

# 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**



## THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2009 IEC, Geneva, Switzerland

All rights reserved. Unless otherwise specified, no part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from either IEC or IEC's member National Committee in the country of the requester.

If you have any questions about IEC copyright or have an enquiry about obtaining additional rights to this publication, please contact the address below or your local IEC member National Committee for further information.

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de la CEI ou du Comité national de la CEI du pays du demandeur.

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

IEC Central Office  
3, rue de Varembe  
CH-1211 Geneva 20  
Switzerland  
Email: [inmail@iec.ch](mailto:inmail@iec.ch)  
Web: [www.iec.ch](http://www.iec.ch)

### About the IEC

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

### About IEC publications

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

- Catalogue of IEC publications: [www.iec.ch/searchpub](http://www.iec.ch/searchpub)

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 It also gives information on projects, withdrawn and replaced publications.

- IEC Just Published: [www.iec.ch/online\\_news/justpub](http://www.iec.ch/online_news/justpub)

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

- Electropedia: [www.electropedia.org](http://www.electropedia.org)

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

- Customer Service Centre: [www.iec.ch/webstore/custserv](http://www.iec.ch/webstore/custserv)

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

Email: [csc@iec.ch](mailto:csc@iec.ch)

Tel.: +41 22 919 02 11

Fax: +41 22 919 03 00

### A propos de la CEI

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

### A propos des publications CEI

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

- Catalogue des publications de la CEI: [www.iec.ch/searchpub/cur\\_fut-f.htm](http://www.iec.ch/searchpub/cur_fut-f.htm)

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

- Just Published CEI: [www.iec.ch/online\\_news/justpub](http://www.iec.ch/online_news/justpub)

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

- Electropedia: [www.electropedia.org](http://www.electropedia.org)

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

- Service Clients: [www.iec.ch/webstore/custserv/custserv\\_entry-f.htm](http://www.iec.ch/webstore/custserv/custserv_entry-f.htm)

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

Email: [csc@iec.ch](mailto:csc@iec.ch)

Tél.: +41 22 919 02 11

Fax: +41 22 919 03 00

# 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

PRICE CODE  
CODE PRIX

U

ICS 31.090.99; 43.120

ISBN 978-2-88910-766-7

## CONTENTS

|                                                                                                                                   |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| FOREWORD.....                                                                                                                     | 4  |
| INTRODUCTION.....                                                                                                                 | 6  |
| 1 Scope.....                                                                                                                      | 7  |
| 2 Normative references .....                                                                                                      | 7  |
| 3 Terms and definitions .....                                                                                                     | 7  |
| 4 Tests and measurement procedures.....                                                                                           | 10 |
| 4.1 Capacitance, internal resistance, and maximum power density.....                                                              | 10 |
| 4.1.1 Circuit for measurement .....                                                                                               | 10 |
| 4.1.2 Test equipment.....                                                                                                         | 11 |
| 4.1.3 Measurement procedure.....                                                                                                  | 11 |
| 4.1.4 Measurement.....                                                                                                            | 12 |
| 4.1.5 Calculation method for capacitance .....                                                                                    | 12 |
| 4.1.6 Calculation method for internal resistance .....                                                                            | 12 |
| 4.1.7 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 .....                                                                                                | 14 |
| 4.2.4 Measurement.....                                                                                                            | 15 |
| 4.2.5 Calculation of voltage maintenance rate .....                                                                               | 15 |
| 4.3 Energy efficiency.....                                                                                                        | 15 |
| 4.3.1 Circuit for test.....                                                                                                       | 15 |
| 4.3.2 Test equipment.....                                                                                                         | 15 |
| 4.3.3 Measurement procedures .....                                                                                                | 16 |
| 4.3.4 Measurement.....                                                                                                            | 17 |
| 4.3.5 Calculation of energy efficiency .....                                                                                      | 17 |
| Annex A (informative) Endurance test (continuous application of rated voltage at high temperature).....                           | 18 |
| Annex B (informative) Heat equilibrium time of capacitors.....                                                                    | 20 |
| Annex C (informative) Charging/discharging efficiency and measurement current.....                                                | 22 |
| Annex D (informative) Procedures for setting the measurement current of capacitor with uncertain nominal internal resistance..... | 24 |
| Bibliography.....                                                                                                                 | 25 |
| 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.....                                               | 13 |
| Figure 4 – Time characteristics of voltage between capacitor terminals in voltage maintenance test .....                          | 14 |
| Figure 5 – Voltage-time characteristics between capacitor terminals in charging/discharging efficiency test .....                 | 16 |
| Figure B.1 – Heat equilibrium times of capacitors (85 °C→25 °C) .....                                                             | 20 |
| Figure B.2 – Heat equilibrium times of capacitors (–40 °C→25 °C) .....                                                            | 21 |
| Figure B.3 – Temperature changes of capacitors' central portions (85 °C→25 °C) .....                                              | 21 |

Figure B.4 – Temperature changes of capacitors' central portions ( $-40\text{ }^{\circ}\text{C} \rightarrow 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) .....21

Table D.1 – Example of setting current for measurement of capacitor .....24

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 62576:2009

Withdawn

# 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 provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with an IEC Publication.
- 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.

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

| CDV        | Report on voting |
|------------|------------------|
| 69/158/CDV | 69/162/RVC       |

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

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

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until the maintenance result 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.

**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 publication using a colour printer.**

Withdrawn  
IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 62576:2009

## INTRODUCTION

The Electric double-layer capacitor (EDLC) is a promising energy storage system for hybrid electric vehicles (HEVs), and EDLC-installed HEVs have begun to be commercialized with an eye to improving fuel economy by recovering regenerative energy. Although a standards series (IEC 62391 series) for EDLC already exists, those for HEVs 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 the auto manufacturers and capacitor suppliers to speed up the development and lower the costs of such EDLCs. With these points in mind, this standard aims to provide basic and minimum specifications in terms of the methods for testing electrical characteristics, and to create an environment that supports expanding market of HEVs and large capacity EDLCs. Additional practical test items to be standardized should be reconsidered after technology and market stabilization of EDLCs for HEVs. In terms of endurance that is important in practical use, just basic concept is set forth in the informative annexes.

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

## 1 Scope

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

## 2 Normative references

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

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

## 3 Terms and definitions

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

### 3.1

#### **reference temperature**

reference temperature (°C) to be used in the test

### 3.2

#### **ambient temperature**

ambient temperature of the surrounding space in which a capacitor is placed

### 3.3

#### **upper category temperature**

highest ambient temperature that a capacitor is designed to operate continuously

### 3.4

#### **lower category temperature**

lowest ambient temperature that a capacitor is designed to operate continuously

### 3.5

#### **applied voltage**

voltage (V) applied between the terminals of a capacitor

### 3.6

#### **rated voltage**

$U_R$

maximum d.c. 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. This voltage is the setting voltage in capacitor design

NOTE The endurance test using the rated voltage is described in Annex A.

