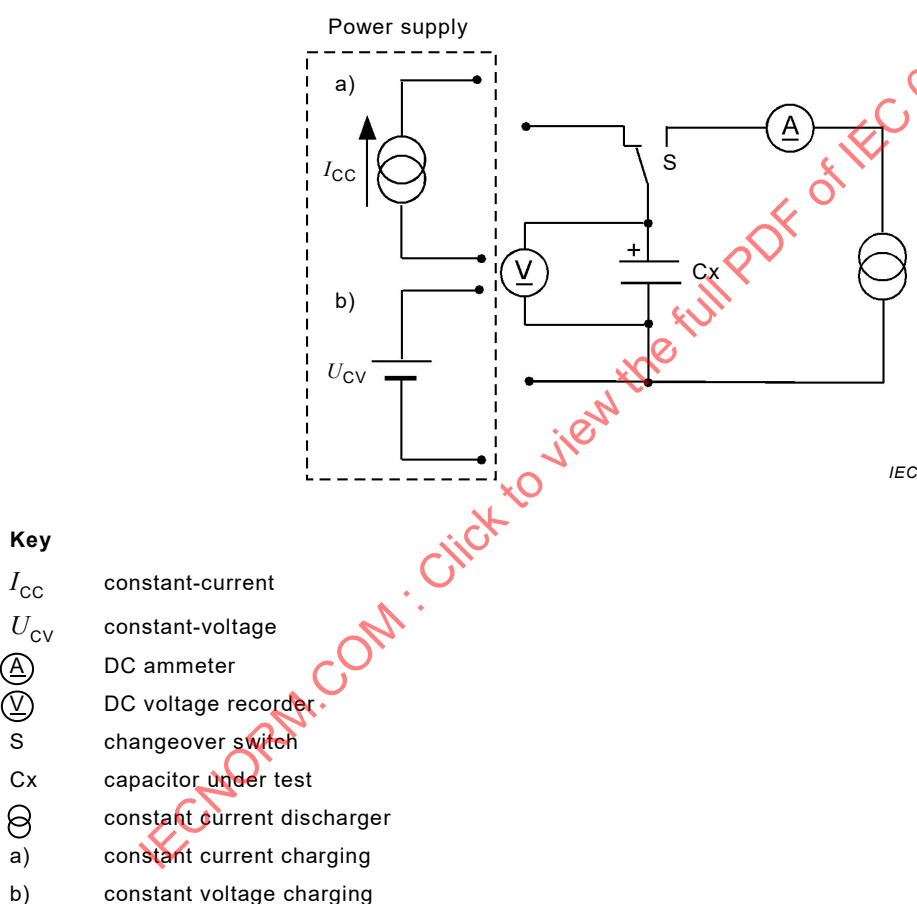


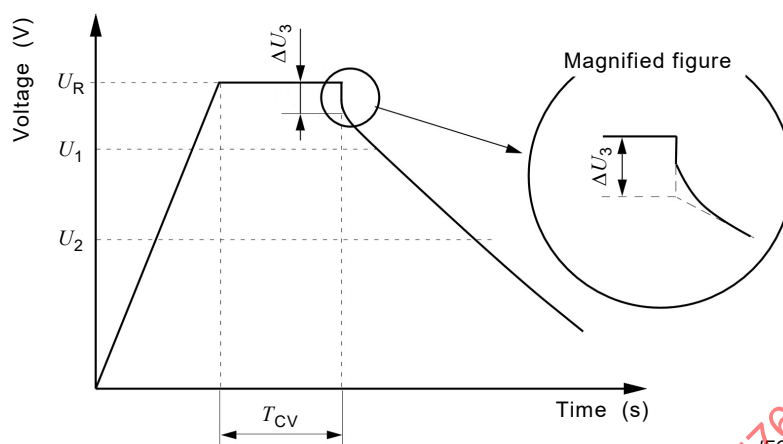
Figure 1 – Basic circuit for measuring capacitance, internal resistance and maximum power density

4.1.2 Test equipment

The test equipment shall be capable of constant current charging, constant voltage charging, constant current discharging, and continuous measurement of the current and the voltage between the capacitor terminals in time-series as shown in Figure 2. The test equipment shall be able to set the current and the voltage with the accuracy equal to $\pm 1\%$ or less, and to measure the current and voltage with accuracy equal to $\pm 0,1\%$.

The power supply shall provide the constant charge current for the capacitor charge with 95 % efficiency, set the duration of constant voltage charge, and provide a discharge current

corresponding to the specified discharge efficiency. The DC voltage recorder shall be capable of conducting measurements and recording with a sampling interval of 10 ms or less.



Key

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

Figure 2 – Voltage–time characteristics between capacitor terminals in capacitance and internal resistance measurement

4.1.3 Measurement procedure

Measurements shall be carried out in accordance with the following procedures using the test equipment specified in 4.1.2.

a) Pre-conditioning

Before measurement, the capacitors shall be fully charged and fully discharged, and then incubated for 2 h to 6 h under the ambient temperature or that specified by the related standards.

NOTE 1 The heat equilibrium time, which provides a reference for the soaking time, is described in Annex B.

NOTE 2 Charging and discharging can be repeated if necessary until the capacity and internal resistance are stabilized.

EXAMPLE

Charge and discharge the sample using the current specified by the manufacturer in the following order:

- 1) fully discharge;
- 2) charge up to U_R ;
- 3) discharge down to $0,5 U_R$;
- 4) repeat 2) and 3) ten times.

b) Sample setting

Fit the sample capacitors with the test equipment.

c) Test equipment setup

Unless otherwise specified by related standards, the test equipment shall be set up in the following manner.

- 1) Set the constant current I_c for charging. At this current, the capacitors shall be able to charge with 95 % charging efficiency based on their nominal internal resistance R_N . The current value is calculated by $I_c = U_R/38R_N$. The constant current value or the

charging efficiency may be changed according to the agreement between the customer and the supplier.

NOTE The general concept for 95 % charging or discharging efficiency is described in Annex C. When the rated value of internal resistance of a capacitor is uncertain, the current for the measurement can be set according to the advisable procedures described in Annex D.

- 2) Set the maximum voltage for constant current charging as the rated voltage U_R .
- 3) Set the duration of constant voltage charging T_{CV} to 300 s.
- 4) Set the constant current discharge value. This value shall allow for a 95 % discharging efficiency based on the capacitor's nominal internal resistance R_N , and is calculated by $I_d = U_R/40R_N$.

The constant current value or the discharging efficiency may be changed according to the agreement between the customer and the supplier.

- 5) Set the sampling interval to 10 ms or less, and set the test-equipment so as to measure the voltage drop characteristics up to 0,5 U_R .

d) Test

According to the set-up in 4.1.3 c), charge and discharge the sample in the following order, and measure the voltage between the capacitor terminals as shown in Figure 2:

- constant current charging up to U_R ;
- constant voltage charging at U_R for 300 s;
- constant current discharging down to 0,4 U_R .

4.1.4 Calculation method for capacitance

The capacitance C shall be calculated using Formula (1) based on the voltage-time characteristics between capacitor terminals obtained in 4.1.4.

NOTE This calculation method is called "energy conversion capacitance method".

$$C = \frac{2W}{(0,9U_R)^2 - (0,7U_R)^2} \quad (1)$$

where

C is the capacitance (F) of capacitor;

W is the measured discharged energy (J) from calculation start voltage (0,9 U_R) to calculation end voltage (0,7 U_R);

U_R is the rated voltage (V).

4.1.5 Calculation method for internal resistance

The internal resistance R shall be calculated using Formula (2) based on the voltage-time characteristics between capacitor terminals obtained in 4.1.4.

$$R = \frac{\Delta U_3}{I_d} \quad (2)$$

where

R is the internal resistance (Ω) of capacitor;

I_d is the discharge current (A);

ΔU_3 is the voltage drop (V).

To obtain ΔU_3 , apply the straight-line approximation to the voltage drop characteristics from the calculation start voltage ($0,9 U_R$) to the calculation end voltage ($0,7 U_R$) by using the least squares method. Obtain the intercept (voltage value) of the straight line at the discharge start time. ΔU_3 is the difference of voltages (V) between the intercept voltage value and the set value of constant voltage charging.

NOTE This calculation method is called "least squares internal resistance method".

4.1.6 Calculation method for maximum power density

The maximum power density P_{dm} is calculated by using the internal resistance value calculated in 4.1.5 and Formula (3).

NOTE This calculation method is called "matched impedance power density method".

$$P_{dm} = \frac{0,25 U_R^2}{RM} \quad (3)$$

where

P_{dm} is the maximum power density of capacitor (W/kg or W/l);

U_R is the rated voltage (V);

R is the calculated internal resistance (Ω);

M is the mass or volume of capacitor (kg or l).

4.2 Voltage maintenance characteristics

4.2.1 Circuit for measurement

Figure 3 shows the basic circuit for measuring the voltage maintenance characteristics.

