

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

**Secondary lithium-ion cells for the propulsion of electric road vehicles –
Part 1: Performance testing**

**Éléments d'accumulateurs lithium-ion pour la propulsion des véhicules routiers
électriques –
Partie 1: Essais de performance**



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2018 IEC, Geneva, Switzerland

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

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

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

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

About the IEC

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

About IEC publications

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

IEC Catalogue - webstore.iec.ch/catalogue

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

IEC publications search - webstore.iec.ch/advsearchform

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

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

Electropedia - www.electropedia.org

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

IEC Glossary - std.iec.ch/glossary

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

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

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

A propos de l'IEC

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

A propos des publications IEC

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

Catalogue IEC - webstore.iec.ch/catalogue

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

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

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

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

Electropedia - www.electropedia.org

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

Glossaire IEC - std.iec.ch/glossary

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

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

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

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

**Secondary lithium-ion cells for the propulsion of electric road vehicles –
Part 1: Performance testing**

**Éléments d'accumulateurs lithium-ion pour la propulsion des véhicules routiers
électriques –
Partie 1: Essais de performance**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 29.220.20; 43.120

ISBN 978-2-8322-6288-7

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

CONTENTS

FOREWORD.....	4
INTRODUCTION.....	6
1 Scope.....	7
2 Normative references	7
3 Terms and definitions	7
4 Test conditions	8
4.1 General.....	8
4.2 Measuring instruments.....	9
4.2.1 Range of measuring devices.....	9
4.2.2 Voltage measurement.....	9
4.2.3 Current measurement	9
4.2.4 Temperature measurements	9
4.2.5 Other measurements	10
4.3 Tolerance	10
4.4 Thermal stabilization.....	10
5 Dimension measurement	10
6 Mass measurement	12
7 Electrical measurement	12
7.1 General.....	12
7.2 General charge conditions	12
7.3 Capacity	12
7.4 SOC adjustment.....	13
7.5 Power	13
7.5.1 General	13
7.5.2 Test method	13
7.5.3 Calculation of power density.....	14
7.5.4 Calculation of regenerative power density.....	15
7.6 Energy.....	15
7.6.1 General.....	15
7.6.2 Test method	16
7.6.3 Calculation of energy density.....	16
7.7 Storage test	17
7.7.1 General	17
7.7.2 Charge retention test	17
7.7.3 Storage life test	18
7.8 Cycle life test.....	18
7.8.1 General	18
7.8.2 BEV cycle test	18
7.8.3 HEV cycle test	22
7.9 Energy efficiency test.....	26
7.9.1 General	26
7.9.2 Common tests for BEV and HEV applications	26
7.9.3 Test for cells of BEV application	28
7.9.4 Energy efficiency calculation for cells of HEV application.....	29
Annex A (informative) Selective test conditions.....	31
Annex B (informative) Cycle life test sequence	33

Annex C (informative) Current-voltage characteristic test.....	36
C.1 General.....	36
C.2 Test method.....	36
Bibliography.....	39
Figure 1 – Example of temperature measurement of cell.....	9
Figure 2 – Examples of maximum dimensions of cell	11
Figure 3 – Dynamic discharge profile A for BEV cycle test	20
Figure 4 – Dynamic discharge profile B for BEV cycle test	22
Figure 5 – Discharge-rich profile for HEV cycle test	24
Figure 6 – Charge-rich profile for HEV cycle test.....	25
Figure 7 – Typical SOC swing by combination of two profiles for HEV cycle test.....	26
Figure B.1 – Test sequence of BEV cycle test.....	34
Figure B.2 – Concept of BEV cycle test.....	35
Figure C.1 – Test order of the current-voltage characteristic test	37
Table 1 – Discharge conditions	12
Table 2 – SOC and temperature condition for power test	13
Table 3 – Dynamic discharge profile A for BEV cycle test	20
Table 4 – Dynamic discharge profile B for BEV cycle test	21
Table 5 – Discharge-rich profile for HEV cycle test	24
Table 6 – Charge-rich profile for HEV cycle test.....	25
Table A.1 – Capacity test conditions	31
Table A.2 – Power test conditions	31
Table A.3 – Cycle life test conditions	31
Table A.4 – Conditions for energy efficiency test for BEV application.....	32
Table B.1 – Test sequence of HEV cycle test.....	35
Table C.1 – Charge and discharge current for the current-voltage characteristic test	36

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**SECONDARY LITHIUM-ION CELLS FOR
THE PROPULSION OF ELECTRIC ROAD VEHICLES –****Part 1: Performance testing****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 62660-1 has been prepared by IEC technical committee 21: Secondary cells and batteries.

This second edition cancels and replaces the first edition published in 2010. This edition constitutes a technical revision.

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

- a) The purpose of each test has been added.
- b) The power test has been revised for clarification, and an informative part of the current-voltage characteristic test has been moved to the new Annex C.

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

FDIS	Report on voting
21/975/FDIS	21/985/RVD

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

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

A list of all the parts in the IEC 62660 series, published under the general title *Secondary lithium-ion cells for the propulsion of electric road vehicles*, can be found on the IEC website.

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

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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62660-1:2018

INTRODUCTION

The commercialization of electric road vehicles including battery, hybrid and plug-in hybrid electric vehicles has been accelerated in the global market, responding to the global concerns on CO₂ reduction and energy security. This, in turn, has led to rapidly increasing demand for high-power and high-energy-density traction batteries. Lithium-ion batteries are estimated to be one of the most promising secondary batteries for the propulsion of electric vehicles. In the light of the rapid spread of hybrid electric vehicles and the emergence of battery and plug-in hybrid electric vehicles, a standard method for testing performance requirements of lithium-ion batteries is indispensable for securing a basic level of performance and obtaining essential data for the design of vehicle systems and battery packs.

This document specifies performance testing for automobile traction lithium-ion cells that basically differ from the other cells including those for portable and stationary applications specified by other IEC standards. For automobile application, it is important to note the usage specificity; i.e. the design diversity of automobile battery packs and systems, and specific requirements for cells and batteries corresponding to each of such designs. Based on these facts, the purpose of this document is to provide a basic test methodology with general versatility, which serves a function in common primary testing of lithium-ion cells to be used in a variety of battery systems.

This document is associated with ISO 12405-4 [1]¹.

IEC 62660-2 [2] specifies the reliability and abuse testing for lithium-ion cells for electric vehicle application.

IEC 62660-3 [3] specifies the safety requirements of lithium-ion cells for electric vehicle application.

¹ Numbers in square brackets refer to the Bibliography.

SECONDARY LITHIUM-ION CELLS FOR THE PROPULSION OF ELECTRIC ROAD VEHICLES –

Part 1: Performance testing

1 Scope

This part of IEC 62660 specifies performance and life testing of secondary lithium-ion cells used for propulsion of electric vehicles including battery electric vehicles (BEV) and hybrid electric vehicles (HEV).

NOTE 1 Secondary lithium-ion cell used for propulsion of plug-in hybrid electric vehicle (PHEV) can be tested by the procedure either for BEV application or HEV application, according to the battery system design, based on the agreement between the cell manufacturer and the customer.

This document specifies the test procedures to obtain the essential characteristics of lithium-ion cells for vehicle propulsion applications regarding capacity, power density, energy density, storage life and cycle life.

This document provides the standard test procedures and conditions for testing basic performance characteristics of lithium-ion cells for vehicle propulsion applications, which are indispensable for securing a basic level of performance and obtaining essential data on cells for various designs of battery systems and battery packs.