**3.7**  
**charge current**

$I_c$   
current (A) required to charge a capacitor

**3.8**  
**discharge current**

$I_d$   
current (A) required to discharge a capacitor

**3.9**  
**stored energy**  
energy (J) stored in a capacitor

**3.10**  
**charge accumulated electrical energy**  
amount of charged energy (J) accumulated from the beginning to the end of charging

**3.11**  
**discharge accumulated electrical energy**  
amount of discharged energy (J) accumulated from the beginning to the end of discharging

**3.12**  
**calculation start voltage**  
voltage (V) at a selected start point for calculating the characteristics including capacitance under a state of voltage decrease during discharge

**3.13**  
**calculation end voltage**  
voltage (V) at a selected end point for calculating the characteristics including capacitance under a state of voltage decrease during discharge

**3.14**  
**capacitance**  
ability of a capacitor to store electrical charge (F)

**3.15**  
**nominal capacitance**  
 $C_N$   
nominal capacitance value ( $C_N$ ) to be used in design and measurement condition setting (F), generally, at the reference temperature

**3.16**  
**internal resistance**  
combined resistance ( $\Omega$ ) of constituent material specific resistance and inside connection resistance of a capacitor

**3.17**  
**nominal internal resistance**  
 $R_N$   
nominal value of the internal resistance ( $R_N$ ) to be used in design and measurement condition setting ( $\Omega$ ), generally at the reference temperature

**3.18**  
**constant voltage charging**  
method of charging a capacitor at specified voltage continuously

**3.19****pre-conditioning**

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

NOTE 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****voltage treatment**

voltage application before measurement of a capacitor's electrical characteristics

NOTE Generally, this treatment is applied to a capacitor that has been stored for a long time or to a capacitor whose history is not clear.

**3.21****post-treatment (recovery)**

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

NOTE 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.

**3.22****charging efficiency**

efficiency under specified charging conditions, and ratio (%) of stored energy to charge accumulated electrical energy. This value is calculated from the internal resistance of a capacitor

NOTE Refer to Equation C.8 in Annex C.

**3.23****discharging efficiency**

efficiency under specified discharging conditions, and ratio (%) of discharge accumulated electrical energy to stored energy. This value is calculated from the internal resistance of a capacitor

NOTE Refer to Equation C.10 in Annex C.

**3.24****energy efficiency**

$E_f$

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

**3.25****voltage maintenance characteristics**

voltage maintenance characteristics of a capacitor when its terminals are open after charging

**3.26****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

**3.27****power density**

electrical power per unit mass (W/kg) or per unit volume (W/l) that can be recovered from a charged capacitor

### 3.28

#### rated power density

specified maximum power density (W/kg or W/l). Generally, it is calculated by using the nominal internal resistance and the rated voltage

### 3.29

#### maximum power density

$P_{dm}$

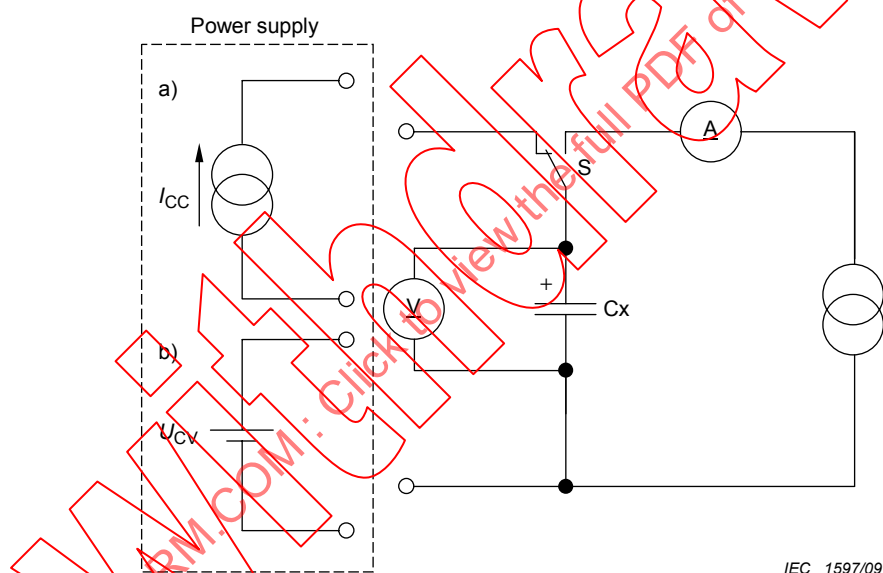
maximum power density (W/kg or W/l) that can be recovered from a charged capacitor. Generally, it is calculated by using the internal resistance and the rated voltage

## 4 Tests and measurement procedures

### 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 charging and discharging methods. Figure 1 shows the basic circuit to be used for the measurement.



#### Key

$I_{cc}$  constant-current

$U_{cv}$  constant-voltage

$\textcircled{A}$  d.c. ammeter

$\textcircled{V}$  d.c. voltage recorder

$S$  changeover switch

$C_x$  capacitor under test

$\textcircled{\bigcirc}$  constant current discharger

a) constant current charging

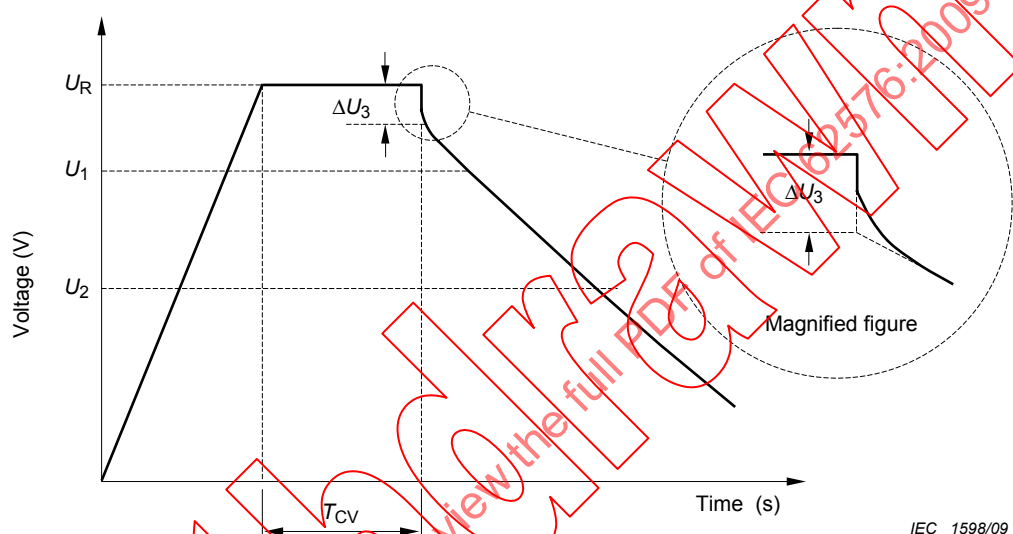
b) constant voltage charging

**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 and measure the current and the voltage with the 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 d.c. voltage recorder shall be capable of conducting measurements and recording with a 5 mV resolution and sampling interval of 100 ms or less.



IEC 1598/09

#### Key

|              |                                        |
|--------------|----------------------------------------|
| $U_R$        | rated voltage (V)                      |
| $U_1$        | calculation start voltage (V)          |
| $U_2$        | calculation end voltage (V)            |
| $\Delta U_3$ | 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 discharged and then incubated for 2 h to 6 h under the reference temperature, set at  $25\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ , as specified in 5.2 in IEC 60068-1, 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.

##### b) Sample setting

Fit the sample capacitors with the test equipment.

##### c) Test equipment set-up

Unless specified otherwise 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  $I_c = U_R / 38 R_N$ .

NOTE 2 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  $I_d = U_R / 40 R_N$ .
- 5) Set the sampling interval to 100 ms or less, and set the test equipment so as to measure the voltage drop characteristics up to  $0,5 U_R$ .

#### 4.1.4 Measurement

After the setting as specified above, the voltage-time characteristics between capacitor terminals as shown in Figure 2 shall be measured.

#### 4.1.5 Calculation method for capacitance

The capacitance  $C$  shall be calculated using Equation (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."

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

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).

#### 4.1.6 Calculation method for internal resistance

The internal resistance  $R$  shall be calculated using Equation (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 ( $\Omega$ ) of capacitor;
- $I_d$  is the discharge current (A).
- $\Delta U_3$  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.  $\Delta U_3$  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.”

