

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

Lithium ion capacitors for use in electric and electronic equipment – Test methods for electrical characteristics

Condensateurs au lithium-ion destinés à être utilisés dans les équipements électriques et électroniques – Méthodes d'essai relatives aux caractéristiques électriques

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62813:2015



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2015 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
Fax: +41 22 919 03 00
info@iec.ch
www.iec.ch

About the IEC

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

About IEC publications

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

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 - www.iec.ch/searchpub

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 more than 30 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in 15 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

IEC Glossary - std.iec.ch/glossary

More than 60 000 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: csc@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 - www.iec.ch/searchpub

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 plus de 30 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 15 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

Glossaire IEC - std.iec.ch/glossary

Plus de 60 000 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: csc@iec.ch.

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

Lithium ion capacitors for use in electric and electronic equipment – Test methods for electrical characteristics

Condensateurs au lithium-ion destinés à être utilisés dans les équipements électriques et électroniques – Méthodes d'essai relatives aux caractéristiques électriques

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 31.060.99

ISBN 978-2-8322-2196-9

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.....	3
1 Scope.....	5
2 Normative references.....	5
3 Terms and definitions	5
4 Test methods.....	7
4.1 Test requirements	7
4.1.1 Standard atmospheric conditions for tests	7
4.1.2 Standard atmospheric conditions for measurements	8
4.1.3 Pre-conditioning.....	8
4.2 Measurement.....	8
4.2.1 Capacitance, discharge accumulated electric energy, and internal resistance	8
4.2.2 Measurement for voltage maintenance rate.....	11
4.3 Calculation.....	12
4.3.1 Calculation of capacitance and discharge accumulated electric energy.....	12
4.3.2 Calculation of internal resistance.....	13
4.3.3 Calculation of voltage maintenance rate	13
Annex A (informative) Endurance test (continuous application of rated voltage at high temperature).....	14
A.1 General.....	14
A.2 Test procedure.....	14
A.2.1 Test conditions	14
A.2.2 Test procedure.....	14
A.2.3 Requirements	14
Annex B (informative) Calculation of the measuring currents based on the propagated error	15
B.1 General.....	15
B.2 Measurement propagated error and measuring currents.....	15
Annex C (informative) Procedures for defining the measuring current of LIC with uncertain nominal internal resistance	17
C.1 General.....	17
C.2 Defining procedures of measuring current for LIC	17
Bibliography.....	18
Figure 1 – Basic circuit for measuring capacitance, discharge accumulated electric energy, and internal resistance	9
Figure 2 – Voltage profile for measuring capacitance, discharge accumulated electric energy, and internal resistance	10
Figure 3 – Basic circuit for measuring the voltage maintenance rate	11
Figure 4 – Voltage profile for measuring voltage maintenance rate.....	12
Figure C.1 – Flowchart of current setting procedures	17

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**LITHIUM ION CAPACITORS FOR USE
IN ELECTRIC AND ELECTRONIC EQUIPMENT –
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 62813 has been prepared by IEC technical committee 40: Capacitors and resistors for electronic equipment.

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

FDIS	Report on voting
40/2322/FDIS	40/2341/RVD

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

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

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until the stability date indicated on the IEC 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.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62813:2015

LITHIUM ION CAPACITORS FOR USE IN ELECTRIC AND ELECTRONIC EQUIPMENT – TEST METHODS FOR ELECTRICAL CHARACTERISTICS

1 Scope

This International Standard specifies the electrical characteristics (capacitance, internal resistance, discharge accumulated electric energy, and voltage maintenance rate) test methods of lithium ion capacitors (LIC) for use in electric and electronic equipment.

2 Normative references

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

IEC 60068-1:2013, *Environmental testing – Part 1: General and guidance*

3 Terms and definitions

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

NOTE The terms printed in italics are those which are defined in this Clause 3.

3.1

upper category temperature

highest ambient temperature that a LIC is designed to operate continuously

[SOURCE: IEC 62576:2009, 3.3, modified]

3.2

rated voltage

U_R

maximum direct current (d.c.) voltage that may be applied continuously for a certain time under the *upper category temperature* (3.1) to a LIC so that it can exhibit specified demand characteristics

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

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

[SOURCE: IEC 62576:2009, 3.6, modified]

3.3

rated lower limit voltage

U_L

minimum d.c. voltage such that a LIC can exhibit specified demand characteristics

Note 1 to entry: The rated lower limit voltage is designated by manufacturer.

3.4

charging current

current required to charge a LIC

3.5

discharging current

current required to discharge a LIC

3.6

discharge accumulated electric energy

amount of discharged energy of a LIC accumulated from the *discharge start time* (3.7) to the *time to reach rated lower limit voltage* (3.10)

3.7

discharge start time

T_0

time when discharge of a LIC starts

Note 1 to entry: It is the basis time for the *calculation start time* (3.8) and the *time to reach rated lower limit voltage* (3.10).

3.8

calculation start time

T_1

time at a selected start point used to calculate the *capacitance* (3.12) and the *internal resistance* (3.14) during discharge of a LIC

Note 1 to entry: The calculation start time is expressed as elapsed time since the *discharge start time* (3.7).

3.9

calculation end time

T_2

time at a selected end point used to calculate the *capacitance* (3.12) and the *internal resistance* (3.14) during discharge of a LIC

Note 1 to entry: The calculation end time is expressed as elapsed time since the *discharge start time* (3.7).

3.10

time to reach rated lower limit voltage

T_L

time when the voltage reaches the *rated lower limit voltage* (3.3) during discharge of a LIC

Note 1 to entry: The time to reach rated lower limit voltage is expressed as elapsed time since the *discharge start time* (3.7).

3.11

instant drop voltage at discharge

U_0

voltage at the *discharge start time* (3.7) of a least-squares regression line over the time period from the *calculation start time* (3.8) to the *calculation end time* (3.9) for the voltage drop characteristic of a LIC during discharge

3.12

capacitance

ability of a LIC to store electrical charge

[SOURCE: IEC 62576:2009, 3.14, modified]

3.13

nominal capacitance

C_N

capacitance value designated by manufacturer, usually indicated on a LIC

[SOURCE: IEC 62576:2009, 3.15, modified]

3.14**internal resistance**

resistance component expressed in the equivalent series circuit of capacitance and resistance of a LIC

[SOURCE: IEC 62391-1:2006, 2.2.20, modified]

3.15**nominal internal resistance** R_N

internal resistance value designated by manufacturer, usually indicated on a LIC

[SOURCE: IEC 62576:2009, 3.17, modified]

3.16**constant voltage charging**

method of charging a LIC at specified constant voltage

[SOURCE: IEC 62576:2009, 3.18, modified]

3.17**constant current charging**

method of charging a LIC with specified constant current

3.18**constant current discharging**

method of discharging a LIC with specified constant current

3.19**pre-conditioning**

charge, discharge, and storage of a LIC under specified atmospheric conditions (temperature, humidity, and air pressure) before tests

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

[SOURCE: IEC 62576:2009, 3.19, modified]

3.20**voltage maintenance rate** A

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

[SOURCE: IEC 62576:2009, 3.26, modified]

4 Test methods**4.1 Test requirements****4.1.1 Standard atmospheric conditions for tests**

Unless otherwise specified in the detail specification, all tests shall be made under standard atmospheric conditions for tests as given in IEC 60068-1:2013, 4.3:

- temperature: 15 °C to 35 °C;
- relative humidity: 25% to 75 %;

- air pressure: 86 kPa to 106 kPa.