NOTE 2 Based on the agreement between the cell manufacturer and the customer, specific test conditions can be selected in addition to the conditions specified in this document. Selective test conditions are described in Annex A.

NOTE 3 The performance tests for the electrically connected lithium-ion cells can be performed with reference to this document.

NOTE 4 The test specification for lithium-ion battery packs and systems is defined in ISO 12405-4 [1].

2 Normative references

The following documents are referred to in the text in such a way that some or all of their content constitutes requirements 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.

ISO/TR 8713, *Electrically propelled road vehicles – Vocabulary*

3 Terms and definitions

For the purposes of this document, the terms and definitions given in ISO/TR 8713 and the following apply.

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

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

3.1 battery electric vehicle BEV

electric vehicle with only a traction battery as power source for vehicle propulsion

3.2 hybrid electric vehicle HEV

vehicle with both a rechargeable energy storage system and a fuelled power source for propulsion

3.3 rated capacity

C_n
capacity value of a cell in ampere hours (Ah) determined under specified conditions and declared by the cell manufacturer

Note 1 to entry: n in C_n is the time base in hours (h). In this document, $n = 3$ for BEV application and $n = 1$ for HEV application unless otherwise specified.

3.4

I_t
reference test current in amperes (A) which is expressed as

$$I_t = C_n / 1$$

Note 1 to entry: 1 has a dimension of time in hours (h).

Note 2 to entry: See IEC 61434:1996 [4], Clause 2.

3.5 room temperature

temperature of $25\text{ °C} \pm 2\text{ K}$

3.6 secondary lithium-ion cell cell

secondary single cell whose electric energy is derived from the insertion and extraction reactions of lithium ions between the anode and the cathode

Note 1 to entry: The secondary lithium-ion cell is a basic manufactured unit providing a source of electric energy by direct conversion of chemical energy. It consists of electrodes, separators, electrolyte, container and terminals, and is designed to be charged electrically.

3.7 state of charge SOC

capacity in a cell expressed as a percentage of rated capacity

3.8 charge retention

ability of a cell to retain capacity on open circuit under specified conditions of storage

4 Test conditions

4.1 General

The details of the instrumentation used shall be provided in any report of results.

Test and measurement shall be conducted with caution to prevent a short circuit.

NOTE Test and measurement can be conducted under fixing condition recommended by the cell manufacturer.

4.2 Measuring instruments

4.2.1 Range of measuring devices

The instruments used shall enable the values of voltage, current and temperature to be measured. The range of these instruments and measuring methods shall be chosen so as to ensure the accuracy specified for each test.

For analogue instruments, this implies that the readings shall be taken in the last third of the graduated scale.

Any other measuring instruments may be used provided they give an equivalent accuracy.

4.2.2 Voltage measurement

The resistance of the voltmeters used shall be at least 1 M Ω /V.

4.2.3 Current measurement

The entire assembly of ammeter, shunt and leads shall be of an accuracy class of 0,5 or better.

4.2.4 Temperature measurements

The cell temperature shall be measured by use of a surface temperature measuring device capable of an equivalent scale definition and accuracy of calibration as specified in 4.2.1. The temperature shall be measured at a location which most closely reflects the cell temperature. The temperature may be measured at additional appropriate locations, if necessary.

The examples for temperature measurement are shown in Figure 1. The instructions for temperature measurement specified by the cell manufacturer shall be followed.

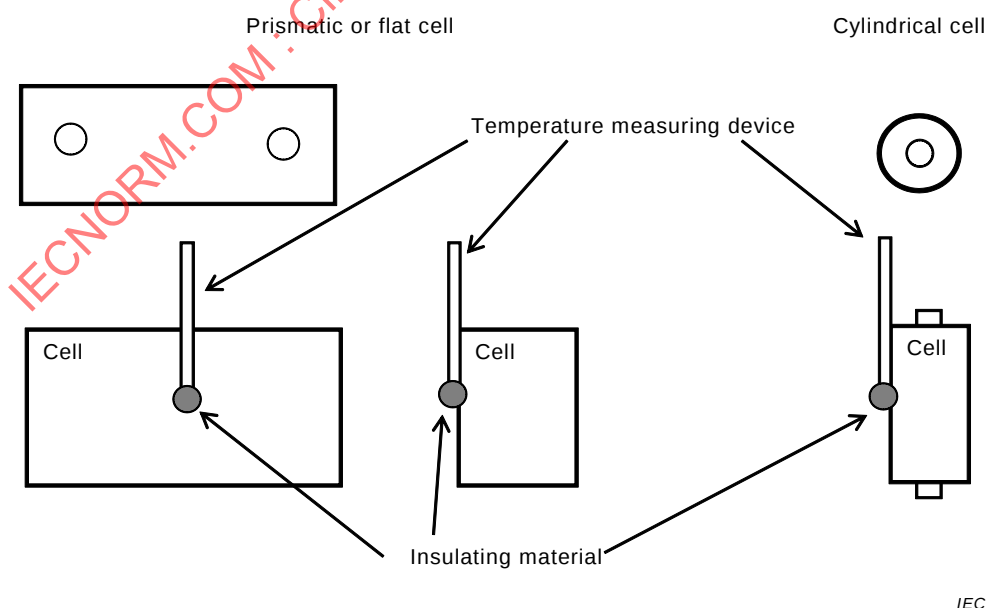


Figure 1 – Example of temperature measurement of cell

4.2.5 Other measurements

Other values may be measured by use of a measuring device, provided that it complies with 4.3.

4.3 Tolerance

The overall accuracy of controlled or measured values, relative to the specified or actual values, shall be within the following tolerances:

- a) $\pm 0,1$ % for voltage;
- b) ± 1 % for current;
- c) ± 2 K for temperature;
- d) $\pm 0,1$ % for time;
- e) $\pm 0,1$ % for mass;
- f) $\pm 0,1$ % for dimensions.

These tolerances comprise the combined accuracy of the measuring instruments, the measurement technique used, and all other sources of error in the test procedure.

4.4 Thermal stabilization

For the stabilization of cell temperature, the cell shall be soaked to a specified ambient temperature for a minimum of 12 h. This period may be reduced if thermal stabilization is reached. Thermal stabilization is considered to be reached if after one interval of 1 h, the change of cell temperature is lower than 1 K.

5 Dimension measurement

The maximum dimension of the total width, thickness or diameter, and height of a cell shall be measured at room temperature up to three significant figures in accordance with the tolerances in 4.3.

Examples of maximum dimensions are shown in Figures 2a to 2f.