#### 4.1.7 Calculation method for maximum power density

The maximum power density  $P_{dm}$  is calculated by using the internal resistance value calculated in 4.1.6 and Equation (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);

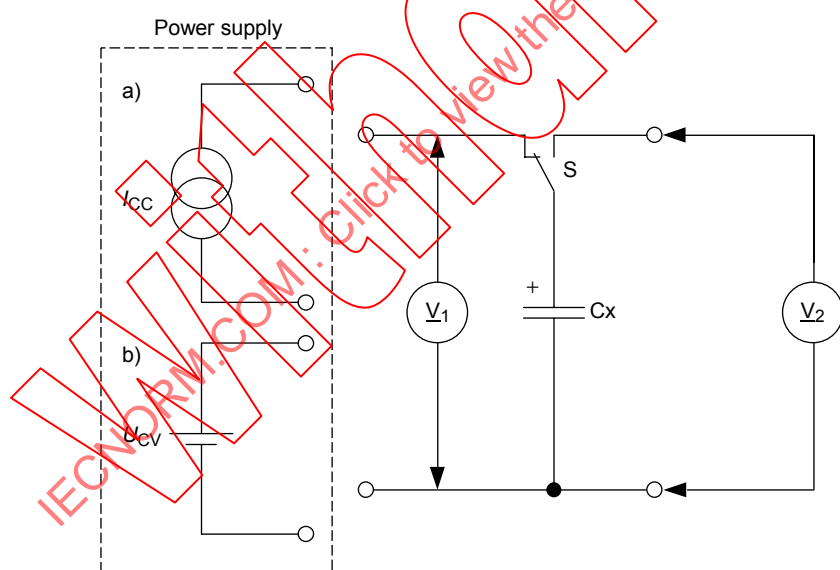
$R$  is the calculated internal resistance ( $\Omega$ );

$M$  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.



IEC 1599/09

#### Key

$I_{cc}$  constant-current

$U_{cv}$  constant-voltage

$V_1$   $V_2$  d.c. voltmeter

$S$  changeover switch

$C_x$  capacitor under test

a) constant current charging

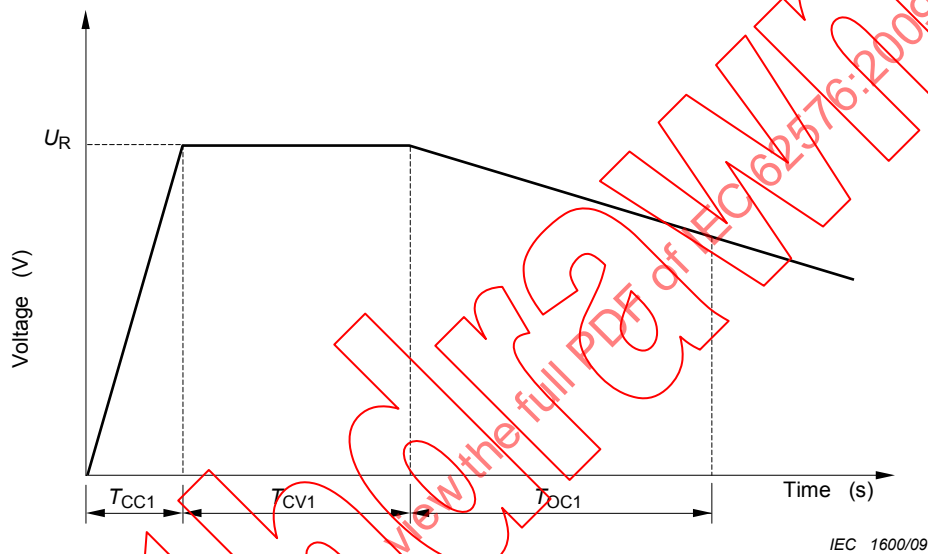
b) constant voltage charging

**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  $\pm 1$  % or less.

The d.c. 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)
- $T_{OC1}$  duration of measurement (h)

**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 discharged and then incubated for 2 h to 6 h under the reference temperature, set at  $25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ , as specified in 5.2 in IEC 60068-1, 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.

##### b) Sample setting

Fit the sample capacitors with the test equipment.

##### c) Test equipment set-up

Unless specified otherwise 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  $I_c = U_R / 38 R_N$ .

NOTE 2 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.
- 4) After specified charging duration, set the capacitor terminals open.

#### 4.2.4 Measurement

After the setting as specified above, measure the voltage between capacitor terminals when  $T_{OC1}$  in Figure 4 is 72 h.

#### 4.2.5 Calculation of voltage maintenance rate

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

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

where

- $A$  is the voltage maintenance rate (%);  
 $U_{\text{end}}$  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

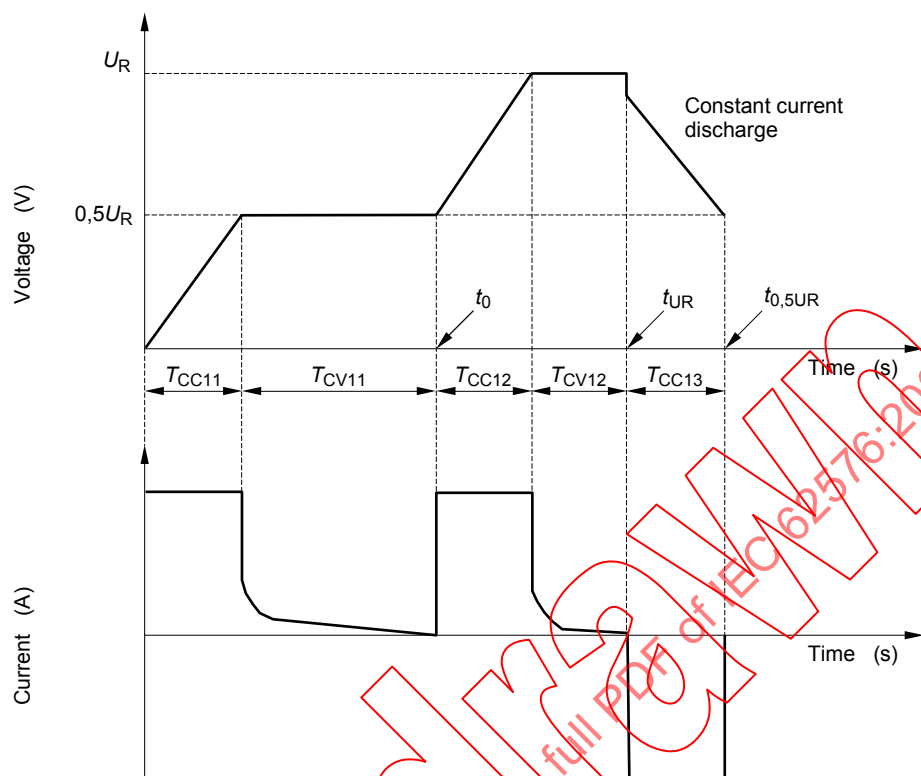
The energy efficiency test shall be conducted by the constant current charging and discharging. Figure 1 shows the basic circuit required for this test.

#### 4.3.2 Test equipment

The test equipment shall be as specified in 4.1.2.

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 by the 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 d.c. voltage recorder shall be capable of conducting measurements and recording with a 5 mV resolution and sampling interval of 100 ms or less.



IEC 1601/09

#### 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) up to  $0,5U_R$
- $T_{CC12}$  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  $0,5U_R$

**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 capacitors shall be fully discharged and then incubated for 2 h to 6 h under the reference temperature, set at  $25\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ , as specified in 5.2 in IEC 60068-1, 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.

##### b) Sample setting

Fit the sample capacitors with the test equipment.

##### c) Test equipment set-up

Unless specified otherwise 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  $I_c = U_R / 38 R_N$ .

NOTE 2 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  $I_d = U_R / 40 R_N$ .

NOTE 3 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.

- 4) Discharging can be deemed complete when the voltage between the capacitor terminals reaches  $0,5 U_R$ .