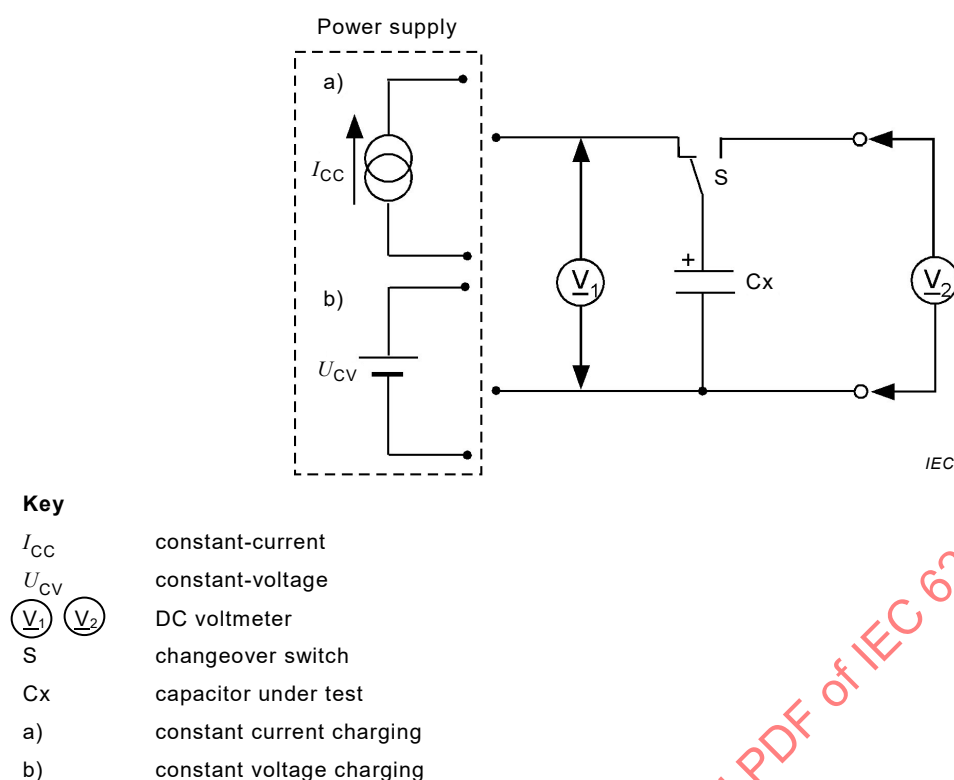
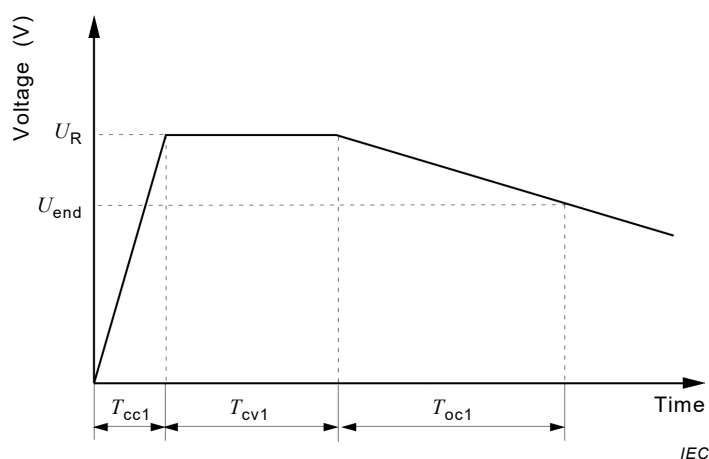


Figure 3 – Basic circuit for measuring the voltage maintenance characteristics

4.2.2 Test equipment

The test equipment shall be capable of constant current charging, constant voltage charging, and continuous measurement of the voltage between the capacitor terminals in time-series as shown in Figure 4. The power supply shall provide the constant charge current for the capacitor charge with 95 % efficiency and set the duration of constant voltage charging. The test equipment shall be able to set and measure the current and the voltage by the accuracy equal to ± 1 % or less.

The DC voltage recorders V_1 and V_2 shall have a resolution of 5 mV or less for voltage measurement. The input impedance of the recorder shall be sufficiently high so that measurement errors are negligible.

**Key**

U_R	rated voltage (V)
T_{cc1}	charging duration with 95 % efficiency (s)
T_{cv1}	duration of constant voltage charging (s)
T_{oc1}	soaking time (h)
U_{end}	voltage when T_{oc1} is 72 h (V)

Figure 4 – Time characteristics of voltage between capacitor terminals in voltage maintenance test

4.2.3 Measurement procedures

The measurements shall be carried out in accordance with the following procedures using the test equipment specified in 4.2.2.

a) Pre-conditioning

Before measurement, the capacitors shall be fully charged and fully discharged, and then incubated for 2 h to 6 h under the ambient temperature or that specified by the related standards.

NOTE 1 The heat equilibrium time, which provides a reference for the soaking time, is described in Annex B.

NOTE 2 Charging and discharging can be repeated if necessary until the capacity and internal resistance are stabilized.

EXAMPLE

Charge and discharge the sample using the current specified by the manufacturer in the following order:

- 1) fully discharge;
- 2) charge up to U_R ;
- 3) discharge down to $0,5 U_R$;
- 4) repeat 2) and 3) ten times.

b) Sample setting

Fit the sample capacitors with the test equipment.

c) Test equipment setup

Unless otherwise specified by related standards, the test equipment shall be set up in the following manner.

- 1) Set the constant current value for charging. At this current, the capacitors shall be able to charge with 95 % charging efficiency based on their nominal internal resistance. The current value is calculated by $I_c = U_R/38R_N$.

The constant current value or the charging efficiency may be changed according to the agreement between the customer and the supplier.

NOTE The general concept for 95 % charging or discharging efficiency is described in Annex C. When the rated value of internal resistance of a capacitor is uncertain, the current for the measurement can be set according to the advisable procedures described in Annex D.

- 2) Set the maximum voltage for constant current charging to the rated voltage U_R .
- 3) Set the duration of constant voltage charging T_{cv1} to 300 s.

d) Test

- 1) According to the setup in 4.2.3 c), charge the sample in the following order:
 - constant current charging up to U_R ;
 - constant voltage charging at U_R for 300 s.
- 2) Open the capacitor terminals, and after 72 h, measure the voltage between the capacitor terminals.

4.2.4 Calculation of voltage maintenance rate

The voltage maintenance rate A is calculated by Formula (4).

$$A = \frac{U_{\text{end}}}{U_R} \times 100 \quad (4)$$

where

A is the voltage maintenance rate (%);

U_{end} is the voltage between open capacitor terminals after 72 h (T_{OC1}) has elapsed;

U_R is the rated voltage (V).

4.3 Energy efficiency

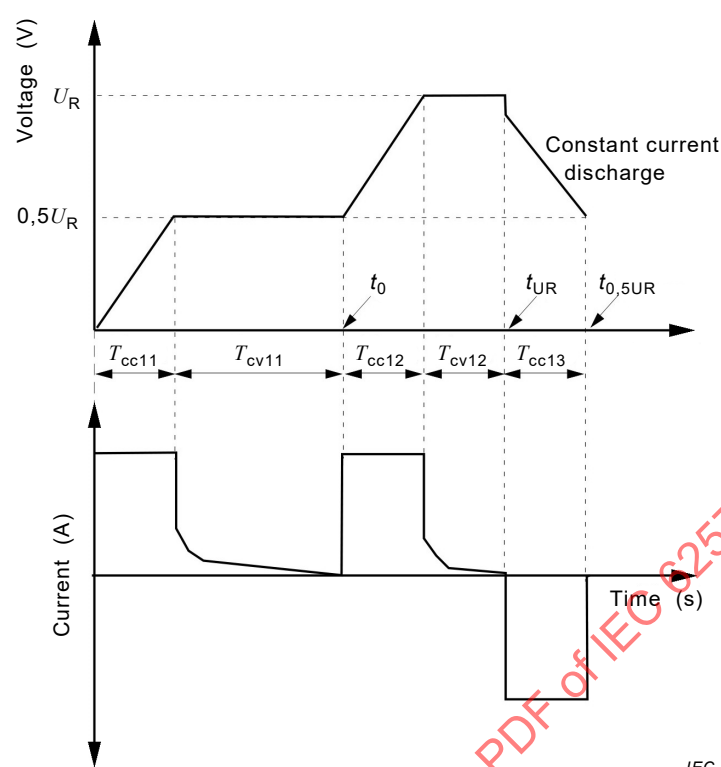
4.3.1 Circuit for test

The energy efficiency test shall be conducted by the constant current charging and discharging. Figure 1 shows the basic circuit required for this test.

4.3.2 Test equipment

The test equipment shall be capable of constant current charging, constant voltage charging, constant current discharging, and continuous measurement of the current and the voltage between the capacitor terminals in time-series as shown in Figure 5. The test equipment shall be able to set and measure the current and the voltage with an accuracy equal to $\pm 1\%$ or less.

The power supply shall provide the constant charge current for the capacitor charge with 95 % efficiency, set the duration of constant voltage charge, and provide a discharge current corresponding to the specified discharge efficiency. The DC voltage recorder shall be capable of conducting measurements and recording with a 5 mV resolution and sampling interval of 100 ms or less.



IEC

Key

U_R	rated voltage (V)
T_{CC11}	constant current charging duration (s) up to $0,5U_R$
T_{CV11}	constant voltage charging duration (s) at $0,5U_R$
T_{CC12}	constant current charging duration (s) up to U_R
T_{CV12}	constant voltage charging duration (s) at U_R
T_{CC13}	constant current discharging duration (s) from U_R to $0,5 U_R$

Figure 5 – Voltage-time characteristics between capacitor terminals in charging/discharging efficiency test

4.3.3 Measurement procedures

The measurements shall be carried out in accordance with the following procedures by using the test equipment specified in 4.3.2.

a) Pre-conditioning

Before measurement, the capacitor shall be fully charged and fully discharged, and then incubated for 2 h to 6 h under the ambient temperature or that specified by the related standards.

NOTE 1 The heat equilibrium time which provides a reference for the soaking time is in Annex B.

NOTE 2 Charging and discharging can be repeated if necessary until the capacity and internal resistance are stabilized.

EXAMPLE

Charge and discharge the sample using the current specified by the manufacturer in the following order:

- 1) fully discharge;
- 2) charge up to U_R ;
- 3) discharge down to $0,5 U_R$;
- 4) repeat 2) and 3) ten times.

b) Sample setting

Fit the sample capacitors with the test equipment.

c) Test equipment setup

Unless otherwise specified by related standards, the test equipment shall be set up as follows.

- 1) Set the constant current for charging from 0 V to 0,5 U_R and from 0,5 U_R to U_R . At this current, the capacitors shall be able to charge with 95 % charging efficiency based on their nominal internal resistance R_N . The current value is calculated by $I_c = U_R / 38 R_N$.