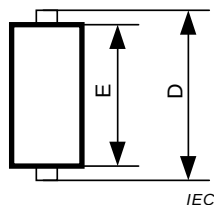
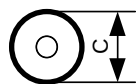


Figure 2a – Cylindrical cell (1)

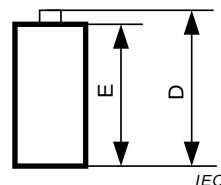
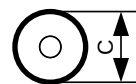


Figure 2b – Cylindrical cell (2)

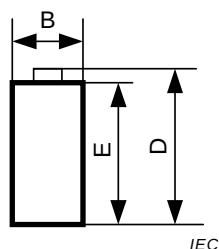
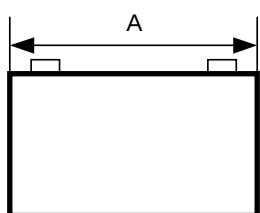


Figure 2c – Prismatic cell (1)

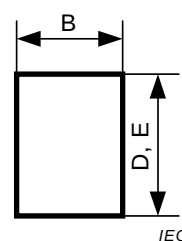
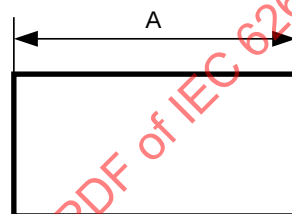


Figure 2d – Prismatic cell (2)

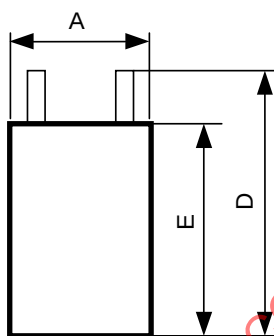


Figure 2e – Prismatic cell with laminate film case (1)

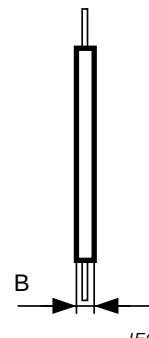
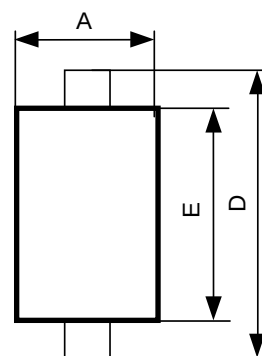


Figure 2f – Prismatic cell with laminate film case (2)

Key

- A total width
B total thickness
C diameter

- D total height (including terminals)
E total height (excluding terminals)

Figure 2 – Examples of maximum dimensions of cell

NOTE Prismatic cells are provided with either a rigid metal case or flexible laminate film case. A prismatic cell with laminate film case is usually called a pouch cell.

The volume of a prismatic cell is given by the product of its total height excluding terminals, total width, and total thickness, and that of a cylindrical cell is given by the product of the cross section of the cylinder and its total height excluding terminals.

6 Mass measurement

The mass of a cell is measured at room temperature up to three significant figures in accordance with the tolerances in 4.3.

7 Electrical measurement

7.1 General

During each test, voltage, current and temperature shall be recorded.

Before each test, the cell temperature shall be stabilized at room temperature according to 4.4, unless otherwise specified.

The ambient temperature shall be the room temperature unless otherwise specified.

7.2 General charge conditions

Unless otherwise stated in this document, prior to electrical measurement test, the cell shall be charged as follows.

Prior to charging, the cell shall be discharged at room temperature at a constant current described in Table 1 down to an end-of-discharge voltage specified by the cell manufacturer. Then, the cell shall be charged at room temperature according to the charging method declared by the cell manufacturer.

7.3 Capacity

The capacity of a cell shall be measured in accordance with the following phases.

Phase 1 – The cell shall be charged in accordance with 7.2.

After recharge, the cell temperature shall be stabilized in accordance with 4.4.

Phase 2 – The cell shall be discharged at specified temperature at a constant current I_t (A) to the end-of-discharge voltage that is provided by the cell manufacturer. The discharge current and cell temperatures indicated in Table 1 shall be used.

In addition to Table 1, specific test conditions may be selected based on the agreement between the cell manufacturer and the customer. Selective test conditions are shown in Table A.1.

Table 1 – Discharge conditions

Cell temperature °C	Discharge current A	
	BEV application	HEV application
0	$1/3 I_t$	$1 I_t$
25		
45		

Phase 3 – Measure the discharge duration until the specified end-of-discharge voltage is reached. Calculate the capacity of cell expressed in Ah up to three significant figures, by multiplying the discharge current (A) with the discharge duration (h).

7.4 SOC adjustment

The test cells shall be charged as specified below, unless otherwise specified. The SOC adjustment is the procedure to be followed for preparing cells to the various SOC levels for the tests in this document.

Phase 1 – The cell shall be charged in accordance with 7.2.

Phase 2 – The cell shall be left at rest at room temperature in accordance with 4.4.

Phase 3 – The cell shall be discharged at a constant current according to Table 1 for $(100 - n)/100 \times 3$ h for BEV application and $(100 - n)/100 \times 1$ h for HEV application, where n is SOC (%) to be adjusted for each test.

7.5 Power

7.5.1 General

This test is intended to determine the power characteristics of a cell under the representative usage conditions of BEV and HEV applications.

Based on the current-voltage characteristic test in 7.5.2, the power density and regenerative power density of a cell shall be calculated according to 7.5.3 and 7.5.4, respectively.

The power density and regenerative power density shall be calculated and reported for each combination of SOC and temperature in 7.5.2.

7.5.2 Test method

The test shall be carried out in accordance with the following procedure.

a) Mass measurement

Mass of the cell shall be measured as specified in Clause 6.

b) Dimension measurement

Dimensions of the cell shall be measured as specified in Clause 5.

c) SOC and temperature adjustment

The test in 7.5.2 d) shall be conducted under each combination of SOC and cell temperature at the test commencement as specified in Table 2, according to the procedure specified by the cell manufacturer.

SOC shall be adjusted according to 7.4.

Table 2 – SOC and temperature condition for power test

SOC %	Cell temperature °C			
20	25			
50	–20	0	25	40
80	25			

NOTE Selective test conditions are shown in Table A.2.

d) Current-voltage characteristics test

Discharge the cell for 10 s at the maximum current for discharge specified by the cell manufacturer (I_{dmax}), and measure the voltage at the end of the 10 s pulse (U_d).

Charge the cell for 10 s at the maximum current for charge specified by the cell manufacturer (I_{cmax}), and measure the voltage at the end of the 10 s pulse (U_{c}).

The values of I_{dmax} and I_{cmax} change depending on SOC, test temperature and charge or discharge state.

The charge and discharge limits of current and voltage at low temperature specified by the cell manufacturer should be taken into account.

In case that I_{dmax} and I_{cmax} are not available, the value may be obtained according to the test in Annex C.

7.5.3 Calculation of power density

7.5.3.1 Power calculation

The power shall be calculated according to Equation (1) and is rounded to three significant figures.

$$P_{\text{d}} = U_{\text{d}} \times I_{\text{dmax}} \quad (1)$$

where

P_{d} is the power (W);

U_{d} is the measured voltage at the end of the 10 s pulse of I_{dmax} discharge (V);

I_{dmax} is the maximum discharge current which is specified by the cell manufacturer (A).

If P_{d} is an estimated value, this shall be stated.

7.5.3.2 Power density per unit mass

Mass power density shall be calculated from Equation (2), and is rounded to three significant figures.

$$\rho_{\text{pd}} = \frac{P_{\text{d}}}{m} \quad (2)$$

where

ρ_{pd} is the power density (W/kg);

P_{d} is the power (W);

m is the mass of the cell (kg).

7.5.3.3 Power density per unit volume

Volumetric power density shall be calculated from Equation (3), and is rounded to three significant figures.

$$\rho_{\text{pvlm}} = \frac{P_{\text{d}}}{V} \quad (3)$$

where

ρ_{pvlm} is the volumetric power density (W/l);

P_{d} is the power (W);

V is the volume of the cell (l).

7.5.4 Calculation of regenerative power density

7.5.4.1 Regenerative power

Regenerative power shall be calculated according to Equation (4) and is rounded to three significant figures.

$$P_c = U_c \times I_{cmax} \quad (4)$$

where

P_c is the regenerative power (W);

U_c is the measured voltage at the end of the 10 s pulse of I_{cmax} charge (V);

I_{cmax} is the maximum charge current specified by the cell manufacturer (A).

If P_c is an estimated value, this shall be stated.