If any question about determining measurement value arises under the atmospheric conditions or if it is requested, 4.1.2 is applied.

If it is difficult to perform measurements under the standard atmospheric conditions and if no question about determining measurement value arises, tests and measurements may be performed under other conditions than the standard atmospheric conditions.

4.1.2 Standard atmospheric conditions for measurements

Unless otherwise specified in the detail specification, all measurements shall be made under standard atmospheric conditions for measurements as given in IEC 60068-1:2013, 4.2, with the following details:

- temperature: $25\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$;
- relative humidity: 45 % to 55 %;
- air pressure: 86 kPa to 106 kPa.

4.1.3 Pre-conditioning

Unless otherwise specified in the detail specification, the LIC shall be charged with a constant current and constant voltage power supply, the voltage of which is set to the rated voltage, for 30 min then discharged to the lower limit voltage with a proper discharging device.

4.2 Measurement

4.2.1 Capacitance, discharge accumulated electric energy, and internal resistance

4.2.1.1 Test equipment

The test equipment shall be capable of constant current charging, constant voltage charging, and constant current discharging with current specified in 4.2.1.2, and continuous measurement of current and voltage at specified sampling interval. The basic circuit is shown in Figure 1.

a) D.C. power supply

The d.c. power supply shall be capable of charging the LIC at specified constant current and specified constant voltage for specified duration.

b) Constant current load

The constant current load shall be capable of discharging the LIC at specified constant current and its current rise time at discharge start shall be 50 ms or less.

c) D.C. voltage recorder

The d.c. voltage recorder shall be capable of conducting measurements and recording with 1 mV resolution and sampling interval of 100 ms.

d) Changeover switch

The changeover switch shall not cause chattering which may affect the result of voltage-time recording.

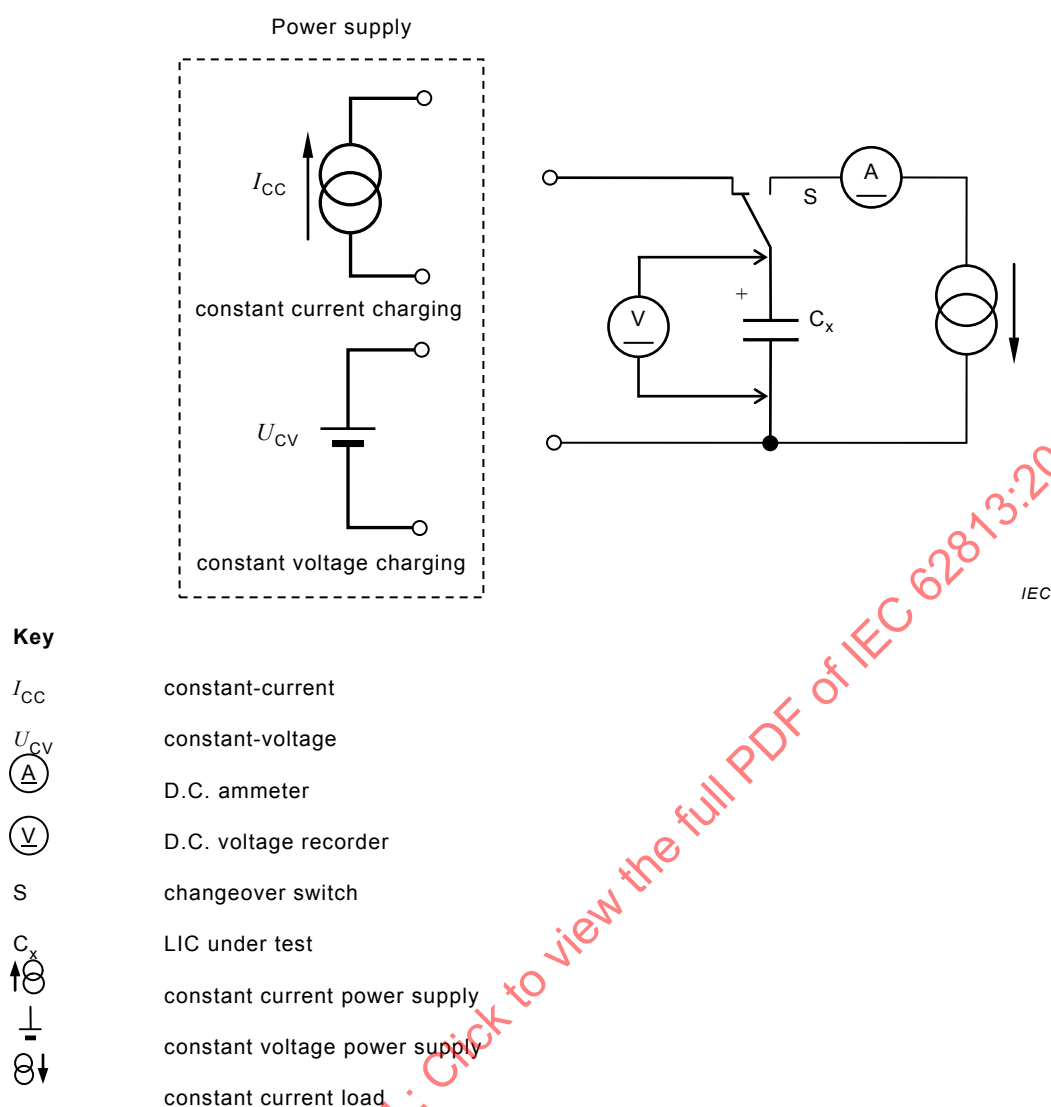


Figure 1 – Basic circuit for measuring capacitance, discharge accumulated electric energy, and internal resistance

4.2.1.2 Measurement procedure and conditions

The measurement procedure and conditions shall be as follows. The voltage profile between the LIC terminals in the measurement shall be as shown in Figure 2.

a) Before setting sample

The LIC shall be left in the standard atmospheric condition as defined in 4.1.1 for 2 h to 6 h.

b) Sample setting

Connect the LIC terminals to the circuit.

c) Constant current charging

Charge the LIC to the rated voltage U_R with d.c. power supply specified in 4.2.1.1 and with specified current I calculated by Formula (1).

$$I = \frac{1}{30R_N} \sqrt{1 + \frac{27}{5C_N R_N + 1} - \frac{26}{10C_N R_N + 1}} \quad (1)$$

where

I is the charging current (A). It is also used to specify the discharging current;

R_N is the nominal internal resistance of the LIC under test (Ω);

C_N is the nominal capacitance of the LIC under test (F).