#### 4.3.4 Measurement

After setting up the test equipment as mentioned above, test the following: constant current charging up to  $0,5 U_R$ , constant voltage charging at  $0,5 U_R$ , constant current charging up to  $U_R$ , constant voltage charging at  $U_R$ , and constant current discharging down to  $0,5 U_R$  in that order. Obtain the charge accumulated electrical energy from  $0,5 U_R$  (during  $T_{CC12}$  and  $T_{CV12}$ ) and the discharge accumulated electrical energy during discharging  $T_{CC13}$ .

#### 4.3.5 Calculation of energy efficiency

The energy efficiency  $E_f$  can be obtained by Equation (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;

$W_d$  can be obtained by Equation (6):

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

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

$W_c$  can be obtained by Equation (7).

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

## **Annex A** (informative)

### **Endurance test (continuous application of rated voltage at high temperature)**

#### **A.1 General**

This annex describes the endurance test for continuous application of rated voltage at high temperature that is a factor to define the rated voltage defined in 3.6.

#### **A.2 Test procedure**

##### **A.2.1 Test condition**

Unless specified otherwise 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 reference temperature, which shall be set at  $25\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ , as specified in 5.2 in IEC 60068-1..

###### **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 category upper temperature and apply the rated voltage for 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.

###### **d) Post-treatment (recovery)**

After the test is complete, remove the capacitors from the test chamber, discharge completely and soak them in the reference temperature, set at  $25\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ , as specified in 5.2 in IEC 60068-1 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 specified otherwise by delivery contract between the parties, it is advisable that the capacitance change rate  $\Delta C$  and internal resistance change rate  $\Delta R$  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 ( $\Omega$ ) before the test;

$R_f$  is the internal resistance ( $\Omega$ ) after the test.

Withdrawn  
IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 62576:2009

## Annex B (informative)

### Heat equilibrium time of capacitors

#### B.1 General

This annex 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

Presuming that the heat equilibrium time, which is the time required for the central portion of a capacitor to reach the temperature difference from the external temperature within 1 °C, is dependent on the external dimensions of the capacitor, the temperature changes in the central portions of capacitors was verified.

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. Figures B.3 and B.4 show the actual measured temperature changes in the capacitors' central portions.

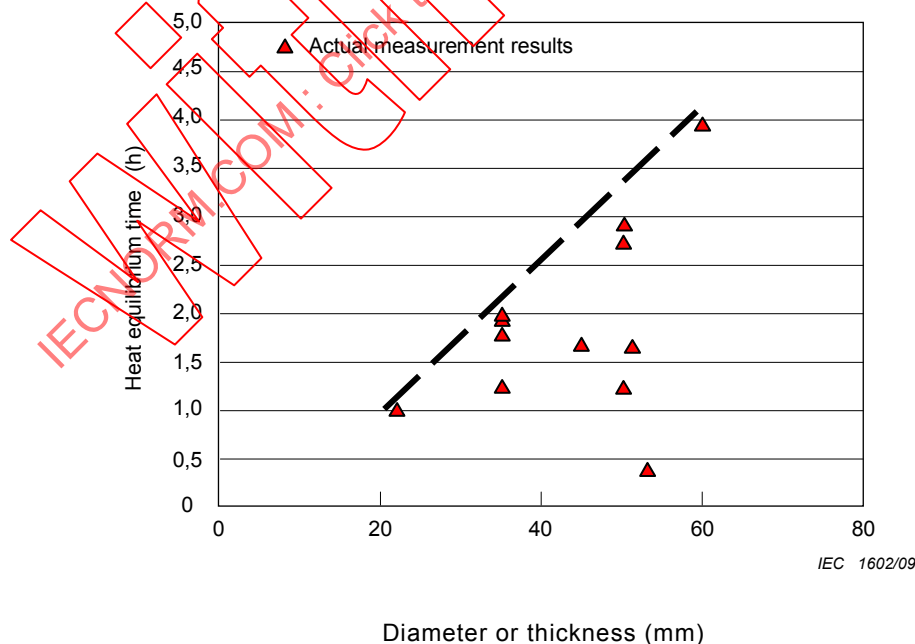
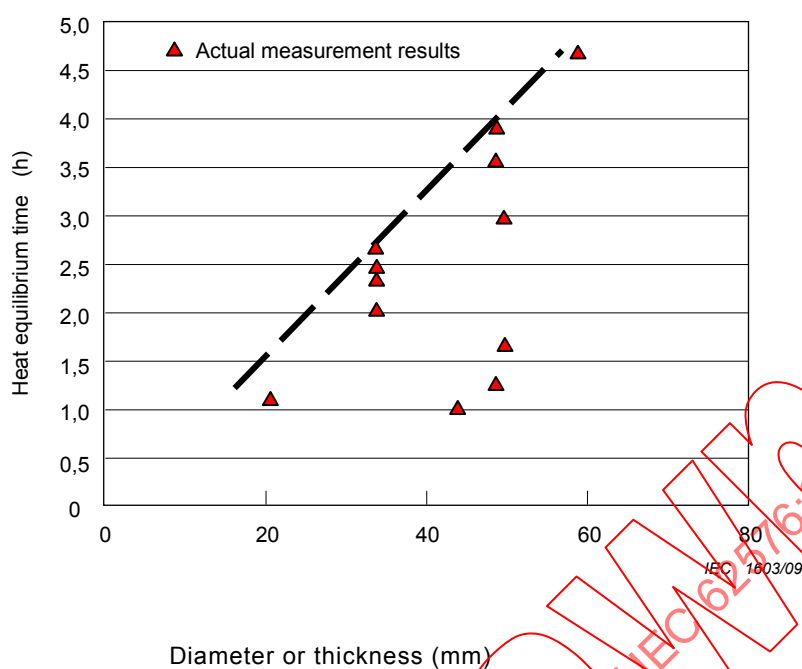
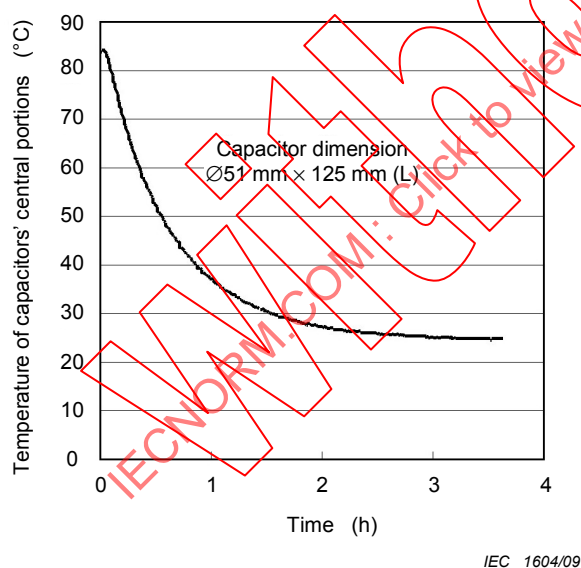


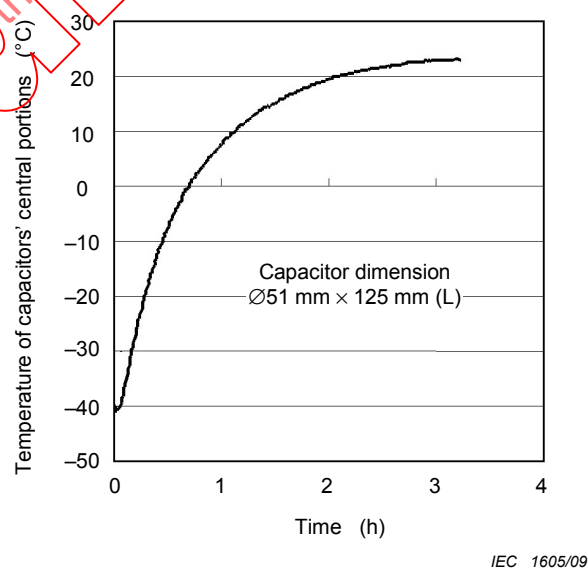
Figure B.1 – Heat equilibrium times of capacitors (85 °C→25 °C)