7.5.4.2 Regenerative power density per unit mass

Regenerative power density per unit mass shall be calculated from Equation (5) and is rounded to three significant figures.

$$\rho_{pc} = \frac{P_c}{m} \quad (5)$$

where

ρ_{pc} is the regenerative power density (W/kg);

P_c is the regenerative power (W);

m is the mass of the cell (kg).

7.5.4.3 Regenerative power density per unit volume

Volumetric regenerative power density shall be calculated from Equation (6) and is rounded to three significant figures.

$$\rho_{pvImc} = \frac{P_c}{V} \quad (6)$$

where

ρ_{pvImc} is the volumetric regenerative power density (W/l);

P_c is the regenerative power (W);

V is the volume of the cell (l).

7.6 Energy

7.6.1 General

This test is intended to determine the energy density that can be derived from a cell under the representative usage conditions of BEV and HEV applications.

Based on the test in 7.6.2, the energy density of a cell shall be calculated according to 7.6.3.

7.6.2 Test method

Mass energy density (Wh/kg) and volumetric energy density (Wh/l) of cells in a certain current discharge of $1/3 I_t$ (A) for BEV application and $1 I_t$ (A) for HEV application shall be determined according to the following procedure.

a) Mass measurement

Mass of the cell shall be measured as specified in Clause 6.

b) Dimension measurement

Dimensions of the cell shall be measured as specified in Clause 5.

c) Capacity measurement

Capacity of the cell shall be determined in accordance with 7.3 at room temperature.

d) Average voltage calculation

The value of the average voltage during discharging in the above capacity test shall be obtained by integrating the discharge voltage over time and dividing the result by the discharge duration. The average voltage is calculated in a simple manner using the following method: Discharge voltages $U_1, U_2, \dots, U_n$ are noted every 5 s from the time the discharging starts and voltages that cut off the end-of-discharge voltage in less than 5 s are discarded. The average voltage U_{avr} is then calculated in a simplified manner using Equation (7) up to three significant figures by rounding off the result.

$$U_{avr} = \frac{U_1 + U_2 + \dots + U_n}{n} \quad (7)$$

7.6.3 Calculation of energy density

7.6.3.1 Energy density per unit mass

The mass energy density shall be calculated using Equation (8) and Equation (9) up to three significant figures by rounding off the result.

$$W_{ed} = C_d U_{avr} \quad (8)$$

where

W_{ed} is the electric energy of the cell at room temperature (Wh) when discharged under specified conditions;

C_d is the discharge capacity (Ah) at $1/3 I_t$ (A) for BEV or $1 I_t$ (A) for HEV;

U_{avr} is the average voltage during discharging (V).

$$\rho_{ed} = \frac{W_{ed}}{m} \quad (9)$$

where

ρ_{ed} is the mass energy density (Wh/kg);

W_{ed} is the electric energy of the cell at room temperature (Wh) when discharged under specified conditions;

m is the mass of the cell (kg).

7.6.3.2 Energy density per unit volume

The volumetric energy density shall be calculated using Equation (10) up to three significant figures by rounding off the result.

$$\rho_{\text{evlmd}} = \frac{W_{\text{ed}}}{V} \quad (10)$$

where

ρ_{evlmd} is the volumetric energy density (Wh/l);

W_{ed} is the electric energy of the cell at room temperature (Wh) when discharged under specified conditions;

V is the volume of the cell (l).

7.7 Storage test

7.7.1 General

This test is intended to determine the capacity retaining characteristics of a cell under storage or non-use, and is composed of the charge retention test in 7.7.2 and the storage life test in 7.7.3.

7.7.2 Charge retention test

This test is intended to determine the charge retention characteristics of a cell under storage including transportation.

The charge retention characteristics of the cell at a 50 % SOC shall be determined according to the following procedure.

Phase 1 – The cell shall be charged in accordance with 7.2.

Phase 2 – The cell shall be discharged to 50 % SOC in accordance with the method specified in 7.4. Then, the cell shall be stabilized at room temperature for 1 h.

NOTE The SOC value can be changed according to the agreement between the customer and the cell manufacturer.

Phase 3 – Discharge the cell to the end-of-discharge voltage at a discharge current of $1/3 I_t$ (A) for BEV application and $1 I_t$ (A) for HEV application and at room temperature. This discharge capacity is C_b .

Phase 4 – Repeat phases 1 and 2 one time.

Phase 5 – The cell shall be stored for 28 days at an ambient temperature of 45 °C.

Phase 6 – After phase 5, the cell shall be stabilized at room temperature according to 4.4. Then, discharge the cell at a constant current of $1/3 I_t$ (A) for BEV application and $1 I_t$ (A) for HEV application until the end-of-discharge voltage, and then measure the capacity of cell. This discharge capacity is C_r .

Charge retention ratio shall be calculated according to Equation (11).

$$R = \frac{C_r}{C_b} \times 100 \quad (11)$$

where

R is the charge retention ratio (%);

C_r is the capacity of the cell after storage (Ah);

C_b is the capacity of the cell before storage (Ah).

7.7.3 Storage life test

This test is intended to determine the degradation characteristics of a cell under the storage or non-use of BEV and HEV applications.

The storage life of a cell shall be determined according to the following procedure.

Phase 1 – Determine the capacity, power density and regenerative power density of the cell in accordance with 7.2, 7.3 and 7.5.

Phase 2 – Adjust the SOC of the cell to 100 % for BEV application, and to 50 % for HEV application in accordance with 7.4. The cell shall then be stored for 42 days at an ambient temperature of 45 °C.

Phase 3 – Following the storage of phase 2, the cell shall be stabilized at room temperature according to 4.4 and discharged at a constant current of $1/3I_t$ (A) for BEV application and $1I_t$ (A) for HEV application, down to the end-of-discharge voltage specified by the cell manufacturer. Then, measure the capacity of the cell. This discharge capacity is the retained capacity (Ah). The power density and regenerative power density shall also be measured.

Phase 4 – Repeat phase 2 and phase 3 for three times.

The capacity, power density, regenerative power density and retained capacity measured in phase 1 and phase 3 shall be reported.

If the cell is stored at room temperature during the test for rest such as for test timing adjustment, the total time of such rest shall be reported.

7.8 Cycle life test

7.8.1 General

This test is intended to determine the degradation characteristics of the cell by charge and discharge cycles representing the normal usage conditions of BEV and HEV applications.

The cycle life performance of a cell for BEV application and HEV application shall be determined according to the tests in 7.8.2 and 7.8.3.

The test sequence is shown in Annex B.

NOTE Selective test conditions are shown in Table A.3.

7.8.2 BEV cycle test

7.8.2.1 Measurement of initial performance

Before the charge and discharge cycle test, measure the capacity, dynamic discharge capacity, and power as the initial performance of the cell.

- Capacity
The capacity shall be measured as specified in 7.3 at 25 °C.
- Dynamic discharge capacity C_D

The dynamic discharge capacity C_D shall be measured at 25 °C and 45 °C.

The dynamic discharge capacity is defined by the time integrated value of charge and discharge current confirmed by the following test: Discharge the fully charged cell repeatedly by the dynamic discharge profile A specified in Table 3 and Figure 3 until the voltage reaches the lower limit specified by the cell manufacturer.

- Power

The power shall be measured as specified in 7.5 at 25 °C and 50 % SOC.

7.8.2.2 Charge and discharge cycle

The charge and discharge cycle test shall be performed as follows.

a) At the start of the test, cell temperature shall be 45 °C. The ambient temperature shall be 45 °C.

b) Test phases

The procedure from phase 1 to phase 5 shall be continuously repeated for 28 days. The rest time of less than 4 h can be set between each phase. Then, measure the performance of the cell as specified in 7.8.2.2 c). This procedure shall be repeated until the test termination specified in 7.8.2.2 d).