The constant current value or the charging efficiency may be changed according to the agreement between the customer and the supplier.

NOTE The general concept for 95 % charging or discharging efficiency is described in Annex C. When the rated value of internal resistance of a capacitor is uncertain, the current for the measurement can be set according to the advisable procedures described in Annex D.

- 2) Set the duration of constant voltage charging T_{CV11} at 0,5 U_R to 300 s, and T_{CV12} at U_R to 10 s.
- 3) Set the constant current discharge value. This value shall allow for a 95 % discharging efficiency based on the capacitor's nominal internal resistance R_N and is calculated by $I_d = U_R / 40 R_N$.

The constant current value or the discharging efficiency may be changed according to the agreement between the customer and the supplier.

NOTE The general concept for 95 % charging or discharging efficiency is described in Annex C. When the rated value of internal resistance of a capacitor is uncertain, the current for the measurement can be set according to the advisable procedures described in Annex D.

d) Test

- 1) According to the set-up in 4.3.3 c), charge and discharge the sample in the following order:
 - constant current charging up to 0,5 U_R ;
 - constant voltage charging at 0,5 U_R for 300 s;
 - constant current charging from 0,5 U_R up to U_R ;
 - constant voltage charging at U_R for 10 s;
 - constant current discharging down to 0,4 U_R .
- 2) Obtain the charge accumulated electrical energy during T_{CC12} and T_{CV12} and the discharge accumulated electrical energy during T_{CC13} .

4.3.4 Calculation of energy efficiency

The energy efficiency E_f can be obtained by Formula (5) based on the voltage-time and current-time characteristics between 0,5 U_R to U_R .

$$E_f = \frac{W_d}{W_c} \times 100 \quad (5)$$

where

E_f is the energy efficiency (%);

W_d is the discharged electrical energy (J) during T_{CC13} period;

W_c is the charged electrical energy (J) during T_{CC12} plus T_{CV12} period.

W_d can be obtained by Formula (6).

$$W_d = \int_{t_0}^{t_{0,5U_R}} I_d U(t) dt \quad (6)$$

W_c can be obtained by Formula (7).

$$W_c = \int_{t_0}^{t_{UR}} I_c U(t) dt \quad (7)$$

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62576:2018

Annex A (informative)

Endurance test: continuous application of rated voltage at high temperature

A.1 General

Annex A describes the endurance test for continuous application of rated voltage at high temperature that is a factor to define the rated voltage in 3.20.

A.2 Test procedure

A.2.1 Test condition

Unless otherwise specified by related standards, the test conditions shall be as follows.

- Test temperature: upper category temperature.
- Applied voltage: rated voltage.
- Test duration: 1 000 h.

A.2.2 Test procedure

a) Pre-conditioning

Before measurement, the capacitors shall be fully discharged and then incubated for 2 h to 6 h under the ambient temperature.

b) Initial measurements

The capacitance and the internal resistance shall be measured according to the procedure specified in 4.1.

c) Testing

Place the capacitors in a chamber at the upper category temperature and apply the rated voltage for the specified duration. Charging up to the specified rated voltage shall be carried out by applying a current that provides 95 % charging efficiency based on the nominal internal resistance of the capacitors.

The constant current value or the charging efficiency may be changed according to the agreement between the customer and the supplier.

d) Post-treatment (recovery)

After the test is complete, remove the capacitors from the test chamber, discharge completely and soak them at the ambient temperature for 2 h to 6 h.

e) Final measurement

Apart from visual inspection, the capacitance and the internal resistance of the capacitors shall be measured in accordance with the procedure of 4.1, and the rates of change from their initially measured values shall be obtained.

A.2.3 Judgment criteria

Unless otherwise specified by delivery contract between the parties, it is advisable that the capacitance change rate ΔC and internal resistance change rate ΔR shall conform with the following values.

$$\Delta C = \left| \frac{C_f - C_i}{C_i} \right| \times 100 \leq 20\%$$

where

C_i is the initial capacitance (F) before the test;

C_f is the capacitance (F) after the test.

$$\Delta R = \left| \frac{R_f - R_i}{R_i} \right| \times 100 \leq 50\%$$

where

R_i is the initial internal resistance (Ω) before the test;

R_f is the internal resistance (Ω) after the test.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62576:2018

Annex B (informative)

Heat equilibrium time of capacitors

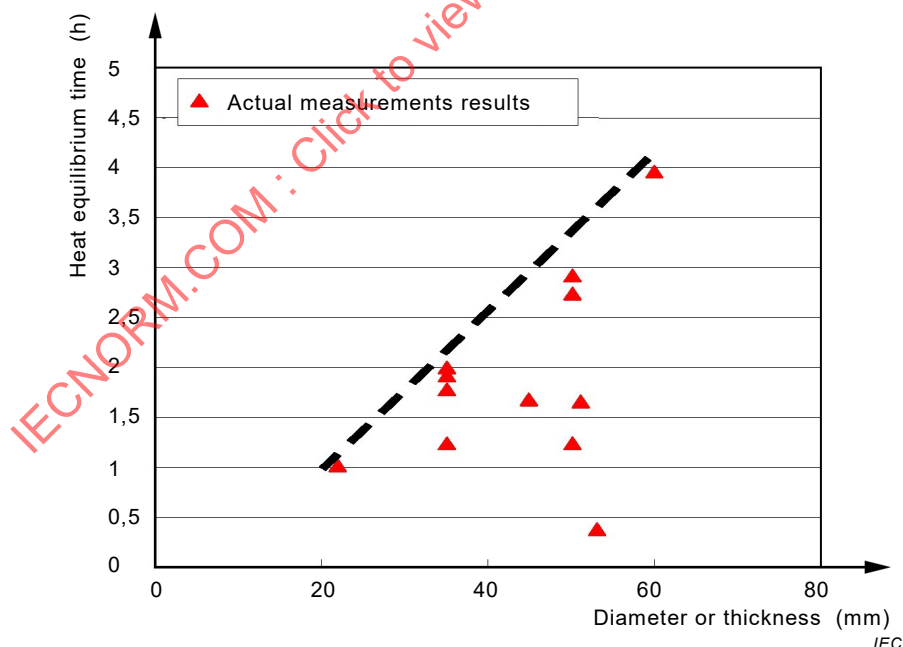
B.1 General

Annex B describes the heat equilibrium time of capacitors, as a reference in determining the soaking time for pre-treatment.

B.2 Heat equilibrium time of capacitors

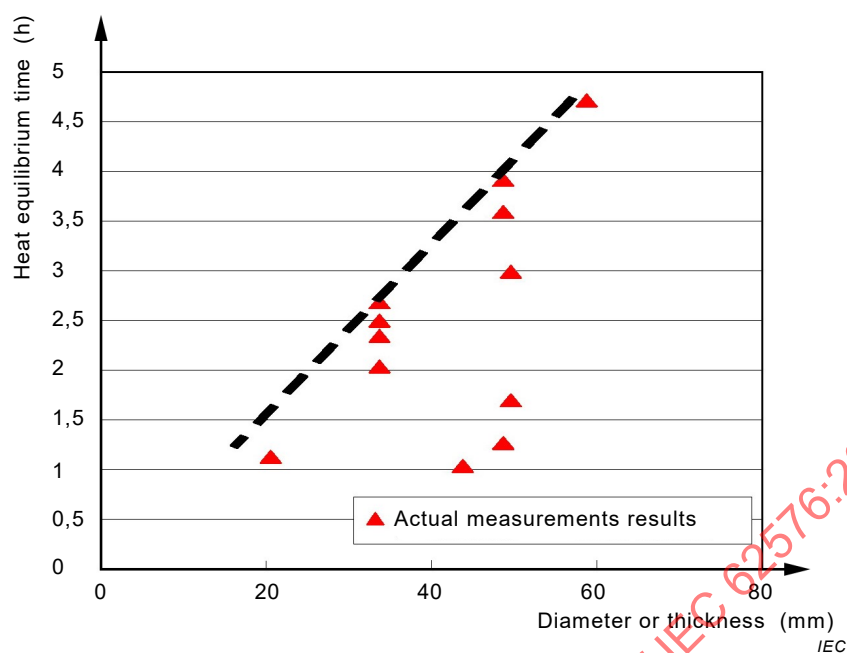
The heat equilibrium time is the time required for the central portion of a capacitor to reach the ambient temperature ± 1 K. It is predicted that this time depends on the external dimensions of the capacitor.

The resultant data were obtained by verifying the heat equilibrium time of the central portions of capacitors that were subjected to a certain environmental temperature. As a result, it was observed that the equilibrium time was proportional to the magnitudes of the external dimensions such as diameter for cylindrical capacitors and thickness (thinnest side) for cubic capacitors. Figure B.1 shows the heat equilibrium times of the capacitors when soaked to normal room temperature from a high temperature. Figure B.2 shows the heat equilibrium time of the capacitors when soaked to normal room temperature from a low temperature. In these figures, the dotted straight lines indicate the presumed longest heat equilibrium time. It is advisable to use these dotted straight lines as soaking time for pre-conditioning. Figure B.3 a) and B.3 b) show the actual measured temperature changes in the capacitors' central portions.