**Figure B.2 – Heat equilibrium times of capacitors ( $-40\text{ }^{\circ}\text{C} \rightarrow 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ )**



**Figure B.3 – Temperature changes of capacitors' central portions ( $85\text{ }^{\circ}\text{C} \rightarrow 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ )**



**Figure B.4 – Temperature changes of capacitors' central portions ( $-40\text{ }^{\circ}\text{C} \rightarrow 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ )**

## Annex C (informative)

### Charging/discharging efficiency and measurement current

#### C.1 General

This annex describes the general concept regarding the charging and discharging efficiency and measured current, which are provided 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 Equations (C.1), (C.2), and (C.3), respectively.

$$Q = It \quad (C.1)$$

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

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

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

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

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

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

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

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

$$Q = CU \quad (C.7)$$

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

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

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

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

Equations (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.

Withdrawing  
IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 62576:2009

## Annex D (informative)

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

#### D.1 General

This annex describes the current setting procedures provided in sections 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 4.1.4 and then calculate the internal resistance according to the description in 4.1.6.

NOTE 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  $\Delta U_s$  becomes greater than  $0,1U_R$ , follow procedures a)–c) with a smaller current and then perform the measurements. When the calculated internal resistance is a negative value, follow procedures a)–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 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<br>mΩ | Charging current<br>A | Discharging current<br>A | Calculated capacitance<br>F | Calculated internal resistance<br>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                                  |

## Bibliography

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

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

IEC 62391-2-1:2006, *Fixed electric double-layer capacitors for use in electronic equipment – Part 2-1: Blank detail specification – Electric double-layer capacitors for power application – Assessment level EZ* (available in English only)

Withdrawing  
IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 62576:2009

## SOMMAIRE

|                                                                                                                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| AVANT-PROPOS .....                                                                                                                                            | 28 |
| INTRODUCTION .....                                                                                                                                            | 30 |
| 1 Domaine d'application .....                                                                                                                                 | 31 |
| 2 Références normatives .....                                                                                                                                 | 31 |
| 3 Termes et définitions .....                                                                                                                                 | 31 |
| 4 Procédures d'essai et de mesure .....                                                                                                                       | 34 |
| 4.1 Capacité, résistance interne et puissance volumique maximale .....                                                                                        | 34 |
| 4.1.1 Circuit utilisé pour la mesure .....                                                                                                                    | 34 |
| 4.1.2 Équipement d'essai .....                                                                                                                                | 35 |
| 4.1.3 Mode opératoire de mesure .....                                                                                                                         | 35 |
| 4.1.4 Mesure .....                                                                                                                                            | 36 |
| 4.1.5 Méthode de calcul de la capacité .....                                                                                                                  | 36 |
| 4.1.6 Méthode de calcul de la résistance interne .....                                                                                                        | 36 |
| 4.1.7 Méthode de calcul de la puissance volumique maximale .....                                                                                              | 37 |
| 4.2 Caractéristiques de maintien de la tension .....                                                                                                          | 37 |
| 4.2.1 Circuit utilisé pour la mesure .....                                                                                                                    | 37 |
| 4.2.2 Équipement d'essai .....                                                                                                                                | 38 |
| 4.2.3 Modes opératoires de mesure .....                                                                                                                       | 39 |
| 4.2.4 Mesure .....                                                                                                                                            | 40 |
| 4.2.5 Calcul du taux de maintien de la tension .....                                                                                                          | 40 |
| 4.3 Rendement en énergie .....                                                                                                                                | 40 |
| 4.3.1 Circuit utilisé pour l'essai .....                                                                                                                      | 40 |
| 4.3.2 Équipement d'essai .....                                                                                                                                | 40 |
| 4.3.3 Modes opératoires de mesure .....                                                                                                                       | 41 |
| 4.3.4 Mesure .....                                                                                                                                            | 42 |
| 4.3.5 Calcul du rendement en énergie .....                                                                                                                    | 42 |
| Annexe A (informative) Essai d'endurance (application continue de la tension assignée à une température élevée) .....                                         | 43 |
| Annexe B (informative) Temps nécessaire aux condensateurs pour atteindre l'équilibre thermique .....                                                          | 45 |
| Annexe C (informative) Rendement de charge/décharge et courant mesuré .....                                                                                   | 48 |
| Annexe D (informative) Modes opératoires de réglage du courant de mesure du condensateur avec une résistance interne nominale incertaine .....                | 50 |
| Bibliographie .....                                                                                                                                           | 51 |
| Figure 1 – Circuit de base pour la mesure de la capacité, de la résistance interne et de la puissance volumique maximale .....                                | 34 |
| Figure 2 – Caractéristiques de tension par rapport au temps entre les bornes du condensateur, dans la mesure de la capacité et de la résistance interne ..... | 35 |
| Figure 3 – Circuit de base utilisé pour la mesure des caractéristiques de maintien de la tension .....                                                        | 38 |
| Figure 4 – Caractéristiques temporelles de la tension entre les bornes du condensateur dans l'essai de maintien de la tension .....                           | 39 |
| Figure 5 – Caractéristiques de tension par rapport au temps entre les bornes du condensateur dans l'essai de rendement de charge/décharge .....               | 41 |
| Figure B.1 – Temps d'équilibrage thermique des condensateurs (85 ° C → 25 ° C) .....                                                                          | 46 |

|                                                                                                                                                 |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure B.2 – Temps d'équilibrage thermique des condensateurs ( $-40^{\circ}\text{C} \rightarrow 25^{\circ}\text{C}$ ).....                      | 46 |
| Figure B.3 – Changements de température des parties centrales des condensateurs<br>( $85^{\circ}\text{C} \rightarrow 25^{\circ}\text{C}$ )..... | 47 |
| Figure B.4 – Changements de température des parties centrales des condensateurs ( $-40^{\circ}\text{C} \rightarrow 25^{\circ}\text{C}$ ).....   | 47 |
| Tableau D.1 – Exemples de réglages de courant appliqué pour la mesure du condensateur.....                                                      | 50 |

Withdrawing  
IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 62576:2009

## COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

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

## 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 n'a prévu aucune procédure de marquage valant indication d'approbation et n'engage pas sa responsabilité pour les équipements déclarés conformes à une de ses Publications.
- 6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.
- 7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à la CEI, à ses administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris ses experts particuliers et les membres de ses comités d'études et des Comités nationaux de la CEI, pour tout préjudice causé en cas de dommages corporels et matériels, ou de tout autre dommage de quelque nature que ce soit, directe ou indirecte, ou pour supporter les coûts (y compris les frais de justice) et les dépenses découlant de la publication ou de l'utilisation de cette Publication de la CEI ou de toute autre Publication de la CEI, ou au crédit qui lui est accordé.
- 8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.
- 9) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Publication de la CEI peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et de ne pas avoir signalé leur existence.

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

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

| CDV        | Rapport de vote |
|------------|-----------------|
| 69/158/CDV | 69/162/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.

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

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant la date de maintenance 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.