NOTE The current calculated by Formula (1) is assumed as the current by which the resultant measurement error of the internal resistance is limited within $\pm 3\%$ (see Annex B). When the nominal value of internal resistance is uncertain, the current for the measurement can be set according to the advisable procedures described in Annex C.

d) Constant voltage charging

When voltage between the LIC terminals is reached to the rated voltage U_R , switch to constant voltage charging then apply the rated voltage U_R for 30 min.

e) Constant current discharging

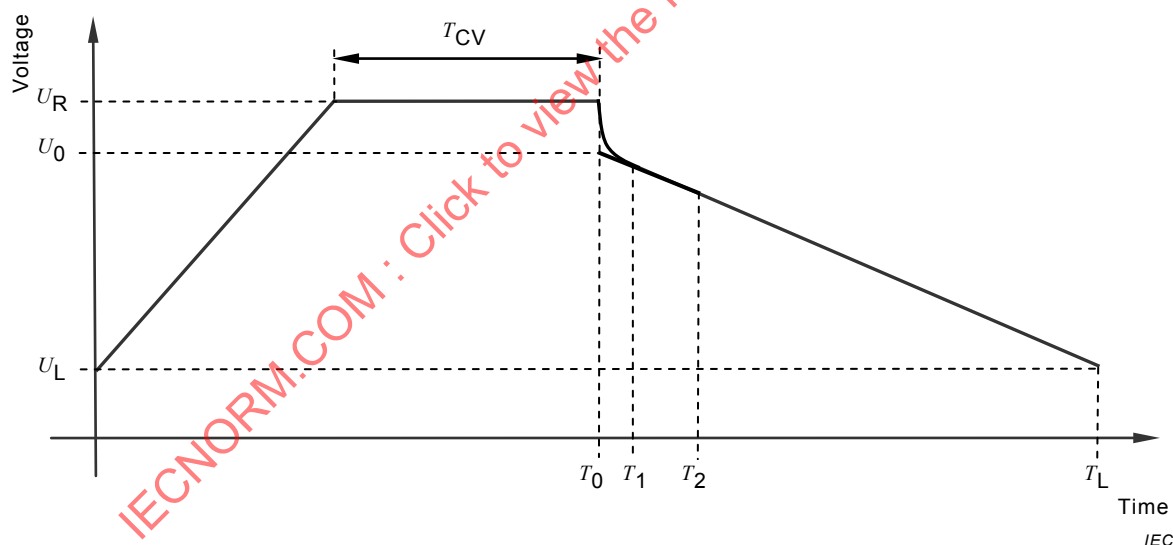
Turn changeover switch from the power supply to the constant current load and discharge with the specified constant current as follows:

- 1) For internal resistance measurement, set the discharge current: I calculated by Formula (1);
- 2) For discharge accumulated electric energy and capacitance measurement, set the discharge current: tenth of I calculated by Formula (1).

f) Test, measurement and recording

Measure and record the voltage-time characteristics between the LIC terminals

- 1) Sampling and recording interval shall be set to 100 ms.
- 2) Sampling and recording shall be conducted continuously from charge start time to the time to reach rated lower limit voltage U_L .



Key

- | | |
|----------|---|
| T_0 | discharge start time (s) |
| T_1 | calculation start time, which is set to $C_N R_N$ (s) |
| T_2 | calculation end time, which is set to $2 C_N R_N$ (s) |
| T_L | time to reach rated lower limit voltage (s) |
| T_{CV} | duration of constant voltage charging (s) |
| U_R | rated voltage (V) |
| U_L | rated lower limit voltage (V) |
| U_0 | instant drop voltage at discharge (V) |

Figure 2 – Voltage profile for measuring capacitance, discharge accumulated electric energy, and internal resistance

4.2.2 Measurement for voltage maintenance rate

4.2.2.1 Test equipment

The basic circuit is shown in Figure 3. The d.c. voltmeters V_1 and V_2 shall have a resolution of 5 mV or less for voltage measurement. The input impedance shall be sufficiently high so that measurement errors are negligible.

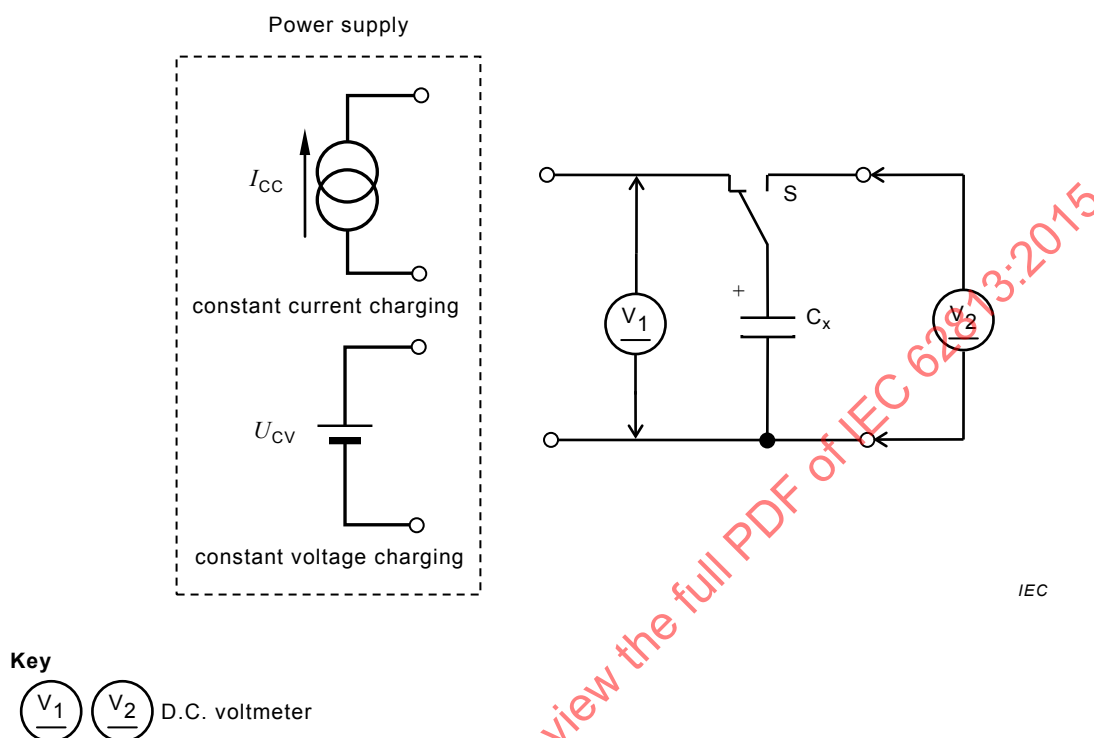


Figure 3 – Basic circuit for measuring the voltage maintenance rate

4.2.2.2 Measurement procedure and conditions

The measurement procedure and conditions shall be as follows. The voltage profile between the LIC terminals in the measurement shall be as shown in Figure 4.

a) Before setting sample

The LIC shall be left in the standard atmospheric condition as defined in 4.1.1 for 2 h to 6 h.

b) Sample setting

Connect the LIC terminals to the circuit.

c) Constant current charging

Charge the LIC to the rated voltage U_R with d.c. power supply specified in 4.2.1.1 and with specified current I calculated by Formula (1).