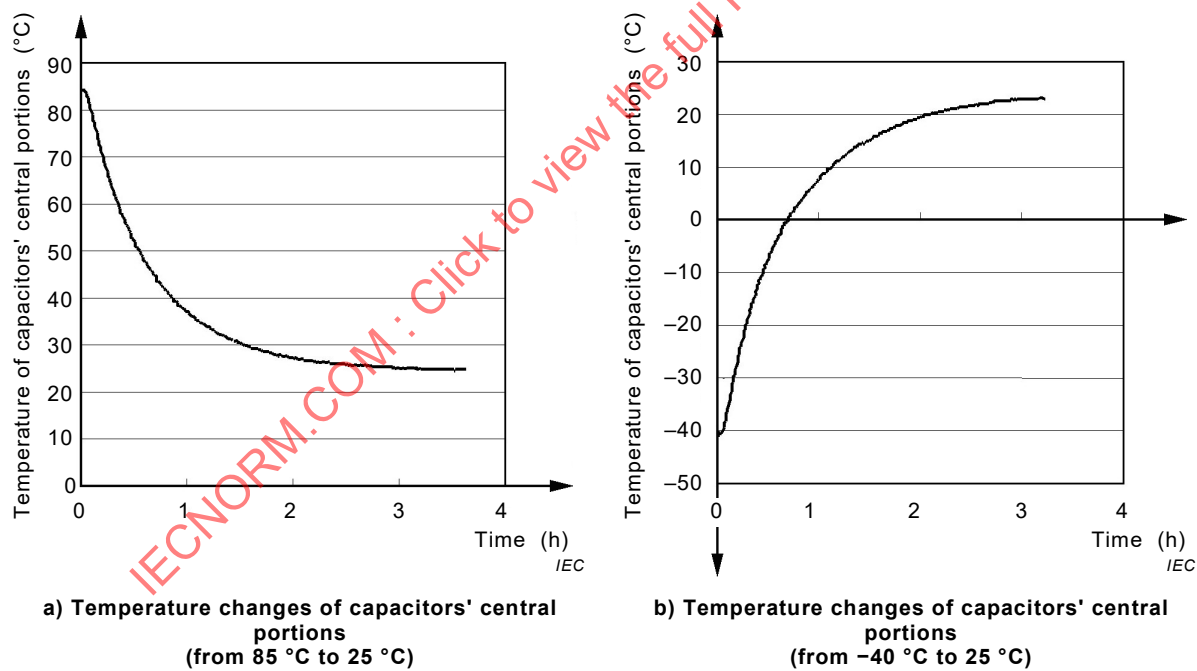
The dotted straight line indicates the presumed longest heat equilibrium time.

Figure B.1 – Heat equilibrium times of capacitors (from 85 °C to 25 °C)



The dotted straight line indicates the presumed longest heat equilibrium time.

Figure B.2 – Heat equilibrium times of capacitors (from –40 °C to 25 °C)



The capacitors' dimensions are $\varnothing 51 \text{ mm} \times L 125 \text{ mm}$.

Figure B.3 – Temperature changes of capacitors' central portions

Annex C (informative)

Charging/discharging efficiency and measurement current

C.1 General

Annex C describes the general concept regarding the charging and discharging efficiency and measured current, which are specified in 4.1.3, 4.2.3, and 4.3.3.

C.2 Charging efficiency, discharging efficiency, and current

Charge Q after charging or discharging for time t at a constant current I , stored energy W , and energy L lost by resistance R are given by Formulas (C.1), (C.2), and (C.3), respectively.

$$Q = It \quad (\text{C.1})$$

$$W = \frac{Q^2}{2C} \quad (\text{C.2})$$

$$L = I^2 R t = \frac{RQ^2}{t} \quad (\text{C.3})$$

When a capacitor is charged or discharged to its full capacity at a constant current according to Formula (C.2) or (C.3), respectively, the energy efficiency P_c for charging or P_d for discharging is given by Formula (C.4) or (C.5), respectively, where R is the internal resistance and C is the capacitance of the capacitor.

$$P_c = \frac{W}{W + L} = \frac{t}{t + 2RC} \quad (\text{C.4})$$

$$P_d = \frac{W - L}{W} = 1 - \frac{2RC}{t} \quad (\text{C.5})$$

In this document, the efficiency for charging or discharging is proposed as 95 % after considering the exothermal effect and time consumption for the measurement. The time t required for charging at 95 % efficiency is given by Formula (C.6) derived from Formula (C.4).

$$t = 38RC \quad (\text{C.6})$$

Charge Q stored in a capacitor is given as a product of capacity C and charging voltage U , thus leading to Formula (C.7). Current I_c for 95 % charging is given by Formula (C.8) derived from Formulas (C.1), (C.6), and (C.7).

$$Q = CU \quad (\text{C.7})$$

$$I_c = \frac{U}{38R} \quad (\text{C.8})$$

Similarly, the time t needed for 95 % discharging is given by Formula (C.9) derived from Formula (C.5), and the current I_d needed for 95 % discharging is given by Formula (C.10).

$$t = 40RC \quad (C.9)$$

$$I_d = \frac{U}{40R} \quad (C.10)$$

Formulas (C.8) and (C.10) are suggested for determining the value of the current for the charging or discharging test. Once the value of the charging/discharging current is determined, the maximum output at the target efficiency can be calculated.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62576:2018

Annex D (informative)

Procedures for setting the measurement current of capacitor with uncertain nominal internal resistance

D.1 General

Annex D describes the current setting procedures with uncertain nominal internal resistance (see 4.1.3, 4.2.3, and 4.3.3).

D.2 Current setting procedures for measurement of capacitor

When the nominal value of internal resistance of a capacitor is uncertain, the current for the measurement of the capacitor with 95 % charging efficiency and 95 % discharging efficiency can be set according to the following procedures.

- a) Using the estimated value of the internal resistance, measure the time characteristic of the voltage between the capacitor terminals according to the procedure described in 4.1.3, and then calculate the internal resistance according to the description in 4.1.5.

When the internal resistance is unpredictable, it is recommended to temporarily set the charging and discharging currents as 30 A.

- b) Using the internal resistance value calculated by step a) above, measure the time characteristic of the voltage between the capacitor terminals according to the procedure described in 4.1.4 and calculate the internal resistance according to the description in 4.1.6.
- c) Repeat the above procedures until the difference between the calculated internal resistance value and the previous value becomes less than 10 % of the previous value.

However, when ΔU_3 becomes greater than $0,1 U_R$, follow procedures a) to c) with a smaller current and then perform the measurements. When the calculated internal resistance is a negative value, follow procedures a) to c) with a larger current and then perform the measurements.

D.3 Example of setting current for determining capacitor characteristics

Table D.1 shows examples of setting the measurement current. The setting was performed in the order of the setting conditions shown in Table D.1.

Table D.1 – Example of setting current for measurement of capacitor

Setting condition	Internal resistance value used for setting mΩ	Charging current A	Discharging current A	Calculated capacitance F	Calculated internal resistance mΩ
1	1,5 (estimated)	47,4	45,0	1 297	4,6
2	4,6 (calculated with the result of no. 1)	15,4	14,7	1 351	5,0
3	5,0 (calculated with the result of no. 2)	14,2	13,5	1 351	5,0

Annex E (informative)

Endurance cycling test

E.1 General

The endurance cycling test for the capacitor may be carried out by the following procedure.

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

E.2 Test method

E.2.1 Test temperature

Test temperature is upper category temperature specified by the manufacturer. Test temperature is measured at the capacitor cell case.

E.2.2 Test equipment

The charge and discharge device is capable of charging and discharging the capacitor with the constant current as specified in E.2.3.

During the charge and discharge cycles, the voltage-time curves of all capacitor cells within the test set-up are monitored.

E.2.3 Preconditioning

The capacitor is charged up to U_R and conducts the constant voltage charging for 30 min. Then the capacitor is discharged through a suitable discharge device. The capacitor is placed in the environment at the ambient temperature for a suitable soak period for thermal equalization.

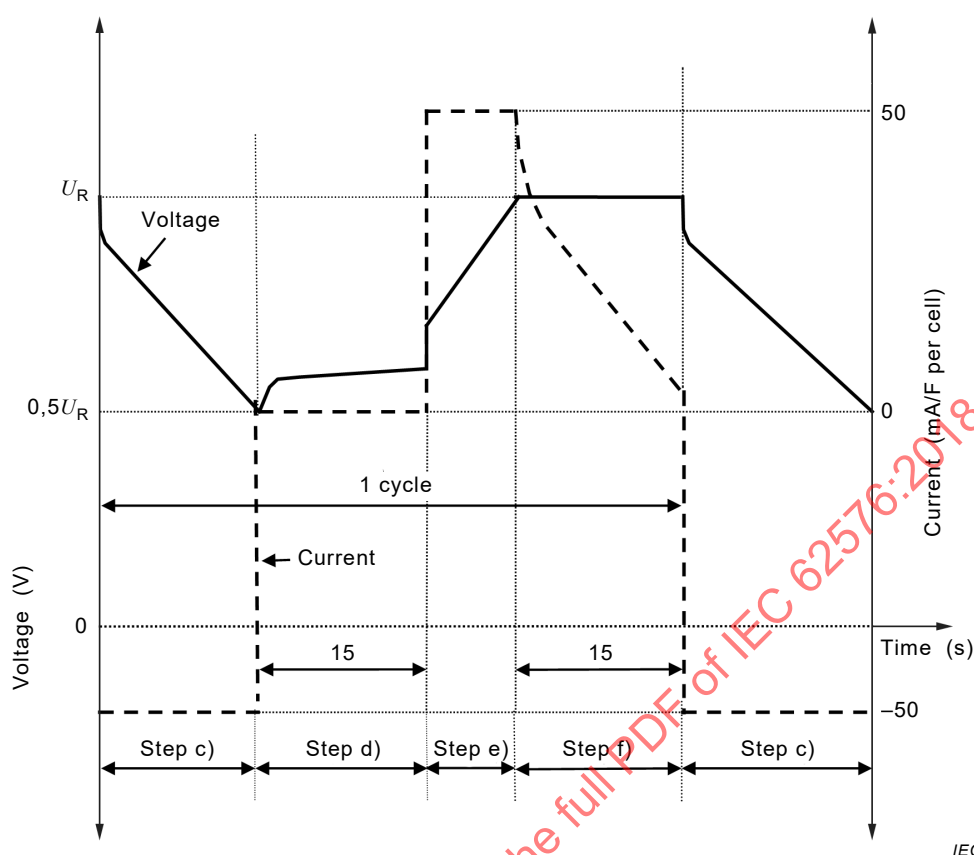
E.2.4 Initial measurements

The capacitance and internal resistance of the capacitor is measured in accordance with 4.1.