Phase 1 – The cell shall be fully discharged by the method specified by the cell manufacturer.

Phase 2 – The cells shall be fully charged by the method specified by the cell manufacturer. The charge time shall be less than 12 h.

Phase 3 – Discharge the cell following the dynamic discharge profile A specified in Table 3 and Figure 3 until the discharged capacity reaches equivalent to 50 % ± 5 % of the initial dynamic discharge capacity C_D at 45 °C.

If the voltage reaches the lower limit specified by the cell manufacturer during phase 3, the test shall be discontinued notwithstanding the stipulation in 7.8.2.2 d), and the cell performance shall be measured at this point as specified in 7.8.2.2 c).

If the temperature of the cell reaches the upper limit specified by the cell manufacturer during phase 3, the duration of test step 20 in Table 3 may be extended to an appropriate value. The actual duration time shall be reported.

If the voltage reaches the maximum limit specified by the cell manufacturer during a charge step in Table 3, constant-voltage charge at the maximum voltage shall be applied until the end of duration of this step.

In this profile, the test power shall be calculated using Equation (12):

$$P_{\max} = N W_{\text{ed}} \quad (12)$$

where

$P_{\max}$ is the test power (W);

N is the required maximum cell power (W) divided by the energy of the cell (Wh) with units of (1/h).

NOTE The value of $N = 3/h$ is an example based on the specifications of commercialized BEVs.

W_{ed} is the electric energy of the cell at room temperature (Wh) when discharged under specified conditions.

If the value derived from Equation (12) is larger than the maximum power of the cell specified by the cell manufacturer, the test power shall be defined as 80 % of the maximum power at room temperature and at 20 % SOC specified by the cell manufacturer. The power value actually used shall be reported.

Table 3 – Dynamic discharge profile A for BEV cycle test

Test step	Duration s	Ratio to test power %	Charge/discharge
1	16	0,0	–
2	28	+12,5	Discharge
3	12	+25,0	Discharge
4	8	–12,5	Charge
5	16	0,0	–
6	24	+12,5	Discharge
7	12	+25,0	Discharge
8	8	–12,5	Charge
9	16	0,0	–
10	24	+12,5	Discharge
11	12	+25,0	Discharge
12	8	–12,5	Charge
13	16	0,0	–
14	36	+12,5	Discharge
15	8	+100,0	Discharge
16	24	+62,5	Discharge
17	8	–25,0	Charge
18	32	+25,0	Discharge
19	8	–50,0	Charge
20	44	0,0	–

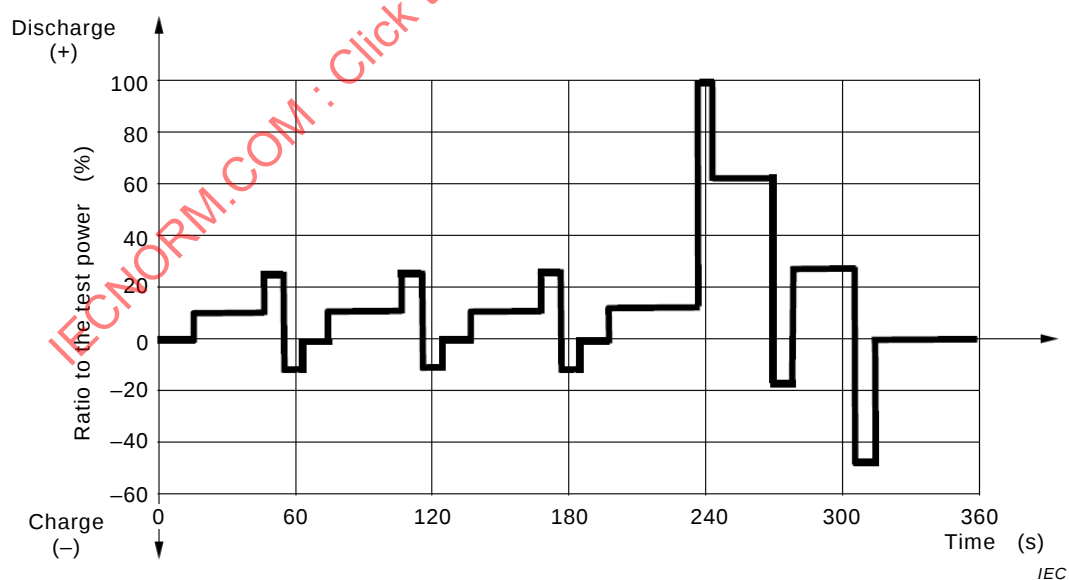


Figure 3 – Dynamic discharge profile A for BEV cycle test

Phase 4 – Discharge the cell following the dynamic discharge profile B (hill climbing profile) specified in Table 4 and Figure 4 for one time. The test power shall be calculated using Equation (12).

If the voltage reaches the lower limit specified by the cell manufacturer during phase 4, the test shall be discontinued notwithstanding the stipulation in 7.8.2.2 d), and the cell performance shall be measured at this point as specified in 7.8.2.2 c).

If the battery voltage frequently reaches the lower limit voltage during test step 16, the discharge power and duration may be changed appropriately. The actual test values shall be reported accordingly.

Table 4 – Dynamic discharge profile B for BEV cycle test

Test step	Duration s	Ratio to test power %	Charge/discharge
1	16	0,0	–
2	28	+12,5	Discharge
3	12	+25,0	Discharge
4	8	–12,5	Charge
5	16	0,0	–
6	24	+12,5	Discharge
7	12	+25,0	Discharge
8	8	–12,5	Charge
9	16	0,0	–
10	24	+12,5	Discharge
11	12	+25,0	Discharge
12	8	–12,5	Charge
13	16	0,0	–
14	36	+12,5	Discharge
15	8	+100,0	Discharge
16	120	+62,5	Discharge
17	8	–25,0	Charge
18	32	+25,0	Discharge
19	8	–50,0	Charge
20	44	0,0	–

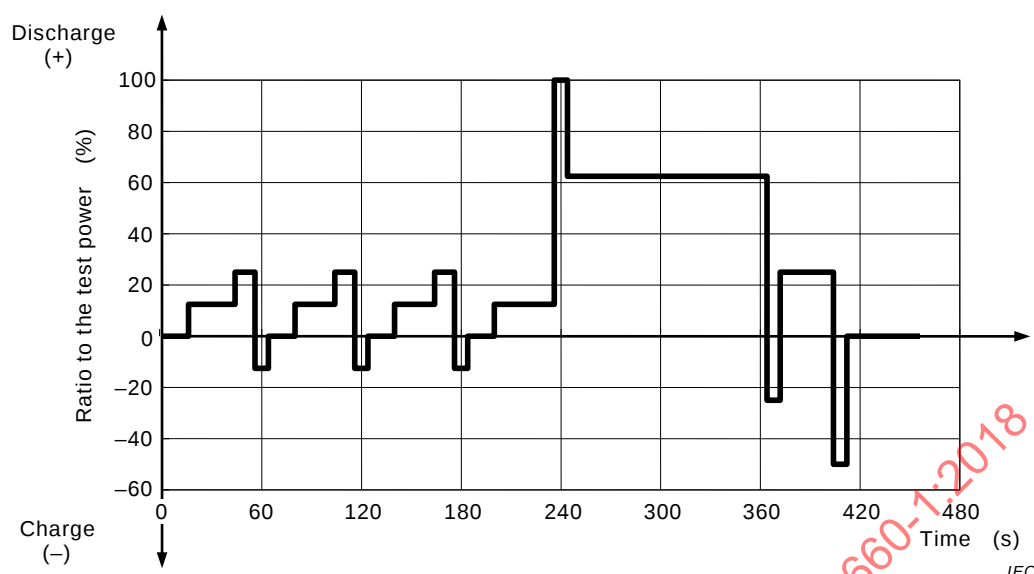


Figure 4 – Dynamic discharge profile B for BEV cycle test

Phase 5 – Discharge the cell following the dynamic discharge profile A specified in Table 3 and Figure 3 until the overall discharge capacity including phase 3 and phase 4 reaches equivalent to 80 % of initial C_D at 45 °C.