d) Constant voltage charging

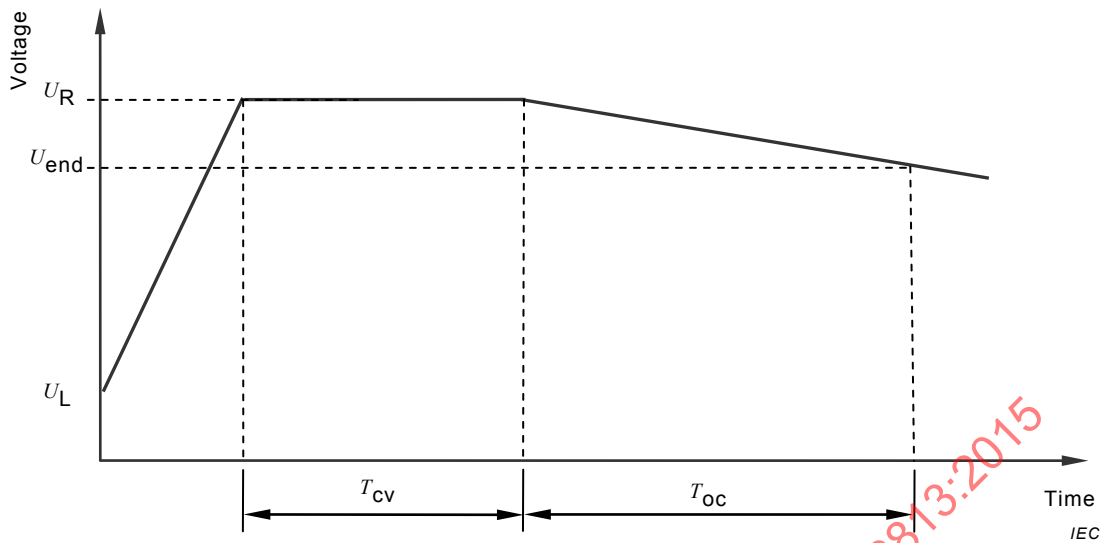
When voltage between the LIC terminals is reached to the rated voltage U_R , switch to the constant voltage charging then apply the rated voltage U_R for 24 h.

e) Terminal opening

Disconnect the LIC terminals from the circuit.

f) Measurement

Measure voltage between the LIC terminals when T_{OC} is 72 h (see Figure 4).



Key

T_{oc} duration of measurement, which is set to 72 h (h)

U_{end} voltage between the LIC terminals at T_{oc} (V)

Figure 4 – Voltage profile for measuring voltage maintenance rate

4.3 Calculation

4.3.1 Calculation of capacitance and discharge accumulated electric energy

The capacitance and the discharge accumulated electric energy are calculated by using the energy conversion method described in a). When agreed between manufacturer and customer, simplified method described in b) can be used instead.

a) Calculation of capacitance and accumulated electric energy by energy conversion method

The capacitance C_x shall be calculated by Formula (2) and the discharge accumulated electric energy W shall be calculated by Formula (3) (see Figure 2).

$$C_x = \frac{2W}{U_0^2 - U_L^2} \quad (2)$$

$$W = \frac{I}{200} \sum_{k=0}^{n-1} (V_{k+1} + V_k) \quad (3)$$

where

C_x is the capacitance (F) of the LIC;

W is the discharge accumulated electric energy, which is time integral of the electric power on all sampling points from discharge start sampling point ($k = 0$) to discharge end sampling point ($k = n$);

V_k is the measured voltage at sampling point k (V).

The discharge accumulated electric energy represented in watt-hour notation is calculated by dividing W by 3 600.

b) Calculation of capacitance and accumulated electric energy by simplified method

The capacitance C_x shall be calculated by Formula (4) and the discharge accumulated electric energy W shall be calculated by Formula (5) (see Figure 2).

$$C_x = \frac{I(T_L - T_0)}{10(U_0 - U_L)} \quad (4)$$

$$W = \frac{C_x(U_0^2 - U_L^2)}{2} \quad (5)$$

The discharge accumulated electric energy represented in watt-hour notation is calculated by dividing W by 3 600.

4.3.2 Calculation of internal resistance

The internal resistance R_x is calculated by Formula (6) (see Figure 2).

$$R_x = \frac{U_R - U_0}{I} \quad (6)$$

where

R_x is the internal resistance (Ω) of the LIC.

4.3.3 Calculation of voltage maintenance rate

The voltage maintenance rate A is calculated by Formula (7) (see Figure 4).

$$A = \frac{U_{\text{end}}}{U_R} \times 100 \quad (7)$$

where

A is the voltage maintenance rate (%) of the LIC.

Annex A (informative)

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

A.1 General

This Annex A describes the endurance test for continuous application of rated voltage at high temperature to determine the rated voltage defined in 3.2.

A.2 Test procedure

A.2.1 Test conditions

Unless otherwise given in the relevant specification, the test conditions should be as follows:

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

A.2.2 Test procedure

The test procedure should be as follows.

a) Initial measurements

Measure and calculate capacitance and internal resistance by the measurement procedure described in 4.2.1 and the calculation method described in 4.3.1 and 4.3.2.

b) Testing

Place the LIC in a chamber at the upper category temperature and charge it up to the rated voltage with current calculated by Formula (1) then keep the voltage for specified duration.

c) Final measurements

Measure and calculate capacitance and internal resistance as described in a). The rates of change can be obtained in comparison to their initially measured values.

A.2.3 Requirements

Unless otherwise agreed between manufacturer and customer, the capacitance change ΔC and internal resistance change ΔR should meet 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.

Annex B (informative)

Calculation of the measuring currents based on the propagated error

B.1 General

This Annex B describes the calculation of the measuring currents provided in 4.2.1.2, Formula (1).

B.2 Measurement propagated error and measuring currents

The internal resistance R is calculated from Formula (B.1).

$$R = \frac{(U_R - U_0)}{I} \quad (\text{B.1})$$

From the formula of propagated error, the relative error of R is expressed as follows.

$$\left(\frac{\delta R}{R} \right)^2 = \frac{\delta U_R^2 + \delta U_0^2}{(U_R - U_0)^2} + \left(\frac{\delta I}{I} \right)^2 \quad (\text{B.2})$$

$\delta I / I$ is small enough to be ignorable. When the measuring voltage corresponding to explanatory variable t_i at each sampling point is random variable, U_0 is expressed as follows from the formula of propagated error of least-square method as follows.

$$\delta U_0 = \delta U \sqrt{\frac{\sum t_i^2}{N \sum t_i^2 - (\sum t_i)^2}} \quad (\text{B.3})$$

N is a number of sampling points. The voltage measurement errors at each sampling point are assumed to be equal to δU at each sampling point. And δU_R is also assumed to be equal to δU .

When Δt is the sampling interval, the following formula applies:

$$t_i = (T_1 - \Delta t) + i\Delta t \quad (\text{B.4})$$

Assigning this to Formula (B.3) gives:

$$\delta U_0 = \delta U \sqrt{\frac{1}{N} + \frac{3}{N(N^2 - 1)} \left(\frac{2T_1}{\Delta t} + N - 1 \right)^2} \quad (\text{B.5})$$

By assigning Formula (B.5) to Formula (B.2) and by the condition that the relative error $\delta R / R$ of internal resistance is limited within $\pm 3\%$, Formula (B.6) is given.