E.2.5 Test steps

Unless otherwise specified, the test consists of the following steps, repeating c) through f) continuously (See Figure E.1) until the end of test criteria is reached:

- a) charge up to U_R with constant current of 5 mA/F per cell;
- b) continue the constant voltage charging at U_R for 30 min;
- c) discharge down to 0,5 U_R with constant current of 50 mA/F per cell;
- d) pause for 15 s without charging current;
- e) charge up to U_R with constant current of 50 mA/F per cell;
- f) hold for 15 s at constant voltage U_R .



NOTE Current curve in step f) is not the specified value, but shows the result of constant voltage applied.

Figure E.1 – Endurance cycling test steps

E.2.6 Test

The capacitor is connected to the charge and discharge device, then start test steps as specified in E.2.3. When the capacitor has reached the test temperature, the cooling/heating conditions are adjusted so that stabilisation is achieved at this test temperature. After this initial stabilisation no changes in cooling/heating temperature are permitted.

The capacitance and internal resistance of the capacitor can be obtained while the test step (cycling) is in operation by monitoring voltage-time curves and analysing them. The initial capacitance and internal resistance during cycling is taken after the capacitor has reached the thermal equilibrium.

NOTE The capacitance and internal resistance measurements during cycling might differ from the initial measurement as specified in E.2.4 and final measurement as specified in E.2.5 due to a different measurement current.

E.2.7 End of test criteria

The test is finished for a capacitor cell, when the measured value during cycling reaches one of the following criteria:

- capacitance reaches 80 % of its initial value; or
- internal resistance reaches 150 % of its initial value.

The test may be finished before the specified end of test criteria is achieved depending upon the agreement between manufacturer and purchaser.

E.2.8 Post-treatment

The capacitor is placed in the environment at the ambient temperature for a suitable soak period for thermal equalization (see Annex B).

E.2.9 Final measurement

The capacitance and internal resistance of the capacitor is measured in accordance with 4.1.

E.2.10 Acceptance criteria

The number of cycles reached is within the range as agreed between the manufacturer and the customer.

Unless otherwise specified, the capacitance is not less than 80 % of the initial measured value and the internal resistance does not exceed 150 % of the specified value.

No visible damage and no electrolyte leakage is observed.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62576:2018

Bibliography

IEC 61881-3:2012, *Railway applications – Rolling stock equipment – Capacitors for power electronics – Part 3: Electric double-layer capacitors*
IEC 61881-3:2012/AMD1:2013

IEC 62391 (all parts), *Fixed electric double layer capacitors for use in electric and electronic equipment*

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62576:2018

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62576:2018

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	34
INTRODUCTION	36
1 Domaine d'application	37
2 Références normatives	37
3 Termes et définitions	37
4 Méthodes d'essai	40
4.1 Capacité, résistance interne et puissance volumique maximale	40
4.1.1 Circuit utilisé pour le mesurage	40
4.1.2 Équipement d'essai	40
4.1.3 Mode opératoire de mesure	41
4.1.4 Méthode de calcul de la capacité	42
4.1.5 Méthode de calcul de la résistance interne	43
4.1.6 Méthode de calcul de la puissance volumique maximale	43
4.2 Caractéristiques de maintien de la tension	43
4.2.1 Circuit utilisé pour le mesurage	43
4.2.2 Équipement d'essai	44
4.2.3 Modes opératoires de mesure	45
4.2.4 Calcul du taux de maintien de la tension	46
4.3 Rendement en énergie	46
4.3.1 Circuit utilisé pour l'essai	46
4.3.2 Équipement d'essai	46
4.3.3 Modes opératoires de mesure	47
4.3.4 Calcul du rendement en énergie	48
Annex A (Informative) Essai d'endurance: application continue de la tension assignée à une température élevée	50
A.1 Généralités	50
A.2 Procédure d'essai	50
A.2.1 Condition d'essai	50
A.2.2 Procédure d'essai	50
A.2.3 Critères d'évaluation	50
Annex B (Informative) Temps d'équilibrage thermique des condensateurs	52
B.1 Généralités	52
B.2 Temps d'équilibrage thermique des condensateurs	52
Annex C (informative) Rendement de charge/décharge et courant de mesure	54
C.1 Généralités	54
C.2 Rendement de charge, rendement de décharge et courant	54
Annex D (informative) Modes opératoires de réglage du courant de mesure du condensateur avec une résistance interne nominale incertaine	56
D.1 Généralités	56
D.2 Modes opératoires de réglage du courant appliqué pour le mesurage du condensateur	56
D.3 Exemple de réglage du courant pour la détermination des caractéristiques du condensateur	56
Annex E (informative) Essai cyclique d'endurance	57
E.1 Généralités	57
E.2 Méthode d'essai	57

E.2.1	Température d'essai	57
E.2.2	Équipement d'essai	57
E.2.3	Préconditionnement	57
E.2.4	Mesurages initiaux	57
E.2.5	Étapes de l'essai	57
E.2.6	Essai	58
E.2.7	Critères de fin d'essai	58
E.2.8	Post-traitement	59
E.2.9	Mesurage final	59
E.2.10	Critères d'acceptation	59
Bibliographie		60
Figure 1 – Circuit de base pour le mesurage de la capacité, de la résistance interne et de la puissance volumique maximale		
		40
Figure 2 – Caractéristiques de tension par rapport au temps entre les bornes du condensateur lors du mesurage de la capacité et de la résistance interne		
		41
Figure 3 – Circuit de base utilisé pour le mesurage des caractéristiques de maintien de la tension		
		44
Figure 4 – Caractéristiques temporelles de la tension entre les bornes du condensateur dans l'essai de maintien de la tension		
		45
Figure 5 – Caractéristiques de tension par rapport au temps entre les bornes du condensateur dans l'essai de rendement de charge/décharge		
		47
Figure B.1 – Temps d'équilibrage thermique des condensateurs (de 85 °C à 25 °C)		
		52
Figure B.2 – Temps d'équilibrage thermique des condensateurs (de -40 °C à 25 °C)		
		53
Figure B.3 – Variations de température des parties centrales des condensateurs		
		53
Figure E.1 – Étapes de l'essai cyclique d'endurance		
		58
Tableau D.1 – Exemples de réglages de courant appliqué pour le mesurage du condensateur		
		56

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**CONDENSATEURS ÉLECTRIQUES À DOUBLE COUCHE POUR
VÉHICULES ÉLECTRIQUES HYBRIDES – MÉTHODES D'ESSAI
DES CARACTÉRISTIQUES ÉLECTRIQUES**

AVANT-PROPOS

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

La Norme internationale IEC 62576 a été établie par le comité d'études 69 de l'IEC: Véhicules électriques destinés à circuler sur la voie publique et chariots de manutention électriques.

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition parue en 2009. Cette édition constitue une révision technique.

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

- a) des informations sur le champ d'application du présent document ont été ajoutées dans l'Article 1;
- b) les définitions de certains termes de l'Article 3 ont été améliorées;
- c) la description des procédures d'essai de l'Article 4 a été clarifiée;

d) des informations sur l'essai cyclique d'endurance ont été ajoutées (Annexe E).

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

CDV	Rapport de vote
69/486/CDV	69/539/RVC

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

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

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

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

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

INTRODUCTION

Le condensateur électrique à double couche (condensateur) est utilisé comme système de stockage d'énergie pour les véhicules. Des véhicules électriques équipés de condensateurs sont commercialisés dans le but de réduire la consommation de carburant grâce à la récupération des énergies et à l'assistance en puissance de crête lors de l'accélération, etc. Bien qu'il existe déjà des normes sur les condensateurs (série IEC 62391), celles sur les véhicules électriques mettent en œuvre des modèles d'utilisation, un environnement d'utilisation et des valeurs de courant qui sont assez différents de ceux qui sont prévus dans les normes existantes. Des méthodes d'essai et d'évaluation normalisées sont utiles tant aux constructeurs automobiles qu'aux fournisseurs de condensateurs pour accélérer le développement et la réduction des coûts de ces condensateurs. Dans cette perspective, la présente norme a pour but de fournir des spécifications minimales et de base relatives aux méthodes d'essai des caractéristiques électriques et de créer un environnement favorable au développement du marché des véhicules électriques et des condensateurs de grande capacité. Il convient de réexaminer des points d'essai pratiques complémentaires à normaliser après la stabilisation de la technologie et du marché des condensateurs pour les véhicules électriques. En ce qui concerne l'endurance, considérée comme importante dans l'utilisation pratique, seule la notion fondamentale est énoncée dans les annexes informatives.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62576:2018

CONDENSATEURS ÉLECTRIQUES À DOUBLE COUCHE POUR VÉHICULES ÉLECTRIQUES HYBRIDES – MÉTHODES D'ESSAI DES CARACTÉRISTIQUES ÉLECTRIQUES

1 Domaine d'application

Le présent document décrit les méthodes d'essai des caractéristiques électriques des cellules de condensateur électrique à double couche (ci-après dénommé "condensateur") utilisées pour l'assistance en puissance de crête dans les véhicules électriques hybrides.

Tous les essais décrits dans le présent document sont des essais de type.

Le présent document peut également s'appliquer aux condensateurs utilisés dans les systèmes de réduction de la marche au ralenti (systèmes de mise en veille) pour les véhicules.

Le présent document peut également s'appliquer aux modules de condensateurs constitués de plusieurs cellules.

NOTE L'Annexe E donne des informations relatives à l'essai cyclique d'endurance.

2 Références normatives

Le présent document ne contient aucune référence normative.