If the temperature of the cell reaches the upper limit specified by the cell manufacturer during phase 5, the duration of test step 20 in Table 3 may be extended to an appropriate value. The actual duration time shall be reported.

If the voltage reaches the lower limit specified by the cell manufacturer during phase 5, the test shall be discontinued notwithstanding the stipulation in 7.8.2.2 d), and the cell performance shall be measured at this point as specified in 7.8.2.2 c).

c) Periodical measurement of performance

After every completion of the repetition from phase 1 to phase 5 for 28 test days, the performance of the cell shall be measured as specified in 7.8.2.1. The accumulated time from phase 1 to phase 4 in 7.8.2.2 b) shall also be reported. The dynamic discharge capacity shall be measured at 25 °C only.

d) Termination of test

The cycle life test shall be terminated when either of the following conditions is satisfied. Otherwise, go back to 7.8.2.2 a) and repeat the test.

Condition A – The test sequence from 7.8.2.2 a) to 7.8.2.2 c) has been performed six times.

Condition B – Any of the performance parameters measured in 7.8.2.2 c) is decreased to less than 80 % of the initial value.

Condition C – The temperature of cell reaches the upper limit agreed between the cell manufacturer and the customer during the test.

The number of times that each profile and each cycle are implemented during the test shall be reported.

7.8.3 HEV cycle test

7.8.3.1 Measurement of initial performance

Before the charge and discharge cycle test, measure the capacity and power as the initial performance of cell.

- Capacity

The capacity shall be measured as specified in 7.3 at 25 °C.

- Power

The power shall be measured as specified in 7.5 at 25 °C and 50 % SOC.

7.8.3.2 Profile switching voltage

Before the cycle life test, set switching voltages at which discharge-rich profile and charge-rich profile specified in 7.8.3.3 c) shall be switched over.

a) Switching voltage from discharge-rich profile to charge-rich profile

Adjust the SOC of the cell to 30 % according to 7.4, and then perform the cycle test with discharge-rich profile at 45 °C for one time. The lowest voltage achieved during this test shall be the switching voltage from discharge-rich profile to charge-rich profile. If the achieved lowest voltage is lower than the cell manufacturer's specified lower limit voltage, the latter shall be the switching voltage. The cell manufacturer's recommended SOC of cell may be used additionally.

b) Switching voltage from charge-rich profile to discharge-rich profile

Adjust the SOC of the cell to 80 % according to 7.4, and then perform the cycle test with charge-rich profile at 45 °C for one time. The highest voltage achieved during this test shall be the switching voltage from charge-rich profile to discharge-rich profile. If the achieved highest voltage is higher than the cell manufacturer's specified upper limit voltage, the latter shall be used as switching voltage. The cell manufacturer's recommended SOC of cell may be used additionally.

7.8.3.3 Charge and discharge cycle

The charge and discharge cycle test shall be performed as follows.

a) Temperature

The ambient temperature shall be maintained at 45 °C during the test. At the start of charge and discharge cycle, cell temperature shall be 45 °C.

b) Adjustment of SOC before charge and discharge cycle

The cells shall be left at a temperature of 45 °C, and be adjusted to 80 % SOC or the SOC agreed between the cell manufacturer and the customer within an interval of 16 h to 24 h, in accordance with 7.4. If 80 % SOC is not used, the used SOC shall be reported.

c) Test phases

The procedure from phase 1 to phase 4 shall be continuously repeated until the test termination specified in 7.8.3.3 e). During the test, the performance of the cell shall be measured periodically as specified in 7.8.3.3 d).

If the temperature of the cell reaches the upper limit specified by the cell manufacturer during the test, the duration of test step 16 in Table 5 and Table 6 may be extended to an appropriate duration time. The actual duration time shall be reported.

Phase 1 – The charge and discharge cycle shall be carried out repeatedly through the discharge-rich profile given by Table 5 and Figure 5 until the cell voltage reaches the switching voltage set in 7.8.3.2 a) (see Figure 7).

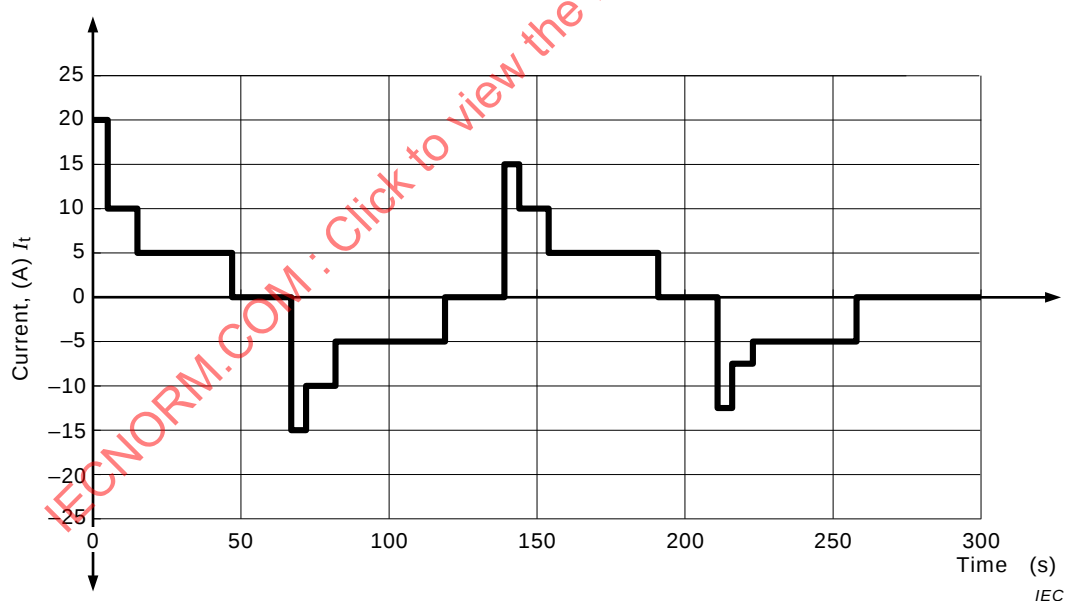
Phase 2 – The charge and discharge cycle shall be carried out repeatedly through the charge-rich profile given by Table 6 and Figure 6 until the cell voltage reaches the switching voltage set in 7.8.3.2 b) (see Figure 7).

Phase 3 – Repeat phase 1 and phase 2 for 22 h.

Phase 4 – Rest the cell for 2 h.