**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.**

Withdrawing  
IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 62576:2009

## INTRODUCTION

Le condensateur Électrique à double couche (EDLC) est un système de stockage d'énergie prometteur pour les Véhicules Électriques Hybrides (VEH), et des VEH équipés de EDLC ont commencé à être commercialisés dans le but d'améliorer l'économie de carburant grâce à la récupération des énergies. Bien qu'une série de normes sur les EDLC existe déjà (série IEC 62391), celle pour les VEH implique des schémas 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 seront utiles tant pour les constructeurs automobiles que pour les fournisseurs de condensateur pour accélérer le développement et la réduction des coûts de ces EDLC. En gardant cela à l'esprit, la présente norme a pour but de fournir des spécifications minimales et de base en termes de méthodes pour les essais des caractéristiques électriques, et créer un environnement favorable à l'expansion du marché des VEH et des EDLC 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 EDLC pour les VEH. En termes d'endurance qui est considérée comme importante dans l'utilisation pratique, la notion fondamentale uniquement est énoncée dans les annexes informatives.

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

## 1 Domaine d'application

La présente norme 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.

## 2 Références normatives

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

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

## 3 Termes et définitions

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

### 3.1

#### **température de référence**

température de référence (en °C) à utiliser dans l'essai

### 3.2

#### **température ambiante**

température ambiante de l'espace dans lequel le condensateur se trouve

### 3.3

#### **température de catégorie supérieure**

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

### 3.4

#### **température de catégorie inférieure**

température ambiante minimale en-deçà de laquelle le fonctionnement en continu d'un condensateur n'est pas prévu

### 3.5

#### **tension appliquée**

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

### 3.6

#### **tension assignée**

$U_R$

tension (V) de courant continu 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. Cette tension est la tension de réglage nominale du condensateur

NOTE L'essai d'endurance utilisant la tension assignée est décrit à l'Annexe A.

### 3.7

#### **courant de charge**

$I_c$

courant (A) requis pour charger un condensateur

### 3.8

#### **courant de décharge**

$I_d$

courant (A) requis pour décharger un condensateur

### 3.9

#### **énergie emmagasinée**

énergie (J) emmagasinée dans un condensateur

### 3.10

#### **énergie électrique accumulée pendant la charge**

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

### 3.11

#### **énergie électrique accumulée pendant la décharge**

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

### 3.12

#### **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

### 3.13

#### **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

### 3.14

#### **capacité**

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

### 3.15

#### **capacité nominale**

$C_N$

valeur de capacité nominale ( $C_N$ ) à utiliser lors de la conception et de l'établissement des conditions de mesure (F), en général à la température de référence

### 3.16

#### **résistance interne**

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

### 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 ( $\Omega$ ), en général à la température de référence

**3.18****charge à tension constante**

mode de mise en charge d'un condensateur à une tension spécifiée continue

**3.19****préconditionnement**

décharge et entreposage d'un condensateur dans des conditions ambiantes spécifiées (température, humidité et pression) avant l'essai

NOTE En règle générale, le preconditionnement suppose que le condensateur soit déchargé et entreposé jusqu'à ce que sa température interne ait atteint l'équilibre thermique avec la température ambiante, avant de mesurer ses caractéristiques électriques.

**3.20****traitement par application de tension**

application de tension avant mesure des caractéristiques électriques d'un condensateur

NOTE En règle générale, ce traitement est appliqué à un condensateur qui a été entreposé pendant une longue période ou à un condensateur dont l'historique n'est pas clair.

**3.21****post-traitement (rétablissement)**

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

NOTE En règle générale, le post-traitement suppose que le condensateur soit déchargé et entreposé jusqu'à ce que sa température interne ait atteint l'équilibre thermique avec la température ambiante, avant de mesurer ses caractéristiques électriques.

**3.22****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. Cette valeur est calculée à partir de la résistance interne d'un condensateur

NOTE Voir l'Équation C.8 à l'Annexe C.

**3.23****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. Cette valeur est calculée à partir de la résistance interne d'un condensateur

NOTE Voir l'Équation C.10 à l'Annexe C.

**3.24****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

**3.25****caractéristiques de maintien de la tension**

caractéristiques de maintien de la tension d'un condensateur lorsque ses bornes sont ouvertes après la mise en charge

**3.26****taux de maintien de la tension**

rapport entre la tension aux bornes ouvertes et la tension de charge après une période de temps spécifiée consécutive à la mise en charge d'un condensateur

### 3.27

#### puissance volumique

énergie électrique par unité de masse (W/kg) ou par unité de volume (W/l) pouvant être récupérée à partir d'un condensateur chargé

### 3.28

#### puissance volumique assignée

puissance volumique maximale spécifiée (W/kg ou W/l). En règle générale, elle est calculée en utilisant la résistance interne nominale et la tension assignée

### 3.29

#### puissance volumique maximale

$P_{dm}$

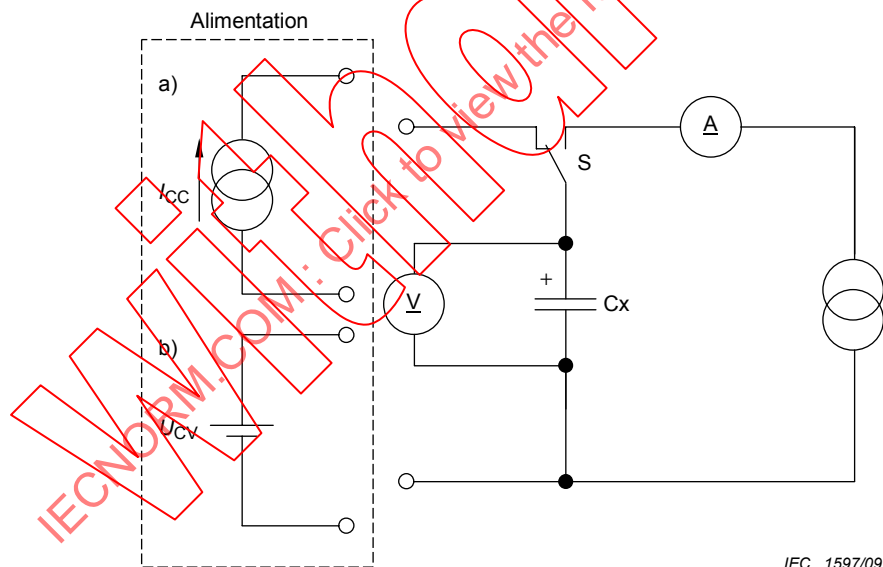
puissance volumique maximale (W/kg ou W/l) pouvant être récupérée à partir d'un condensateur chargé. En règle générale, elle est calculée en utilisant la résistance interne et la tension assignée

## 4 Procédures d'essai et de mesure

### 4.1 Capacité, résistance interne et puissance volumique maximale

#### 4.1.1 Circuit utilisé pour la mesure

La capacité et la résistance interne doivent être mesurées en utilisant les modes de charge et de décharge à courant constant. La Figure 1 montre le circuit de base utilisé pour la mesure.



IEC 1597/09

#### Légende

$I_{CC}$  alimentation stabilisée en courant

$U_{CV}$  alimentation stabilisée en tension

(A) ampèremètre c.c.

(V) voltmètre enregistreur c.c.