3 Termes et définitions

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

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

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

3.1

température ambiante

température de l'air dans l'environnement immédiat d'un condensateur

3.2

tension appliquée

tension (V) appliquée entre les bornes d'un condensateur

3.3

tension de fin de calcul

tension (V) à un point choisi pour la fin du calcul des caractéristiques, comprenant notamment la capacité dans des conditions d'affaiblissement de la tension pendant la décharge

3.4

tension de début de calcul

tension (V) à un point choisi pour le début du calcul des caractéristiques, comprenant notamment la capacité dans des conditions d'affaiblissement de la tension pendant la décharge

3.5

capacité

aptitude d'un condensateur à emmagasiner une charge électrique (F)

3.6

énergie électrique accumulée pendant la charge

quantité d'énergie (J) chargée, accumulée du début à la fin de la mise en charge

3.7

courant de charge

I_c

courant (A) exigé pour charger un condensateur

3.8

rendement de charge

rendement dans des conditions de charge spécifiées et rapport (en pour cent) de l'énergie emmagasinée à l'énergie accumulée pendant la charge

Note 1 à l'article: Cette valeur est calculée à partir de la résistance interne d'un condensateur.

Note 2 à l'article: Se référer à la Formule C.8.

3.9

charge à tension constante

mise en charge au cours de laquelle la tension est maintenue à une valeur constante quel(le) que soit le courant ou la température de la charge

3.10

énergie électrique accumulée pendant la décharge

quantité d'énergie (J) déchargée, accumulée du début à la fin de la décharge

3.11

courant de décharge

I_d

courant (A) exigé pour décharger un condensateur

3.12

rendement de décharge

rendement dans des conditions de décharge spécifiées et rapport (en pour cent) de l'énergie accumulée pendant la décharge à l'énergie emmagasinée

Note 1 à l'article: Cette valeur est calculée à partir de la résistance interne d'un condensateur.

Note 2 à l'article: Se référer à la Formule C.10.

3.13

condensateur électrique à double couche condensateur

dispositif qui emmagasine de l'énergie électrique à l'aide d'une double couche dans une cellule électrochimique et dont les électrodes positive et négative sont fabriquées avec le même matériau

Note 1 à l'article: Les condensateurs traités dans le présent document ne comprennent pas les condensateurs électrolytiques.

3.14

rendement en énergie

E_f

rapport (en pour cent) de l'énergie électrique accumulée pendant la décharge à l'énergie électrique accumulée pendant la charge dans des conditions de mise en charge et de décharge spécifiées

3.15**résistance interne**

résistance (Ω) combinée de la résistance spécifique au matériau constituant le condensateur et de la résistance des connexions internes d'un condensateur

3.16**puissance volumique maximale** P_{dm}

puissance de sortie maximale d'un condensateur par masse (W/kg) ou par volume (W/l)

3.17**résistance interne nominale** R_N

valeur nominale de la résistance interne (R_N) à utiliser lors de la conception et de l'établissement des conditions de mesure (Ω), en général à température ambiante

3.18**post-traitement**

décharge et entreposage d'un condensateur dans des conditions ambiantes spécifiées (température, humidité et pression) après les essais

Note 1 à l'article: En règle générale, le post-traitement implique de décharger et d'entreposer le condensateur jusqu'à ce que sa température interne ait atteint l'équilibre thermique avec la température ambiante, avant de mesurer ses caractéristiques électriques.

3.19**préconditionnement**

charge, décharge et entreposage d'un condensateur dans des conditions ambiantes spécifiées (température, humidité et pression) avant les essais

Note 1 à l'article: En règle générale, le préconditionnement implique de décharger et d'entreposer le condensateur jusqu'à ce que sa température interne ait atteint l'équilibre thermique avec la température ambiante, avant de mesurer ses caractéristiques électriques.

3.20**tension assignée** U_R

tension (V) continue maximale pouvant être appliquée en continu à un condensateur pendant une certaine durée, à la température de catégorie supérieure, de sorte que le condensateur puisse afficher des caractéristiques de puissance spécifiées

Note 1 à l'article: Cette tension est la tension de réglage nominale du condensateur.

Note 2 à l'article: L'essai d'endurance utilisant la tension assignée est décrit à l'Annex A.

3.21**température ambiante**

température de l'air à proximité du dispositif en essai, dans le présent document, c'est-à-dire à $(25 \pm 2)^\circ\text{C}$

3.22**énergie emmagasinée**

énergie (J) emmagasinée dans un condensateur

3.23**température de catégorie supérieure**

température ambiante maximale au-delà de laquelle le fonctionnement en continu d'un condensateur n'est pas prévu

3.24

caractéristiques de maintien de la tension

capacité d'un condensateur à maintenir la tension lorsque ses bornes sont ouvertes après un laps de temps spécifié consécutif à la mise en charge

3.25

taux de maintien de la tension

rapport de maintien de la tension

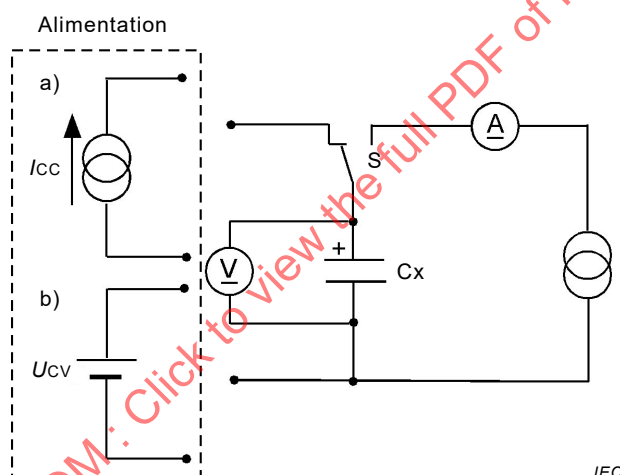
rapport entre la tension aux bornes ouvertes et la tension de charge après un laps de temps spécifié consécutif à la mise en charge d'un condensateur

4 Méthodes d'essai

4.1 Capacité, résistance interne et puissance volumique maximale

4.1.1 Circuit utilisé pour le mesurage

La capacité et la résistance interne doivent être mesurées en utilisant la charge à courant constant et à tension constante et la décharge à courant constant. La Figure 1 représente le circuit de base à utiliser pour le mesurage.



Légende

- I_{CC} alimentation stabilisée en courant
- U_{CV} alimentation stabilisée en tension
- $\textcircled{A}$ ampèremètre à courant continu
- $\textcircled{V}$ voltmètre enregistreur à courant continu
- S commutateur
- C_x condensateur en essai
- $\textcircled{\ominus}$ déchargeur à courant constant
- a) charge à courant constant
- b) charge à tension constante

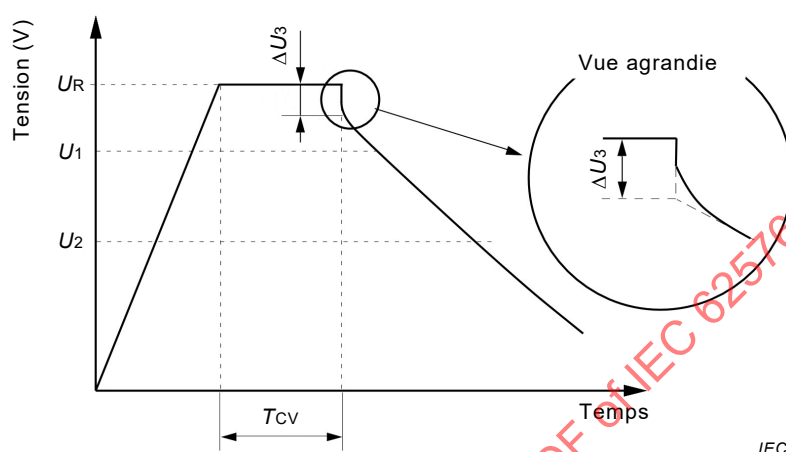
Figure 1 – Circuit de base pour le mesurage de la capacité, de la résistance interne et de la puissance volumique maximale

4.1.2 Équipement d'essai

L'équipement d'essai doit être capable d'effectuer la mise en charge à courant constant, la mise en charge à tension constante, la décharge à courant constant et le mesurage en continu du courant et de la tension entre les bornes du condensateur, en séries chronologiques, comme représenté à la Figure 2. L'équipement d'essai doit être capable de

réglér le courant et la tension avec une exactitude inférieure ou égale à $\pm 1 \%$ et de mesurer le courant et la tension avec une exactitude égale à $\pm 0,1 \%$.

L'alimentation électrique doit fournir un courant de charge constant pour la mise en charge du condensateur, avec un rendement de 95 %, régler la durée de charge à tension constante et fournir un courant de décharge correspondant au rendement de décharge spécifié. Le voltmètre enregistreur à courant continu doit être capable de procéder aux mesurages et à l'enregistrement selon un intervalle d'échantillonnage de 10 ms ou moins.



Légende

U_R	tension assignée (V)
U_1	tension de début de calcul (V)
U_2	tension de fin de calcul (V)
ΔU_3	chute de tension (V)
T_{CV}	durée de charge à tension constante (s)

Figure 2 – Caractéristiques de tension par rapport au temps entre les bornes du condensateur lors du mesurage de la capacité et de la résistance interne

4.1.3 Mode opératoire de mesure

Les mesurages doivent être effectués conformément aux modes opératoires suivants, en utilisant l'équipement d'essai spécifié en 4.1.2.

a) Préconditionnement

Avant le mesurage, les condensateurs doivent être complètement chargés et complètement déchargés, puis placés en étuve pendant 2 h à 6 h à température ambiante ou à celle spécifiée par les normes connexes.

NOTE 1 Le temps d'équilibrage thermique, qui sert de référence à la durée d'imprégnation, est décrit à l'Annexe B.

NOTE 2 La mise en charge et la mise en décharge peuvent être répétées si nécessaire jusqu'à stabilisation de la capacité et de la résistance interne.