Formula (1) is obtained by Formulas (B.6). and (B.7), using Δt to 0,1 s and $\delta U = 1$ mV.

$$I = \frac{\delta U}{0,03R} \sqrt{1 + \frac{1}{N} + \frac{3}{N(N^2 - 1)} \left(\frac{2T_1}{\Delta t} + N - 1 \right)^2} \quad (\text{B.6})$$

$$N = \frac{(T_2 - T_1)}{\Delta t} + 1 \quad (\text{B.7})$$

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62813:2015

Annex C (informative)

Procedures for defining the measuring current of LIC with uncertain nominal internal resistance

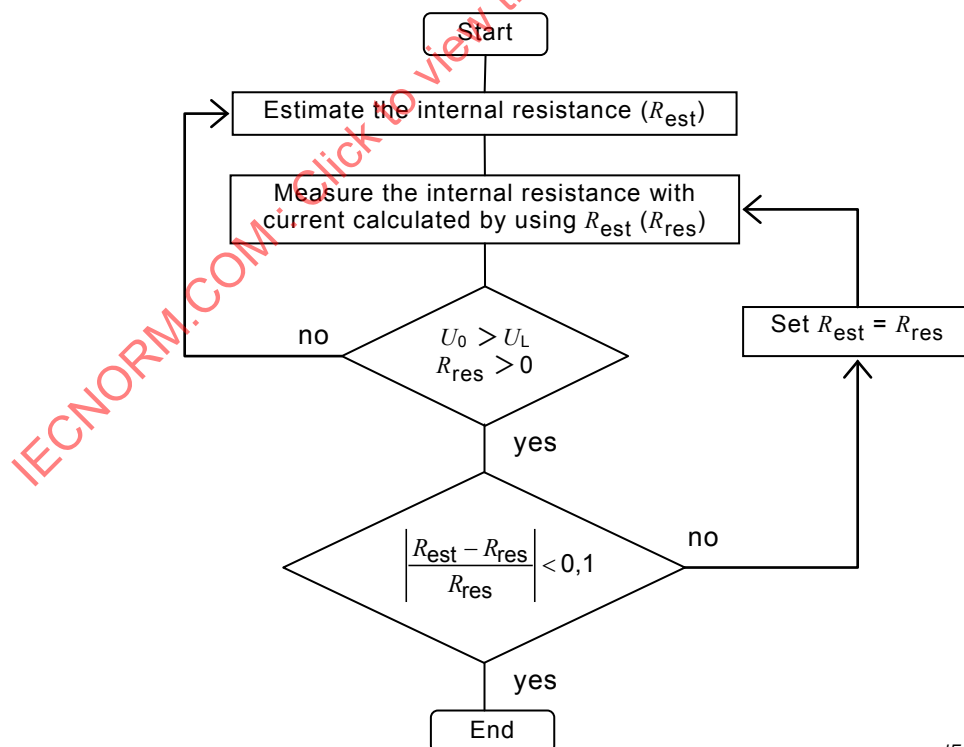
C.1 General

This Annex C describes the defining procedures of measuring current provided in Annex B for the LIC which has uncertain nominal internal resistance.

C.2 Defining procedures of measuring current for LIC

When the nominal value of internal resistance of the LIC is uncertain, the current for the measurement of the LIC can be set according to the following procedures (see Figure C.1):

- a) Using an estimated value of internal resistance (R_{est}), measure and calculate internal resistance by the measurement procedure described in 4.2.1 and the calculation method described in 4.3.2.
- b) Using the resultant internal resistance (R_{res}) calculated in a) as a new estimated value, repeat the process described in a).
- c) Repeat b) until the difference between R_{est} and R_{res} becomes less than 10 % of R_{est} . However, when the instant drop voltage at discharge U_0 becomes less or equal to the rated lower limit voltage U_L , try procedures from a) to c) again with smaller current. When R_{res} indicates a negative value, try from a) to c) again with larger current.



IEC

Figure C.1 – Flowchart of current setting procedures

Bibliography

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

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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62813:2015

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62813:2015

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	21
1 Domaine d'application.....	23
2 Références normatives	23
3 Termes et définitions	23
4 Méthodes d'essais	26
4.1 Exigences d'essai	26
4.1.1 Conditions atmosphériques normales pour les essais	26
4.1.2 Conditions atmosphériques normales pour les mesures	26
4.1.3 Préconditionnement	26
4.2 Mesure	26
4.2.1 Capacité, énergie électrique cumulée de décharge et résistance interne	26
4.2.2 Mesure du taux de maintien de la tension	29
4.3 Calcul	31
4.3.1 Calcul de la capacité et de l'énergie électrique cumulée de décharge.....	31
4.3.2 Calcul de la résistance interne	32
4.3.3 Calcul du taux de maintien de la tension.....	32
Annexe A (informative) Essai d'endurance (application continue de la tension assignée à une température élevée).....	33
A.1 Généralités	33
A.2 Procédure d'essai	33
A.2.1 Conditions d'essais	33
A.2.2 Procédure d'essai	33
A.2.3 Exigences	33
Annexe B (informative) Calcul des courants de mesure sur la base de l'erreur propagée.....	34
B.1 Généralités	34
B.2 Erreur propagée de mesure et courants de mesure	34
Annexe C (informative) Procédures de définition du courant de mesure du LIC avec une résistance interne nominale incertaine.....	36
C.1 Généralités	36
C.2 Procédures de définition du courant de mesure pour le LIC	36
Bibliographie	37
Figure 1 – Circuit fondamental pour la mesure de la capacité, de l'énergie électrique cumulée de décharge et de la résistance interne	27
Figure 2 – Profil de tension pour la mesure de la capacité, de l'énergie électrique cumulée de décharge et de la résistance interne	29
Figure 3 – Circuit fondamental pour la mesure du taux de maintien de la tension	30
Figure 4 – Profil de tension pour la mesure du taux de maintien de la tension	31
Figure C.1 – Organigramme des procédures de réglage du courant	36

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**CONDENSATEURS AU LITHIUM-ION DESTINÉS À ÊTRE UTILISÉS
DANS LES ÉQUIPEMENTS ÉLECTRIQUES ET ÉLECTRONIQUES –
MÉTHODES D'ESSAI RELATIVES AUX CARACTÉRISTIQUES
ÉLECTRIQUES**

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique 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. A 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 62813 a été établie par le comité d'études 40 de l'IEC: Condensateurs et résistances pour équipements électroniques.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
40/2322/FDIS	40/2341/RVD

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

Cette publication a été rédigée selon les Directives ISO/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. A cette date, la publication sera

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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62813:2015

CONDENSATEURS AU LITHIUM-ION DESTINÉS À ÊTRE UTILISÉS DANS LES ÉQUIPEMENTS ÉLECTRIQUES ET ÉLECTRONIQUES – MÉTHODES D'ESSAI RELATIVES AUX CARACTÉRISTIQUES ÉLECTRIQUES

1 Domaine d'application

La présente norme internationale précise les méthodes d'essai applicables aux caractéristiques électriques (capacité, résistance interne, énergie électrique cumulée de décharge et taux de maintien de la tension) des condensateurs au lithium-ion (LIC – *Lithium-Ion Capacitor*) destinés à être utilisés dans les équipements électriques et électroniques.

2 Références normatives

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

IEC 60068-1:2013, *Essais d'environnement – Partie 1: Généralités et lignes directrices*

3 Termes et définitions

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

NOTE Les termes indiqués en italique sont ceux qui sont définis dans le présent Article 3.

3.1

température de catégorie supérieure

température ambiante la plus élevée à laquelle le LIC est censé fonctionner de manière continue

[SOURCE: IEC 62576:2009, 3.3, modifié]

3.2

tension assignée

U_R

tension continue (c.c.) maximale qui peut être appliquée de manière continue, pendant une certaine durée sous la *température de catégorie supérieure* (3.1), au LIC de sorte qu'il puisse présenter des caractéristiques propres à un besoin spécifié

Note 1 à l'article: Cette tension est la tension de réglage dans la conception du LIC.