S commutateur

$C_x$  condensateur soumis à essai

(⊖) déchargeur à courant constant

a) charge à courant constant

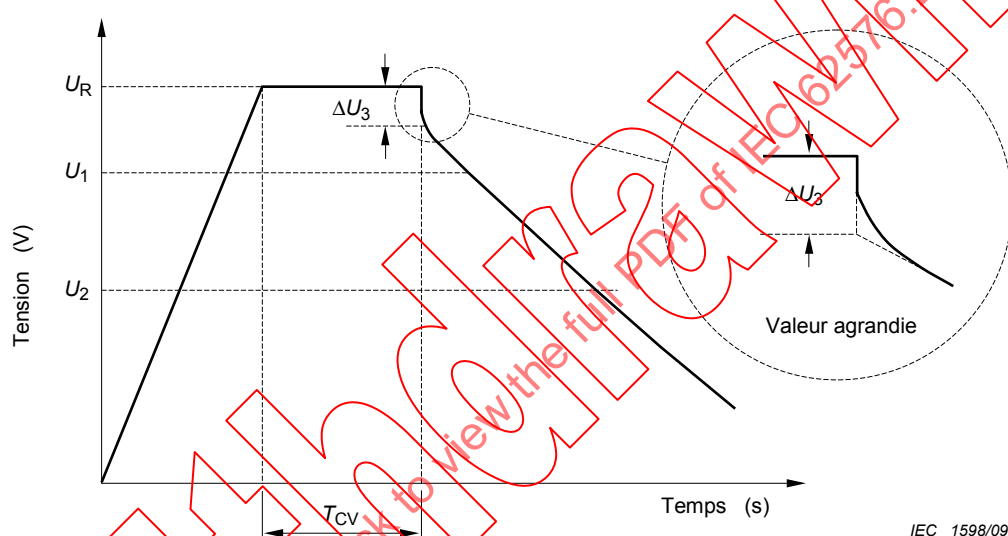
b) charge à tension constante

**Figure 1 – Circuit de base pour la mesure 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 la mesure en continu du courant et de la tension entre les bornes du condensateur, en série chronologique, comme illustré dans la Figure 2. L'équipement d'essai doit être capable de régler et de mesurer le courant et la tension avec une précision inférieure ou égale à  $\pm 1\%$ .

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



IEC 1598/09

#### Légende

|              |                                         |
|--------------|-----------------------------------------|
| $U_R$        | tension assignée (V)                    |
| $U_1$        | tension de début de calcul (V)          |
| $U_2$        | tension de fin de calcul (V)            |
| $\Delta U_3$ | 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, dans la mesure de la capacité et de la résistance interne**

#### 4.1.3 Mode opératoire de mesure

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

##### a) Préconditionnement

Avant de procéder à la mesure, les condensateurs doivent être complètement déchargés, puis placés en étuve pendant 2 h à 6 h à la température de référence, réglée à  $25\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ , comme spécifié au 5.2 de la CEI 60068-1, ou à celle spécifiée par les normes connexes.

NOTE 1 Le temps nécessaire pour atteindre l'équilibre thermique, qui sert de référence pour le temps d'exposition à la température de référence, est décrit à l'Annexe B.

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  $I_c = U_R / 38 R_N$ .

NOTE 2 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 la mesure peut être réglé conformément aux procédures recommandées décrites à l'Annexe D.

- 2) Régler la tension maximale pour la charge à courant constant à la tension assignée  $U_R$ .
- 3) Régler le temps 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 au moyen de l'équation  $I_d = U_R / 40 R_N$ .
- 5) Régler l'intervalle d'échantillonnage à 100 ms ou moins, et régler l'équipement d'essai de façon à mesurer les caractéristiques de chute de tension jusqu'à  $0,5 U_R$ .

#### 4.1.4 Mesure

Après les réglages ci-dessus, les caractéristiques de tension par rapport au temps entre les bornes du condensateur, telles qu'illustrées à la Figure 2, doivent être mesurées.

#### 4.1.5 Méthode de calcul de la capacité

La capacité  $C$  doit être calculée à l'aide de l'Équation (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».

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

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 (V) assignée.

#### 4.1.6 Méthode de calcul de la résistance interne

La résistance interne  $R$  doit être calculée à l'aide de l'Équation (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 ( $\Omega$ ) interne du condensateur;

$I_d$  est le courant de décharge (A).

$\Delta U_3$  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.  $\Delta U_3$  est la différence de tensions (V) entre l'ordonnée à l'origine (valeur de la tension) et la valeur de charge à tension constante réglée.

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

#### 4.1.7 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 4.1.6 et l'Équation (3).

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

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

où

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

$U_R$  est la tension assignée (V);

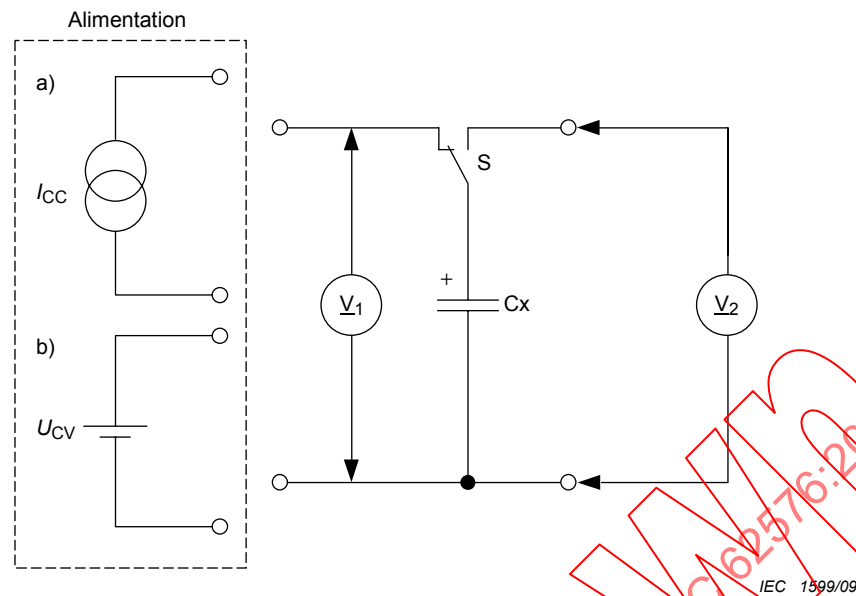
$R$  est la résistance interne calculée ( $\Omega$ );

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

## 4.2 Caractéristiques de maintien de la tension

### 4.2.1 Circuit utilisé pour la mesure

La Figure 3 montre le circuit de base utilisé pour la mesure des caractéristiques de maintien de la tension.



#### Légende

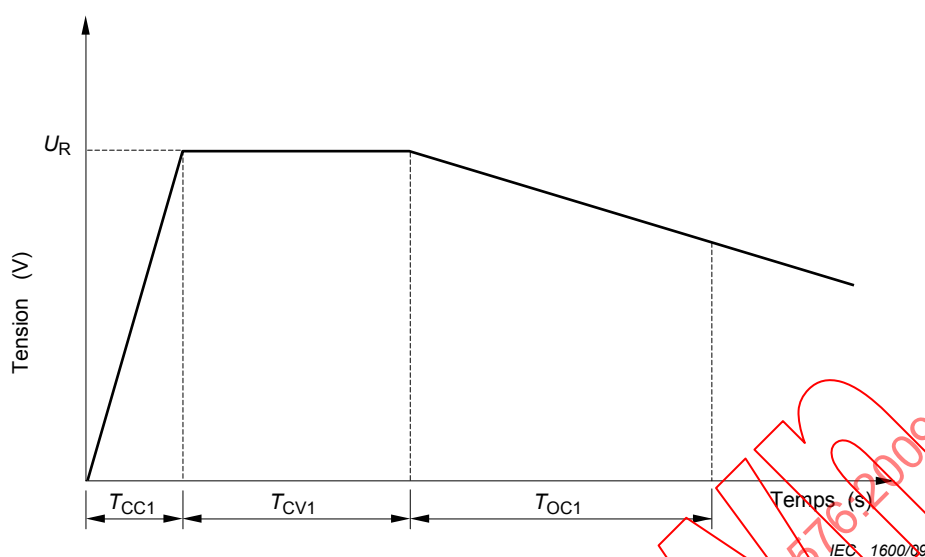
|             |                                    |
|-------------|------------------------------------|
| $I_{CC}$    | alimentation stabilisée en courant |
| $U_{CV}$    | alimentation stabilisée en tension |
| $V_1$ $V_2$ | voltmètre c.c.                     |
| S           | commutateur                        |
| Cx          | condensateur soumis à essai        |
| a)          | charge à courant constant          |
| b)          | charge à tension constante         |

**Figure 3 – Circuit de base utilisé pour la mesure 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 la mesure en continu de la tension entre les bornes du condensateur, en séries chronologiques, comme illustré dans 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 le temps de charge à tension constante. L'équipement d'essai doit être capable de régler et mesurer le courant et la tension avec une précision inférieure ou égale à  $\pm 1$  %.