EXEMPLE

Charger et décharger l'échantillon à l'aide du courant spécifié par le fabricant en suivant les étapes suivantes:

- 1) décharger complètement;
- 2) charger jusqu'à U_R ;
- 3) décharger jusqu'à $0,5 U_R$;
- 4) répéter les étapes 2) et 3) dix fois.

b) Mise en place de l'échantillon

Installer les condensateurs d'essai dans l'équipement d'essai.

c) Configuration de l'équipement d'essai

Sauf spécification contraire dans les normes connexes, l'équipement d'essai doit être configuré comme suit.

- 1) Régler le courant constant I_c pour la mise en charge. À ce courant, les condensateurs doivent être capables de charger avec un rendement de charge de 95 %, basé sur leur résistance interne nominale R_N . La valeur du courant est calculée à l'aide de l'équation $I_c = U_R/38R_N$. La valeur du courant constant ou le rendement de charge peut être modifié(e) selon l'accord conclu entre le client et le fournisseur.

NOTE Le concept général de rendement de charge ou de décharge de 95 % est décrit à l'Annexe C. Lorsque la valeur assignée de la résistance interne d'un condensateur est incertaine, le courant utilisé pour le mesurage peut être réglé conformément aux modes opératoires recommandés décrits à l'Annexe D.

- 2) Régler la tension maximale pour la charge à courant constant à la tension assignée U_R .
- 3) Régler la durée de charge à tension constante T_{cv} à 300 s.
- 4) Régler la valeur de décharge à courant constant. Cette valeur doit assurer un rendement de décharge de 95 %, en fonction de la résistance interne nominale du condensateur R_N . Cette valeur est calculée à l'aide de l'équation $I_d = U_R/40R_N$.
La valeur du courant constant ou le rendement de décharge peut être modifié(e) selon l'accord conclu entre le client et le fournisseur.
- 5) Régler l'intervalle d'échantillonnage à 10 ms ou moins et régler l'équipement d'essai de façon à mesurer les caractéristiques de chute de tension jusqu'à $0,5 U_R$.

d) Essai

Conformément à la configuration décrite en 4.1.3 c), charger et décharger l'échantillon en suivant les étapes suivantes et mesurer la tension entre les bornes du condensateur comme représenté à la Figure 2:

- charge à courant constant jusqu'à U_R ;
- charge à tension constante à U_R pendant 300 s;
- décharge à courant constant jusqu'à $0,4 U_R$.

4.1.4 Méthode de calcul de la capacité

La capacité C doit être calculée à l'aide de la Formule (1) en fonction des caractéristiques de tension par rapport au temps entre les bornes du condensateur, telles que mesurées en 4.1.4.

NOTE La méthode décrite ici est la "méthode de calcul de la capacité de conversion d'énergie".

$$C = \frac{2W}{(0,9U_R)^2 - (0,7U_R)^2} \quad (1)$$

où

C est la capacité (F) du condensateur;

W est l'énergie (J) déchargée, mesurée de la tension de début de calcul ($0,9 U_R$) à la tension de fin de calcul ($0,7 U_R$);

U_R est la tension assignée (V).

4.1.5 Méthode de calcul de la résistance interne

La résistance interne R doit être calculée à l'aide de la Formule (2) en fonction des caractéristiques de tension par rapport au temps entre les bornes du condensateur, telles que mesurées en 4.1.4.

$$R = \frac{\Delta U_3}{I_d} \quad (2)$$

où

R est la résistance (Ω) interne du condensateur;

I_d est le courant de décharge (A);

ΔU_3 est la chute de tension (V).

Pour obtenir ΔU_3 , appliquer l'approximation linéaire aux caractéristiques de chute de tension, de la tension de début de calcul ($0,9 U_R$) à la tension de fin de calcul ($0,7 U_R$), en utilisant la méthode des moindres carrés. Obtenir l'ordonnée à l'origine (valeur de la tension) de la droite au temps correspondant au démarrage de la décharge. ΔU_3 est la différence des tensions (V) entre la valeur de la tension à l'origine et la valeur de réglage de la charge à tension constante.

NOTE La méthode décrite ici est le "calcul de la résistance interne par la méthode des moindres carrés".

4.1.6 Méthode de calcul de la puissance volumique maximale

La puissance volumique maximale P_{dm} est calculée en utilisant la valeur de résistance interne calculée en 4.1.5 et à l'aide de la Formule (3).

NOTE La méthode décrite ici est la "méthode de calcul de la puissance volumique à impédance adaptée".

$$P_{dm} = \frac{0,25U_R^2}{RM} \quad (3)$$

où

P_{dm} est la puissance volumique maximale du condensateur (W/kg ou W/l);

U_R est la tension assignée (V);

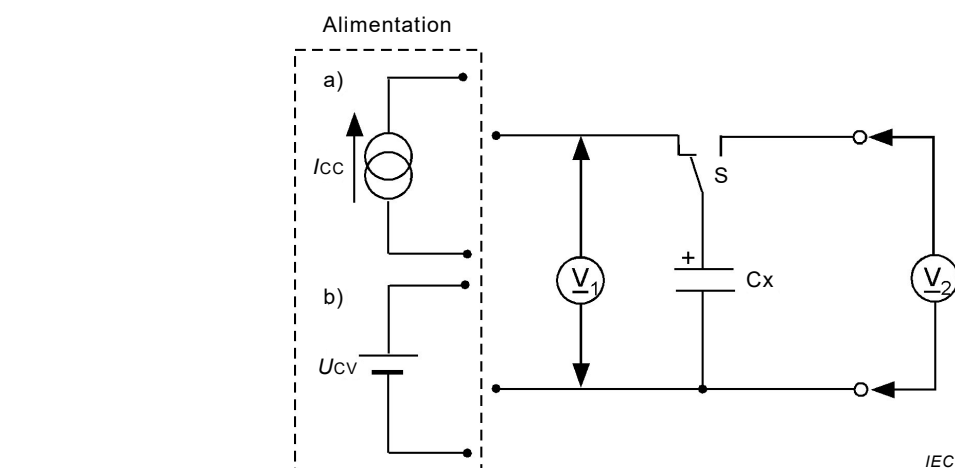
R est la résistance interne calculée (Ω);

M est la masse ou volume du condensateur (kg ou l).

4.2 Caractéristiques de maintien de la tension

4.2.1 Circuit utilisé pour le mesurage

La Figure 3 représente le circuit de base utilisé pour le mesurage des caractéristiques de maintien de la tension.



Légende

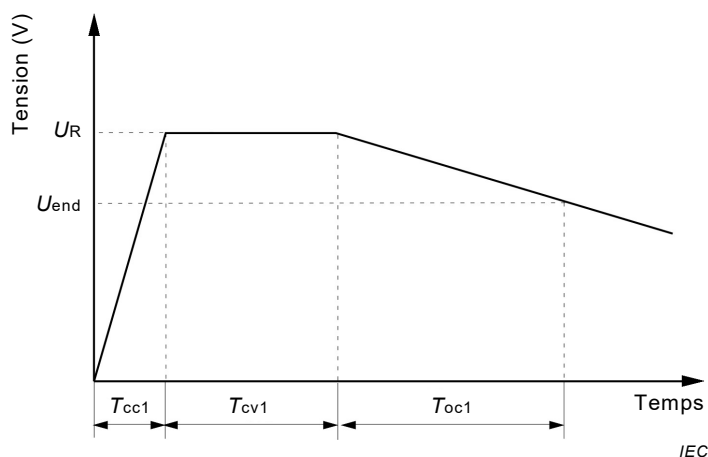
I_{cc}	alimentation stabilisée en courant
U_{cv}	alimentation stabilisée en tension
V_1 V_2	voltmètre à courant continu
S	commutateur
Cx	condensateur en essai
a)	charge à courant constant
b)	charge à tension constante

Figure 3 – Circuit de base utilisé pour le mesurage des caractéristiques de maintien de la tension

4.2.2 Équipement d'essai

L'équipement d'essai doit être capable d'effectuer la mise en charge à courant constant, la mise en charge à tension constante et le mesurage en continu de la tension entre les bornes du condensateur, en séries chronologiques, comme représenté à la Figure 4. L'alimentation électrique doit fournir un courant de charge constant pour la mise en charge du condensateur avec un rendement de 95 % et régler la durée de charge à tension constante. L'équipement d'essai doit être capable de régler et mesurer le courant et la tension avec une exactitude inférieure ou égale à $\pm 1\%$.

Les voltmètres enregistreurs à courant continu V1 et V2 doivent avoir une résolution de 5 mV ou moins pour le mesurage de la tension. L'impédance d'entrée de l'enregistreur doit être suffisamment élevée pour que les erreurs de mesure soient négligeables.



Légende

U_R	tension assignée (V)
T_{cc1}	durée de charge avec un rendement de 95 % (s)
T_{cv1}	durée de charge à tension constante (s)
T_{oc1}	durée d'imprégnation (h)
U_{end}	tension lorsque T_{OC1} est de 72 h (V)

Figure 4 – Caractéristiques temporelles de la tension entre les bornes du condensateur dans l'essai de maintien de la tension

4.2.3 Modes opératoires de mesure

Les mesurages doivent être effectués conformément aux modes opératoires suivants, en utilisant l'équipement d'essai spécifié en 4.2.2.

a) Préconditionnement

Avant le mesurage, les condensateurs doivent être complètement chargés et complètement déchargés, puis placés en étuve pendant 2 h à 6 h à température ambiante ou à celle spécifiée par les normes connexes.

NOTE 1 Le temps d'équilibrage thermique, qui sert de référence à la durée d'imprégnation, est décrit à l'Annexe B.

NOTE 2 La mise en charge et la mise en décharge peuvent être répétées si nécessaire jusqu'à stabilisation de la capacité et de la résistance interne.