Table 5 – Discharge-rich profile for HEV cycle test

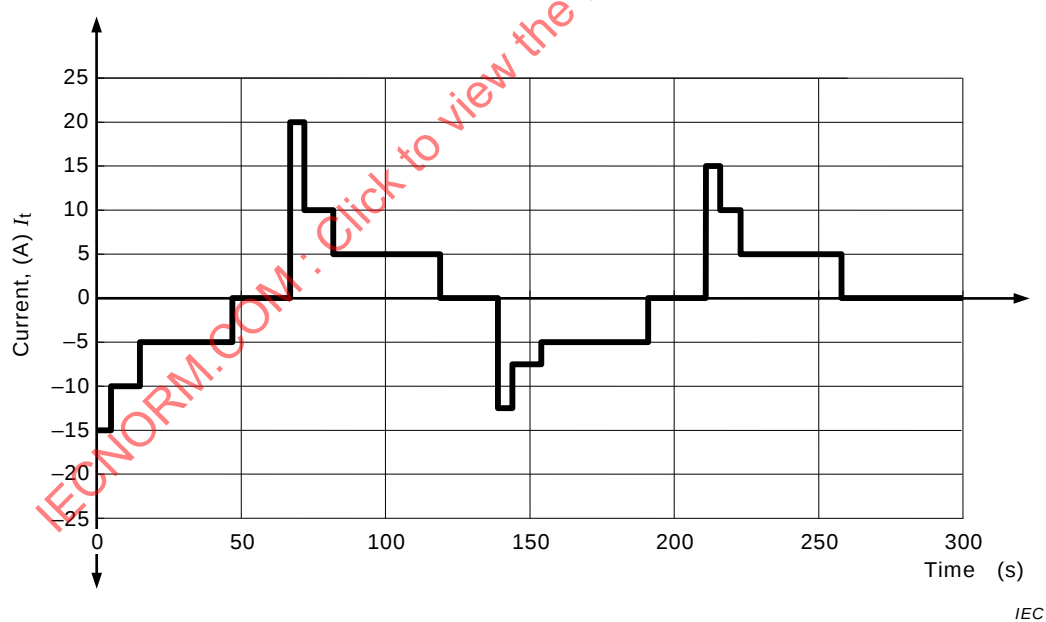
Test step	Duration s	Current A	Charge/discharge
1	5	$20 I_t$	Discharge
2	10	$10 I_t$	Discharge
3	32	$5 I_t$	Discharge
4	20	$0 I_t$	–
5	5	$-15 I_t$	Charge
6	10	$-10 I_t$	Charge
7	37	$-5 I_t$	Charge
8	20	$0 I_t$	–
9	5	$15 I_t$	Discharge
10	10	$10 I_t$	Discharge
11	37	$5 I_t$	Discharge
12	20	$0 I_t$	–
13	5	$-12,5 I_t$	Charge
14	7	$-7,5 I_t$	Charge
15	35	$-5 I_t$	Charge
16	42	$0 I_t$	–

**Figure 5 – Discharge-rich profile for HEV cycle test**

If the maximum current specified by the cell manufacturer is below $20I_t$, the cell manufacturer's specified maximum current may be used at test step 1, along with replacing the current at test step 6 with 50 % of the cell manufacturer's specified maximum current.

Table 6 – Charge-rich profile for HEV cycle test

Test step	Duration s	Current A	Charge/discharge
1	5	$-15 I_t$	Charge
2	10	$-10 I_t$	Charge
3	37	$-5 I_t$	Charge
4	20	$0 I_t$	–
5	5	$20 I_t$	Discharge
6	10	$10 I_t$	Discharge
7	32	$5 I_t$	Discharge
8	20	$0 I_t$	–
9	5	$-12,5 I_t$	Charge
10	7	$-7,5 I_t$	Charge
11	49	$-5 I_t$	Charge
12	20	$0 I_t$	–
13	5	$15 I_t$	Discharge
14	10	$10 I_t$	Discharge
15	23	$5 I_t$	Discharge
16	42	$0 I_t$	–

**Figure 6 – Charge-rich profile for HEV cycle test**

If the maximum current specified by the cell manufacturer is below $20I_t$, the cell manufacturer's specified maximum current may be used at test step 5, along with replacing the current at test step 2 with 50 % of the cell manufacturer's specified maximum current.

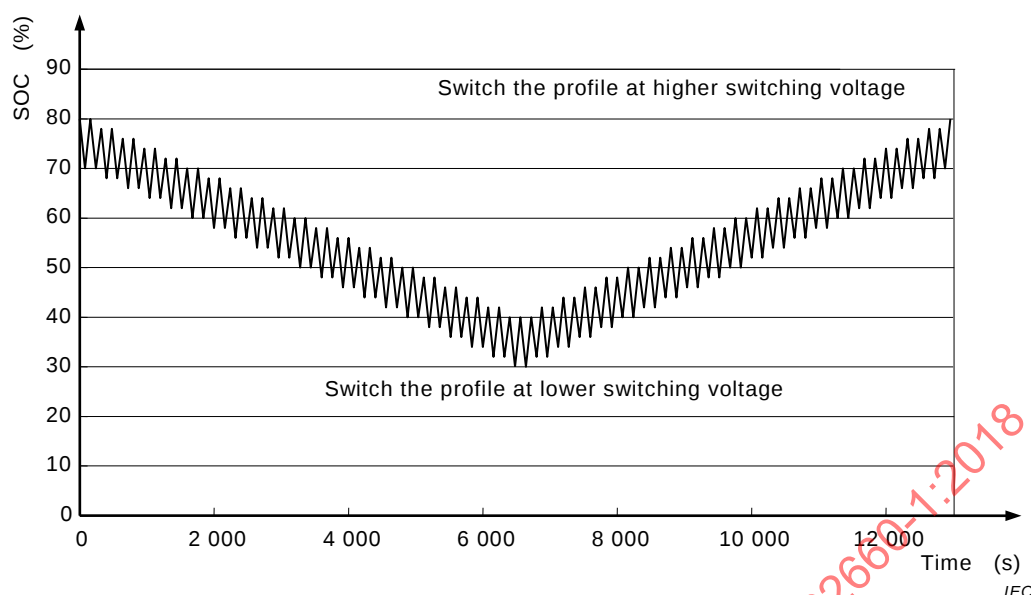


Figure 7 – Typical SOC swing by combination of two profiles for HEV cycle test

d) Periodical measurement of performance

After every completion of the procedure from phase 1 to phase 4 for seven days, the power of the cell shall be measured as specified in 7.8.3.1. The capacity of the cell shall be measured every 14 days as specified in 7.8.3.1.

e) Termination of test

The cycle life test shall be terminated when either of the following conditions is satisfied. Otherwise, go back to 7.8.3.3 a) and repeat the test.

Condition A – The test in 7.8.3.3 c) is repeated for a total of six months.

Condition B – Either of the performance parameters measured in 7.8.3.3 d) is decreased to less than 80 % of the initial value.

The number of times that each profile is implemented and that the switching voltages are reached shall be reported.

7.9 Energy efficiency test

7.9.1 General

This test is intended to determine the charging efficiency of a cell under the representative usage conditions of BEV or HEV application.

Energy efficiency of cells shall be determined by two common tests as specified in 7.9.2 and either of tests described in 7.9.3 and 7.9.4.

7.9.2 Common tests for BEV and HEV applications

7.9.2.1 Common test for normal conditions

This test aims to determine the efficiency of a cell in normal charging under the representative usage conditions of BEV and HEV applications.

This test is applicable to cells used in HEVs and BEVs. The test shall be carried out in accordance with the following procedure.