Note 2 à l'article: L'essai d'endurance qui utilise la tension assignée est décrit à l'Annexe A.

[SOURCE: IEC 62576:2009, 3.6, modifié]

3.3

tension assignée de limite inférieure

U_L

tension continue minimale appliquée dans des conditions telles que le LIC peut présenter des caractéristiques propres à un besoin spécifié

Note 1 à l'article: La tension assignée de limite inférieure est désignée par le fabricant.

3.4

courant de charge

courant nécessaire à la charge du LIC

3.5

courant de décharge

courant nécessaire à la décharge du LIC

3.6

énergie électrique cumulée de décharge

quantité d'énergie déchargée du LIC cumulée entre le *temps de début de décharge* (3.7) et le *temps nécessaire pour atteindre la tension assignée de limite inférieure* (3.10)

3.7

temps de début de décharge

T_0

temps de début de la décharge du LIC

Note 1 à l'article: Il s'agit du temps de référence applicable au *temps de début de calcul* (3.8) et le *temps nécessaire pour atteindre la tension assignée de limite inférieure* (3.10).

3.8

temps de début de calcul

T_1

temps à un point de départ sélectionné qui sert à calculer la *capacité* (3.12) et la *résistance interne* (3.14) au cours de la décharge du LIC

Note 1 à l'article: Le temps de début de calcul est exprimé comme le temps écoulé depuis le *temps de début de décharge* (3.7).

3.9

temps de fin de calcul

T_2

temps à un point final sélectionné qui sert à calculer la *capacité* (3.12) et la *résistance interne* (3.14) au cours de la décharge du LIC

Note 1 à l'article: Le temps de fin de calcul est exprimé comme le temps écoulé depuis le *temps de début de décharge* (3.7).

3.10

temps nécessaire pour atteindre la tension assignée de limite inférieure

T_L

moment où la tension atteint la *tension assignée de limite inférieure* (3.3) au cours de la décharge du LIC

Note 1 à l'article: Le temps nécessaire pour atteindre la tension assignée de limite inférieure est exprimé comme le temps écoulé depuis le *temps de début de décharge* (3.7).

3.11

tension à chute momentanée à la décharge

U_0

tension au *temps de début de décharge* (3.7) d'une droite de régression des moindres carrés sur la période comprise entre le *temps de début de calcul* (3.8) et le *temps de fin de calcul* (3.9) propre à la caractéristique de chute de tension du LIC au cours de la décharge

3.12

capacité

aptitude du LIC à emmagasiner une charge électrique

[SOURCE: IEC 62576:2009, 3.14, modifié]

3.13**capacité nominale** C_N

valeur de capacité désignée par le fabricant, indiquée habituellement sur le LIC

[SOURCE: IEC 62576:2009, 3.15, modifié]

3.14**résistance interne**

composante de résistance exprimée dans le circuit de série équivalent de capacité et de résistance du LIC

[SOURCE: IEC 62391-1:2006, 2.2.20, modifié]

3.15**résistance interne nominale** R_N

valeur de résistance interne désignée par le fabricant, indiquée habituellement sur le LIC

[SOURCE: IEC 62576:2009, 3.17, modifié]

3.16**charge sous tension constante**

méthode de charge du LIC à la tension constante spécifiée

[SOURCE: IEC 62576:2009, 3.18, modifié]

3.17**charge sous courant constant**

méthode de charge du LIC sous un courant constant spécifié

3.18**décharge sous courant constant**

méthode de décharge du LIC sous un courant constant spécifié

3.19**préconditionnement**

charge, décharge et stockage du LIC dans des conditions atmosphériques spécifiées (température, humidité et pression atmosphérique) préalablement aux essais

Note 1 à l'article: Généralement, le pré-conditionnement implique le stockage du LIC jusqu'à ce que sa température intérieure parvienne à un équilibre thermique avec la température environnante, avant la mesure de ses caractéristiques électriques.

[SOURCE: IEC 62576:2009, 3.19, modifié]

3.20**taux de maintien de la tension** A

rapport de la tension aux bornes ouvertes à la tension de charge après une durée spécifiée ultérieure à la charge du LIC

[SOURCE: IEC 62576:2009, 3.26, modifié]

4 Méthodes d'essais

4.1 Exigences d'essai

4.1.1 Conditions atmosphériques normales pour les essais

Sauf indication contraire dans la spécification particulière, tous les essais doivent être effectués dans les conditions atmosphériques normales pour les essais comme cela est indiqué au 4.3 de l'IEC 60068-1:2013:

- température: 15 °C à 35 °C;
- humidité relative: 25 % à 75 %;
- pression atmosphérique: 86 kPa à 106 kPa.

Le 4.1.2 s'applique si toute question concernant la détermination de la valeur de mesure se pose dans le cadre des conditions atmosphériques normales ou si cela est demandé.

Lorsque les mesures dans les conditions atmosphériques normales se révèlent difficiles à effectuer et en l'absence de question concernant la détermination de la valeur de mesure, les essais et les mesures peuvent être réalisés dans d'autres conditions que les conditions atmosphériques normales.

4.1.2 Conditions atmosphériques normales pour les mesures

Sauf indication contraire dans la spécification particulière, toutes les mesures doivent être effectuées dans les conditions atmosphériques normales pour les mesures comme cela est indiqué au 4.2 de l'IEC 60068-1:2013, avec les détails suivants:

- température: 25 °C ± 2 °C;
- humidité relative: 45 % à 55 %;
- pression atmosphérique: 86 kPa à 106 kPa.

4.1.3 Préconditionnement

Sauf indication contraire dans la spécification particulière, le LIC doit être chargé sous un courant constant et une alimentation sous tension constante, réglée à la tension assignée, pendant une durée de 30 min, puis être déchargé à la tension de limite inférieure au moyen d'un dispositif de décharge approprié.

4.2 Mesure

4.2.1 Capacité, énergie électrique cumulée de décharge et résistance interne

4.2.1.1 Appareillage d'essai

L'appareillage d'essai doit être capable de réaliser les opérations suivantes: charge sous courant constant, charge sous tension constante et décharge sous courant constant avec un courant spécifié en 4.2.1.2, et mesure continue du courant et de la tension à un intervalle d'échantillonnage spécifié. Le circuit fondamental est représenté à la Figure 1.

a) Alimentation en courant continu

Elle doit être capable de charger le LIC sous un courant et une tension constants spécifiés pendant une durée spécifiée.