Les voltmètres enregistreurs c.c.  $V_1$  et  $V_2$  doivent avoir une résolution de 5 mV ou moins pour la mesure 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)
- $T_{CC1}$  temps de charge avec un rendement de 95 % (s)
- $T_{CV1}$  temps de charge à tension constante (s)
- $T_{OC1}$  temps de mesure (h)

**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 mesures doivent être effectuées conformément aux modes opératoires suivants, en utilisant l'équipement d'essai spécifié en 4.2.2.

##### a) Préconditionnement

Avant la mesure, les condensateurs doivent être complètement déchargés, puis placés en étuve pendant 2 h à 6 h à la température de référence, réglée à  $25\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ , comme spécifié au 5.2 de la CEI 60068-1, ou à celle spécifiée par les normes connexes.

NOTE 1 Le temps nécessaire pour atteindre l'équilibre thermique, qui sert de référence au temps d'exposition à la température de référence, est décrit à l'Annexe B.

##### 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 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  $I_c = U_R / 38R_N$ .

NOTE 2 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 la mesure peut être réglé conformément aux procédures recommandées décrites à l'Annexe D.

- 2) Régler la tension maximale pour la charge à courant constant à la tension assignée  $U_R$ .

- 3) Régler le temps de charge à tension constante  $T_{CV1}$  à 300 s.
- 4) Une fois écoulé le temps de charge spécifié, ouvrir les bornes du condensateur.

#### 4.2.4 Mesure

Une fois les réglages ci-dessus effectués, mesurer la tension entre les bornes du condensateur lorsque  $T_{OC1}$  illustré à la Figure 4 est égal à 72 h.

#### 4.2.5 Calcul du taux de maintien de la tension

Le taux de maintien de la tension  $A$  est calculé par l'Équation (4).

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

où

- $A$  est le taux de maintien de la tension (%);  
 $U_{fin}$  est la tension entre les bornes ouvertes du condensateur après 72 h ( $T_{OC1}$ );  
 $U_R$  est la tension (V) assignée.

### 4.3 Rendement en énergie

#### 4.3.1 Circuit utilisé pour l'essai

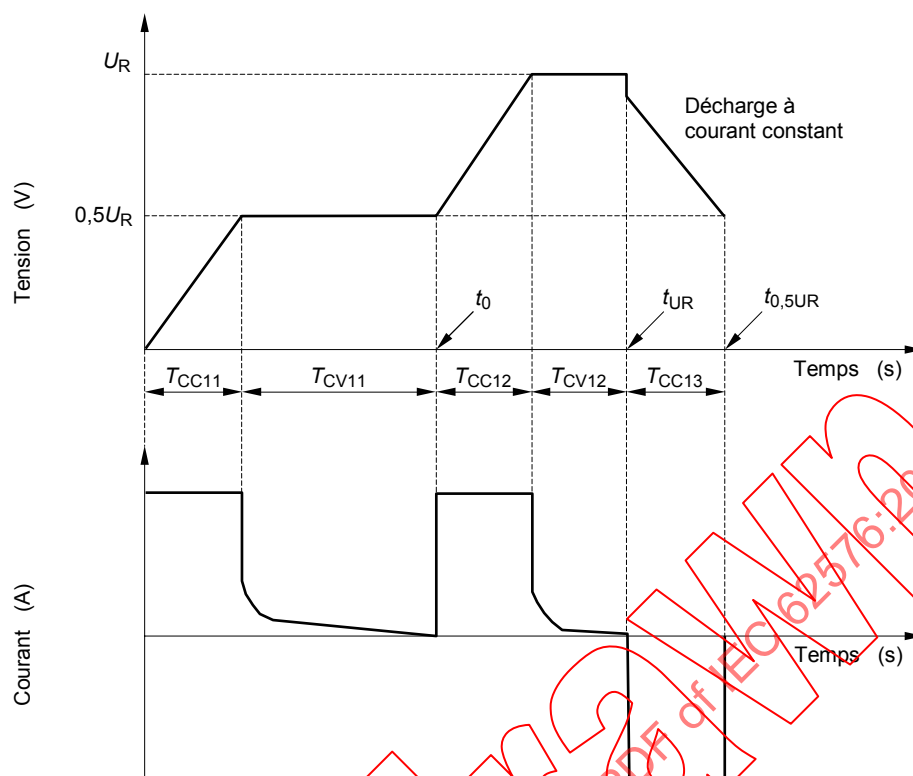
L'essai de rendement en énergie doit être effectué lors de la charge et de la décharge à courant constant. La Figure 1 présente le circuit de base requis pour cet essai.

#### 4.3.2 Équipement d'essai

L'équipement d'essai doit être tel que spécifié en 4.1.2.

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 la mesure en continu du courant et de la tension entre les bornes du condensateur, en séries chronologiques, comme illustré dans la Figure 5. L'équipement d'essai doit être capable de régler et mesurer le courant et la tension avec une précision inférieure ou égale à  $\pm 1$  %.

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



IEC 1601/09

### Légende

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

**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 mesures doivent être effectuées conformément aux modes opératoires suivants, en utilisant l'équipement d'essai spécifié en 4.3.2.

#### a) Préconditionnement

Avant la mesure, les condensateurs doivent être complètement déchargés, puis placés en étuve pendant 2 h à 6 h à la température de référence, réglée à  $25\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ , comme spécifié au 5.2 de la CEI 60068-1, ou à celle spécifiée par les normes connexes.

NOTE 1 Le temps nécessaire à l'équilibrage thermique, qui sert de référence au temps d'exposition à la température de référence, est décrit à l'Annexe B.

#### 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  $I_c = U_R / 38 R_N$ .

NOTE 2 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 la mesure peut être réglé conformément aux procédures recommandées décrites à l'Annexe D.

- 2) Régler le temps de charge à tension constante  $T_{CV11}$  jusqu'à  $0,5 U_R$  à 300 s, puis  $T_{CV12}$  jusqu'à  $U_R$  à 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 au moyen de l'équation  $I_d = U_R / 40 R_N$ .

NOTE 3 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 la mesure peut être réglé conformément aux procédures recommandées décrites à l'Annexe D.

- 4) La décharge peut être considérée comme complète lorsque la tension entre les bornes du condensateur atteint  $0,5 U_R$ .

#### 4.3.4 Mesure

Une fois l'équipement d'essai configuré conformément à la description ci-dessus, procéder à l'essai des valeurs suivantes, en respectant cet ordre: mise en charge à courant constant jusqu'à  $0,5 U_R$ , mise en charge à tension constante à  $0,5 U_R$ , mise en charge à courant constant jusqu'à  $U_R$ , mise en charge à tension constante à  $U_R$  et décharge à courant constant jusqu'à  $0,5 U_R$ . Obtenir la valeur de l'énergie électrique accumulée pendant la charge à partir de la tension  $0,5 U_R$  (pendant  $T_{CC12}$  et  $T_{CV12}$ ) et la valeur de l'énergie électrique accumulée pendant la décharge, pour le temps de décharge  $T_{CC13}$ .

#### 4.3.5 Calcul du rendement en énergie

Le rendement en énergie  $E_f$  peut être obtenu en appliquant l'Équation (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  $T_{CC13}$ ;

$W_d$  peut être obtenue en appliquant l'Equation (6) :

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

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

$W_c$  peut être obtenue en appliquant l'Equation (7).

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