EXEMPLE

Charger et décharger l'échantillon à l'aide du courant spécifié par le fabricant en suivant les étapes suivantes:

- 1) décharger complètement;
- 2) charger jusqu'à U_R ;
- 3) décharger jusqu'à $0,5 U_R$;
- 4) répéter les étapes 2) et 3) dix fois.

a) Mise en place de l'échantillon

Installer les condensateurs d'essai dans l'équipement d'essai.

b) Configuration de l'équipement d'essai

Sauf spécification contraire dans les normes connexes, l'équipement d'essai doit être configuré comme suit.

- 1) Régler la valeur de courant constant pour la mise en charge. À ce courant, les condensateurs doivent être capables de charger avec un rendement de charge de 95 %, basé sur leur résistance interne nominale. La valeur du courant est calculée à l'aide de l'équation $I_C = U_R / 38 R_N$.

La valeur du courant constant ou le rendement de charge peut être modifié(e) selon l'accord conclu entre le client et le fournisseur.

NOTE Le concept général de rendement de charge ou de décharge de 95 % est décrit à l'Annexe C. Lorsque la valeur assignée de la résistance interne d'un condensateur est incertaine, le courant utilisé pour le mesurage peut être réglé conformément aux modes opératoires recommandés décrits à l'Annexe D.

- 2) Régler la tension maximale pour la charge à courant constant à la tension assignée U_R .
- 3) Régler la durée de charge à tension constante T_{cv1} à 300 s.

c) Essai

- 1) Conformément à la configuration décrite en 4.2.3 c), charger l'échantillon en suivant les étapes suivantes:
 - charge à courant constant jusqu'à U_R ;
 - charge à tension constante à U_R pendant 300 s.
- 2) Ouvrir les bornes du condensateur puis, après 72 h, mesurer la tension entre les bornes du condensateur.

4.2.4 Calcul du taux de maintien de la tension

Le taux de maintien de la tension A est calculé à l'aide de la Formule (4).

$$A = \frac{U_{\text{end}}}{U_R} \times 100 \quad (4)$$

où

A est le taux de maintien de la tension (%);

U_{end} est la tension entre les bornes ouvertes du condensateur après 72 h (T_{OC1});

U_R est la tension assignée (V).

4.3 Rendement en énergie

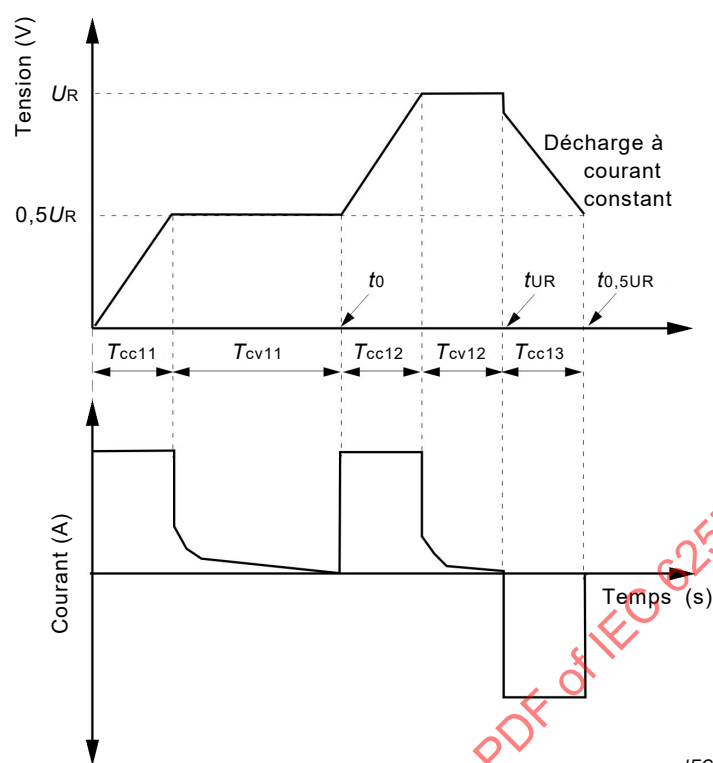
4.3.1 Circuit utilisé pour l'essai

L'essai de rendement en énergie doit être effectué au moyen de la charge et de la décharge à courant constant. La Figure 1 représente le circuit de base exigé pour cet essai.

4.3.2 Équipement d'essai

L'équipement d'essai doit être capable d'effectuer la mise en charge à courant constant, la mise en charge à tension constante, la décharge à courant constant et le mesurage en continu du courant et de la tension entre les bornes du condensateur, en séries chronologiques, comme représenté à la Figure 5. L'équipement d'essai doit être capable de régler et mesurer le courant et la tension avec une exactitude inférieure ou égale à ± 1 %.

L'alimentation électrique doit fournir un courant de charge constant pour la mise en charge du condensateur, avec un rendement de 95 %, régler la durée de charge à tension constante et fournir un courant de décharge correspondant au rendement de décharge spécifié. Le voltmètre enregistreur à courant continu doit être capable de procéder aux mesurages et à l'enregistrement avec une résolution de 5 mV et selon un intervalle d'échantillonnage de 100 ms ou moins.



Légende

U_R	tension assignée (V)
T_{CC11}	durée de charge à courant constant (s) jusqu'à $0,5 U_R$
T_{CV11}	durée de charge à tension constante (s) à $0,5 U_R$
T_{CC12}	durée de charge à courant constant (s) jusqu'à U_R
T_{CV12}	durée de charge à tension constante (s) à U_R
T_{CC13}	durée de décharge à courant constant (s) de U_R à $0,5 U_R$

Figure 5 – Caractéristiques de tension par rapport au temps entre les bornes du condensateur dans l'essai de rendement de charge/décharge

4.3.3 Modes opératoires de mesure

Les mesurages doivent être effectués conformément aux modes opératoires suivants, en utilisant l'équipement d'essai spécifié en 4.3.2.

a) Préconditionnement

Avant le mesurage, le condensateur doit être complètement chargé et complètement déchargé, puis placé en étuve pendant 2 h à 6 h à température ambiante ou à celle spécifiée par les normes connexes.

NOTE 1 Le temps d'équilibrage thermique, qui sert de référence à la durée d'imprégnation, est décrit à l'Annexe B.

NOTE 2 La mise en charge et la mise en décharge peuvent être répétées si nécessaire jusqu'à stabilisation de la capacité et de la résistance interne.

EXEMPLE

Charger et décharger l'échantillon à l'aide du courant spécifié par le fabricant en suivant les étapes suivantes:

- 1) décharger complètement;
- 2) charger jusqu'à U_R ;
- 3) décharger jusqu'à $0,5 U_R$;
- 4) répéter les étapes 2) et 3) dix fois.

b) Mise en place de l'échantillon

Installer les condensateurs d'essai dans l'équipement d'essai.

c) Configuration de l'équipement d'essai

Sauf spécification contraire dans les normes connexes, l'équipement d'essai doit être configuré comme suit.

- 1) Régler le courant constant de charge entre 0 V et $0,5 U_R$, puis entre $0,5 U_R$ et U_R . À ce courant, les condensateurs doivent être capables de charger avec un rendement de charge de 95 %, basé sur leur résistance interne nominale R_N . La valeur du courant est calculée à l'aide de l'équation $I_c = U_R/38R_N$.

La valeur du courant constant ou le rendement de charge peut être modifié(e) selon l'accord conclu entre le client et le fournisseur.

NOTE Le concept général de rendement de charge ou de décharge de 95 % est décrit à l'Annexe C. Lorsque la valeur assignée de la résistance interne d'un condensateur est incertaine, le courant utilisé pour le mesurage peut être réglé conformément aux modes opératoires recommandés décrits à l'Annexe D.

- 2) Régler la durée de charge à tension constante T_{CV11} à $0,5 U_R$ pendant 300 s, puis T_{CV12} à U_R pendant 10 s.
- 3) Régler la valeur de décharge à courant constant. Cette valeur doit assurer un rendement de décharge de 95 %, en fonction de la résistance interne nominale du condensateur R_N . Cette valeur est calculée à l'aide de l'équation $I_d = U_R/40R_N$.

La valeur du courant constant ou le rendement de décharge peut être modifié(e) selon l'accord conclu entre le client et le fournisseur.

NOTE Le concept général de rendement de charge ou de décharge de 95 % est décrit à l'Annexe C. Lorsque la valeur assignée de la résistance interne d'un condensateur est incertaine, le courant utilisé pour le mesurage peut être réglé conformément aux modes opératoires recommandés décrits à l'Annexe D.

d) Essai

- 1) Conformément à la configuration décrite en 4.3.3 c), charger et décharger l'échantillon en suivant les étapes suivantes:
 - charge à courant constant jusqu'à $0,5 U_R$;
 - charge à tension constante à $0,5 U_R$ pendant 300 s;
 - charge à courant constant de $0,5 U_R$ à U_R ;
 - charge à tension constante à U_R pendant 10 s;
 - décharge à courant constant jusqu'à $0,4 U_R$.
- 2) Obtenir la valeur de l'énergie électrique accumulée pendant la charge pendant T_{CC12} et T_{CV12} et la valeur de l'énergie électrique accumulée pendant la décharge pendant T_{CC13} .

4.3.4 Calcul du rendement en énergie

Le rendement en énergie E_f peut être obtenu en appliquant la Formule (5) en fonction des caractéristiques de tension et de courant par rapport au temps, entre $0,5 U_R$ et U_R .

$$E_f = \frac{W_d}{W_c} \times 100 \quad (5)$$

où

E_f est le rendement en énergie (%);

W_d est l'énergie électrique (J) déchargée pendant la période T_{CC13} ;

W_c est l'énergie électrique (J) chargée pendant la période T_{CC12} plus la période T_{CV12} .

W_d peut être obtenue en appliquant la Formule (6).

$$W_d = \int_{t_0}^{t_{0,5U_R}} I_d U(t) dt \quad (6)$$

W_c peut être obtenue en appliquant la Formule (7).

$$W_c = \int_{t_0}^{t_{UR}} I_c U(t) dt \quad (7)$$

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62576:2018