b) Charge de courant constant

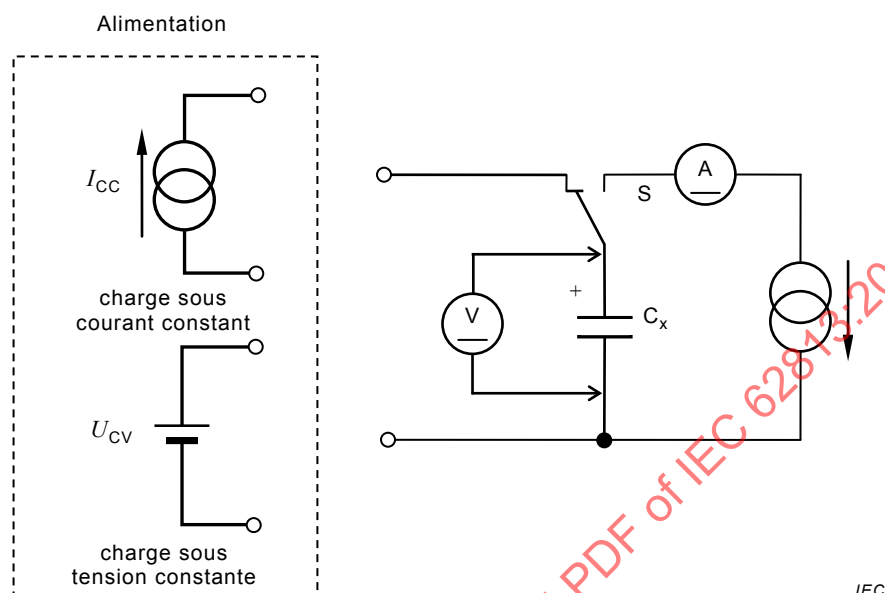
Elle doit être capable de décharger le LIC sous un courant constant spécifié et son temps de montée au début de la décharge doit être inférieur ou égal à 50 ms.

c) voltmètre enregistreur de tension continue

Il doit être capable d'effectuer des mesures et des enregistrements avec une résolution de 1 mV et un intervalle d'échantillonnage de 100 ms.

d) Commutateur

Il ne doit pas provoquer de broutement susceptible d'influer sur le résultat de l'enregistrement tension-temps.



Légende

I_{cc}	courant constant
U_{cv}	tension constante
	ampèremètre sous courant continu
	voltmètre enregistreur de tension continue
S	commutateur
C_x	LIC en essai
	alimentation en courant constant
	alimentation en tension constante
	charge de courant constant

Figure 1 – Circuit fondamental pour la mesure de la capacité, de l'énergie électrique cumulée de décharge et de la résistance interne

4.2.1.2 Procédure et conditions de mesure

La procédure et les conditions de mesure doivent être comme suit: le profil de tension entre les bornes du LIC lors de la mesure doit être tel que représenté à la Figure 2.

a) Préalablement au réglage de l'échantillon

Le LIC doit être maintenu dans les conditions atmosphériques normales définies en 4.1.1 pendant une durée comprise entre 2 h et 6 h.

b) Réglage de l'échantillon

Connecter les bornes du LIC au circuit.

c) Charge sous courant constant

Charger le LIC à la tension assignée U_R sous une alimentation en courant continu spécifiée en 4.2.1.1 et un courant spécifié I calculé à l'aide de la Formule (1).

$$I = \frac{1}{30R_N} \sqrt{1 + \frac{27}{5C_N R_N + 1} - \frac{26}{10C_N R_N + 1}} \quad (1)$$

où

I est le courant de charge (A). Il permet également de spécifier le courant de décharge;

R_N est la résistance interne nominale du LIC en essai (Ω);

C_N est la capacité nominale du LIC en essai (F).

NOTE Le courant calculé à l'aide de la Formule (1) est supposé être le courant qui permet de limiter l'erreur de mesure résultante de la résistance interne $\pm 3\%$ (voir l'Annexe B). Lorsque la valeur nominale de la résistance interne est incertaine, le courant utilisé pour la mesure peut être réglé selon les procédures recommandables décrites dans l'Annexe C.

d) Charge sous tension constante

Lorsque la tension entre les bornes du LIC est atteinte à la tension assignée U_R , basculer le commutateur sur la charge sous tension constante, puis appliquer la tension assignée U_R pendant 30 min.

e) Décharge sous courant constant

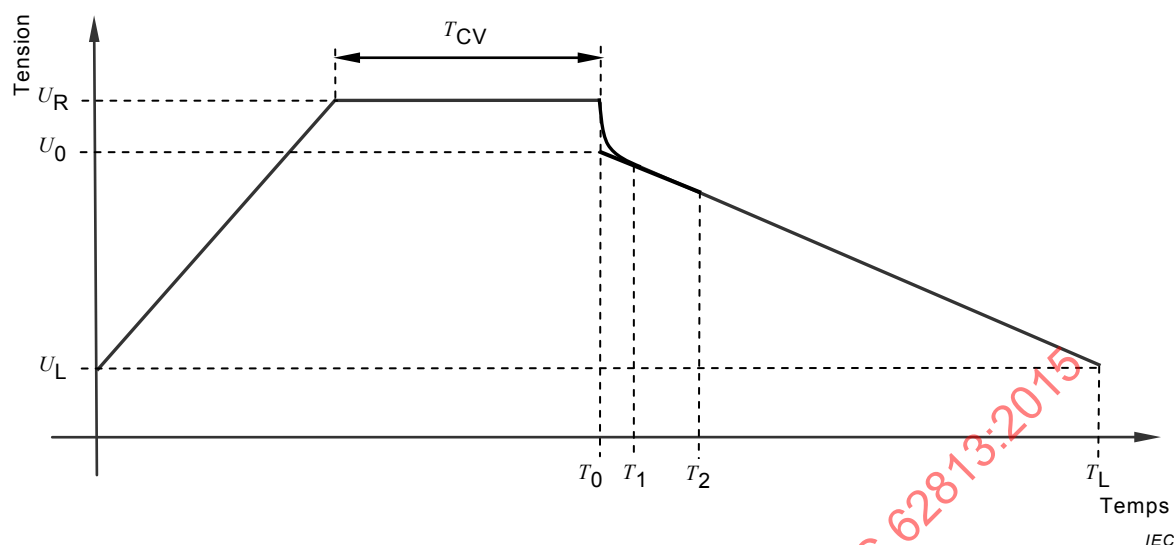
Basculer le commutateur de la position d'alimentation à la position de charge de courant constant et procéder à la décharge sous le courant constant spécifié comme suit:

- 1) Pour la mesure de la résistance interne, régler le courant de décharge: I calculé à l'aide de la Formule (1);
- 2) Pour la mesure de l'énergie électrique cumulée de décharge et de la capacité, régler le courant de décharge comme suit: un dixième du courant I calculé à l'aide de la Formule (1).

f) Essai, mesure et enregistrement

Mesurer et enregistrer les caractéristiques tension-temps entre les bornes du LIC

- 1) L'intervalle d'échantillonnage et d'enregistrement doit être réglé sur 100 ms.
- 2) L'échantillonnage et l'enregistrement doivent être effectués de manière continue entre le temps de début de la charge et le temps nécessaire pour atteindre la tension assignée de limite inférieure U_L .



Légende

T_0	temps de début de décharge (s)
T_1	temps de début de calcul, réglé sur $C_N R_N$ (s)
T_2	temps de fin de calcul, réglé sur $2 C_N R_N$ (s)
T_L	temps nécessaire pour atteindre la tension assignée de limite inférieure (s)
T_{CV}	durée de la charge sous tension constante (s)
U_R	tension assignée (V)
U_L	tension assignée de limite inférieure (V)
U_0	tension à chute momentanée à la décharge (V)

Figure 2 – Profil de tension pour la mesure de la capacité, de l'énergie électrique cumulée de décharge et de la résistance interne

4.2.2 Mesure du taux de maintien de la tension

4.2.2.1 Appareillage d'essai

Le circuit fondamental est représenté à la Figure 3. Les voltmètres de tension continue V_1 et V_2 doivent avoir une résolution inférieure ou égale à 5 mV pour la mesure de la tension. L'impédance d'entrée doit être suffisamment élevée pour que les erreurs de mesure soient négligeables.

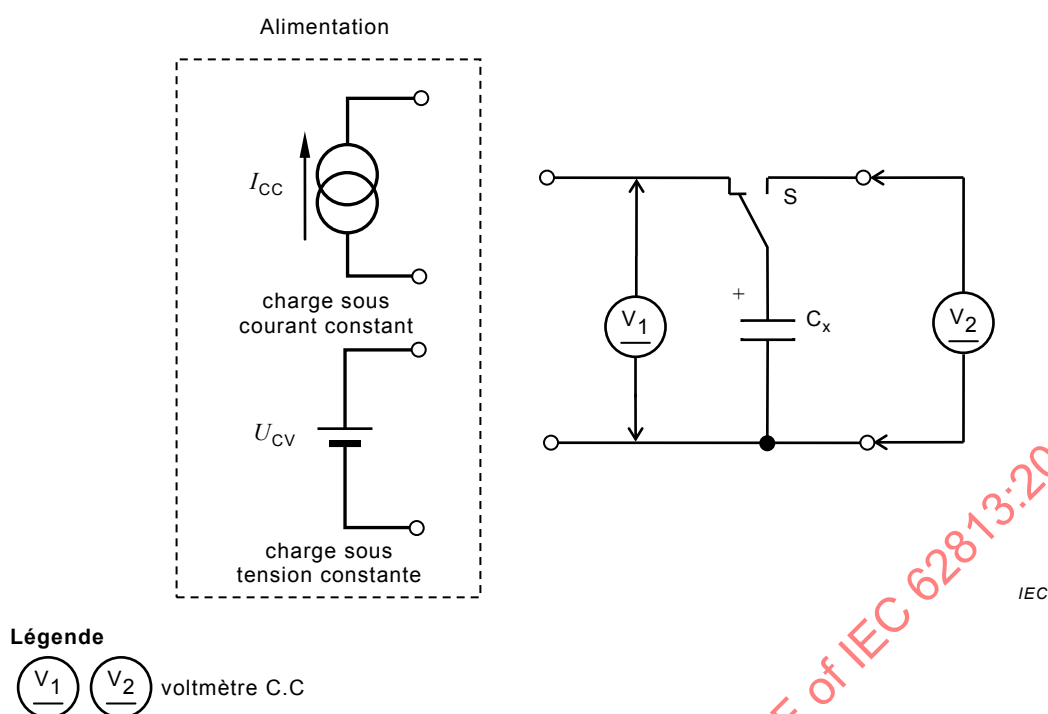


Figure 3 – Circuit fondamental pour la mesure du taux de maintien de la tension

4.2.2.2 Procédure et conditions de mesure

La procédure et conditions de mesure doivent être comme suit: le profil de tension entre les bornes du LIC lors de la mesure doit être tel que représenté à la Figure 4.

a) Préalablement au réglage de l'échantillon

Le LIC doit être maintenu dans les conditions atmosphériques normales définies en 4.1.1 pendant une durée comprise entre 2 h et 6 h.

b) Réglage de l'échantillon

Connecter les bornes du LIC au circuit.

c) Charge sous courant constant

Charger le LIC à la tension assignée U_R sous une alimentation en courant continu spécifiée en 4.2.1.1 et un courant spécifié I calculé à l'aide de la Formule (1).

d) Charge sous tension constante

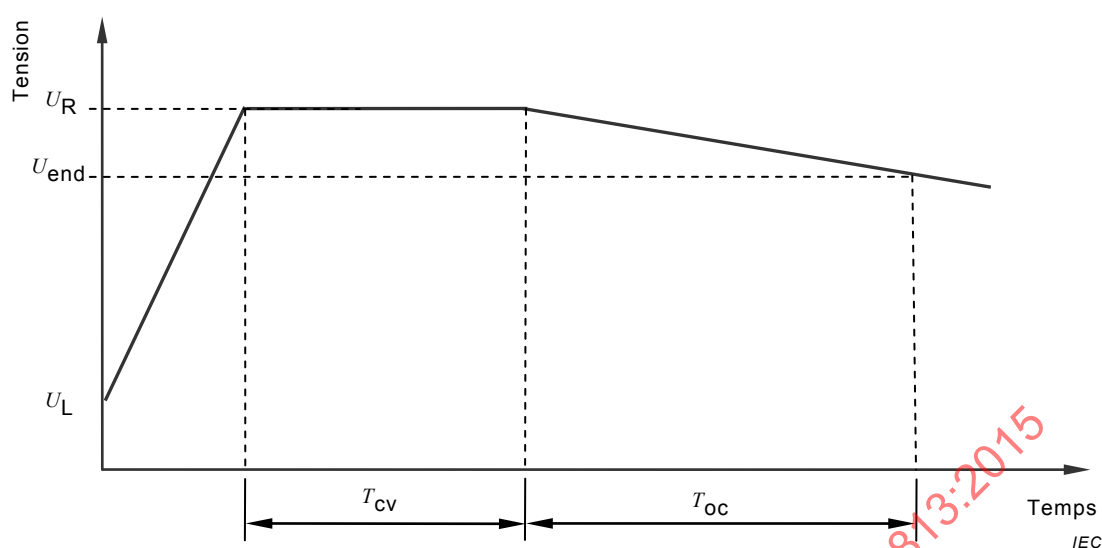
Lorsque la tension entre les bornes du LIC est atteinte à la tension assignée U_R , basculer le commutateur sur la charge sous tension constante, puis appliquer la tension assignée U_R pendant 24 h.

e) Ouverture des bornes

Déconnecter les bornes du LIC du circuit.

f) Mesure

Mesurer la tension entre les bornes du LIC lorsque T_{OC} est de 72 h (voir la Figure 4).



Légende

T_{oc} durée de la mesure, réglée sur 72 h (h)

U_{fin} tension entre les bornes du LIC avec T_{oc} (V)

Figure 4 – Profil de tension pour la mesure du taux de maintien de la tension

4.3 Calcul

4.3.1 Calcul de la capacité et de l'énergie électrique cumulée de décharge

La capacité et l'énergie électrique cumulée de décharge sont calculées à l'aide de la méthode de conversion d'énergie décrite en a). Sur accord entre le fabricant et le client, une méthode simplifiée décrite en b) peut être utilisée en lieu et place de cette méthode.

- a) Calcul de la capacité et de l'énergie électrique cumulée à l'aide de la méthode de conversion d'énergie

La capacité C_x doit être calculée à l'aide de la Formule (2) et l'énergie électrique cumulée de décharge W calculée à l'aide de la Formule (3) (voir la Figure 2).

$$C_x = \frac{2W}{U_0^2 - U_L^2} \quad (2)$$

$$W = \frac{I}{200} \sum_{k=0}^{n-1} (V_{k+1} + V_k) \quad (3)$$

où

C_x est la capacité (F) du LIC;

W est l'énergie électrique cumulée de décharge, qui est la puissance électrique intégrée en fonction du temps sur tous les points d'échantillonnage entre le point d'échantillonnage de début de décharge ($k = 0$) et le point d'échantillonnage de fin de décharge ($k = n$);

V_k est la tension mesurée au point d'échantillonnage k (V).

L'énergie électrique cumulée de décharge exprimée en wattheure est calculée en divisant W par 3 600.

- b) Calcul de la capacité et de l'énergie électrique cumulée à l'aide de la méthode simplifiée