- The cell shall be left at rest at room temperature for a minimum of 1 h and a maximum of 4 h after full charge. The test shall then be commenced.
- Discharge the cell by the method specified in 7.3 at room temperature.

c) Energy efficiency test at 100 % SOC:

- 1) leave the cell at rest for 4 h, and then charge it to 100 % SOC by the method recommended by the cell manufacturer;
- 2) leave the cell at rest for 4 h, and then discharge it by the method specified in 7.3 at room temperature.

d) Energy efficiency test at 70 % SOC:

- 1) leave the cell at rest for 4 h, and then charge it to 70 % SOC by the method recommended by the cell manufacturer;
- 2) leave the cell at rest for 4 h, and then discharge it by the method specified in 7.3 at room temperature.

e) Calculation of the discharge electric quantity and charge electric quantity

The electric quantity during the discharge and charge can be calculated using the following method: read the discharge and charge currents I at intervals of s seconds ($s \leq 30$) from the start of the discharge; then, calculate the discharge electric quantity Q_d and charge electric quantity Q_c using Equation (13).

$$Q = \frac{I_1 + I_2 + \dots + I_n}{\frac{3600}{s}} \quad (13)$$

where

Q is the discharge electric quantity or charge electric quantity (Ah);

I_n is the discharge current value or charge current value at point n of measured intervals (A).

f) Calculation of the discharge electric energy and charge electric energy.

The electric energy during the discharge and charge can be calculated using the following method: read the discharge currents I and the discharge voltages U at intervals of s seconds ($s \leq 30$) from the start of discharge; then, calculate the discharge electric energy W_d and charge electric energy W_c using Equation (14).

$$W = \frac{I_1 U_1 + I_2 U_2 + \dots + I_n U_n}{\frac{3600}{s}} \quad (14)$$

where

W is the discharge electric energy or charge electric energy (Wh);

I_n is the charge current value or discharge current value at point n of measured intervals (A);

U_n is the discharge voltage value at point n of measured intervals (V).

g) Calculation of energy efficiency

Determine the coulomb efficiency using Equation (15) and the energy efficiency using Equation (16).

$$\eta_c = \frac{Q_d}{Q_c} \times 100 \quad (15)$$

where

η_c is the coulomb efficiency (%);

Q_d is the discharge electric quantity in 7.9.2.1 e) (Ah);

Q_c is the charge electric quantity in 7.9.2.1 e) (Ah).

$$\eta_e = \frac{W_d}{W_c} \times 100 \quad (16)$$

where

η_e is the energy efficiency (%);

W_d is the discharge electric energy in 7.9.2.1 f) (Wh);

W_c is the charge electric energy in 7.9.2.1 f) (Wh).

7.9.2.2 Test by temperature

This test is intended to determine the energy efficiency of a cell in normal charging at different temperature conditions.

This test is applicable to cells used in HEVs and BEVs.

The test shall be carried out in accordance with the following procedure at the test temperatures of $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, and $45\text{ }^{\circ}\text{C}$.

- a) Full charge at room temperature.
- b) Thermal equilibration of the cell at the test temperature, and start testing after a minimum of 16 h and a maximum 24 h.
- c) Discharge the cell by the method specified in 7.3 at each test temperature.
- d) Energy efficiency test at 100 % SOC:
 - 1) at each test temperature, leave the cell at rest for 4 h, and then charge it to 100 % SOC by the method recommended by the cell manufacturer;
 - 2) leave the battery at rest for 4 h, and then discharge it by the method specified in 7.3.
- e) Calculate discharge electric quantity and charge electric quantity using Equation (13).
- f) Calculate discharge electric energy and charge electric energy using Equation (14).
- g) Calculate coulomb efficiency and energy efficiency using Equation (15) and Equation (16).

The charge/discharge limits at low temperature specified by the cell manufacturer should be taken into account.

7.9.3 Test for cells of BEV application

This test is applicable to cells used in BEVs, and intended to determine the energy efficiency of a cell under fast charging conditions.

The test shall be carried out in accordance with the following procedure.

- a) The cell shall be left at rest at room temperature for a minimum of 1 h and a maximum of 4 h after full charge. The test shall then be commenced.
- b) Discharge the cell by the method specified in 7.3.
- c) Energy efficiency test at 80 % SOC:
 - 1) leave the cell at rest for 4 h, and then charge it to 80 % SOC at $2I_t$. If the voltage reached the upper limit voltage specified by the cell manufacturer, charging shall be terminated;

NOTE Selective test conditions are shown in Table A.4.

- 2) leave the cell at rest for more than 4 h until the cell has attained the test temperature, and then discharge it by the method specified in 7.3.
- d) Calculate discharge electric quantity and charge electric quantity using Equation (13).
- e) Calculate discharge electric energy and charge electric energy using Equation (14).

f) Calculation of energy efficiency

Determine the coulomb efficiency using Equation (17) and the energy efficiency using Equation (18).

$$\eta_{c1} = \frac{Q_{d1}}{Q_{c1}} \times 100 \quad (17)$$

where

η_{c1} is the coulomb efficiency (%);

Q_{d1} is the discharge electric quantity in 7.9.3 d) (Ah);

Q_{c1} is the charge electric quantity in 7.9.3 d) (Ah).

$$\eta_{e1} = \frac{W_{d1}}{W_{c1}} \times 100 \quad (18)$$

where

η_{e1} is the energy efficiency (%);

W_{d1} is the discharge electric energy in 7.9.3 e) (Wh);

W_{c1} is the charge electric energy in 7.9.3 e) (Wh).

7.9.4 Energy efficiency calculation for cells of HEV application

This test is applicable to cells used in HEVs, and intended to determine the energy efficiency of a cell under representative usage conditions of HEV application.

a) Calculation of the charge electric energy and discharge electric energy

Calculate the charge and discharge electric energy from the results of the test specified in 7.5 using Equation (19) and Equation (20). Round off the resulting values to three significant figures.

Read current values and voltage values at regular intervals from the current and voltage data collected during the charge and discharge cycles, which correspond to the charge and discharge patterns of duration $10I_t \times 10$ s. Use the standard measurement interval of 1 s. When the battery voltage after 10 s exceeds the discharge lower limit voltage or the charge upper limit voltage, perform the test using the current value in the lower stage of Table 1, and report the current value that was actually observed.

$$W_{c2} = \frac{I_{c1}U_{c1} + I_{c2}U_{c2} + \dots + I_{cn}U_{cn}}{3600} \quad (19)$$

where

W_{c2} is the charge electric energy (Wh);

I_{cn} is the charge current value at point n of measured intervals (A);

U_{cn} is the charge voltage value at point n of measured intervals (V).

$$W_{d2} = \frac{I_{d1}U_{d1} + I_{d2}U_{d2} + \dots + I_{dn}U_{dn}}{3600} \quad (20)$$

where

W_{d2} is the discharge electric energy (Wh);

I_{dn} is the discharge current value at point n of measured intervals (A);

U_{dn} is the discharge voltage value at point n of measured intervals (V).

b) Calculation of energy efficiency

Determine the energy efficiency using Equation (21).

$$\eta_{e2} = \frac{W_{d2}}{W_{c2}} \times 100 \quad (21)$$

where

η_{e2} is the energy efficiency (%);
 W_{d2} is the discharge electric energy (Wh);
 W_{c2} is the charge electric energy (Wh).

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62660-1:2018

Annex A (informative)

Selective test conditions

Annex A provides additional and selective conditions for the capacity test specified in 7.3, the power tests in 7.5, the cycle life test in 7.8, and the energy efficiency test in 7.9.3.

The test conditions "r" in Table A.1, Table A.2, Table A.3 and Table A.4 are specified in this document. In addition, the test conditions "a" may be selected based on the agreement between the cell manufacturer and the customer.

Table A.1 – Capacity test conditions

Application	Discharge current	Cell temperature			
		–20 °C	0 °C	25 °C	45 °C
BEV	0,2 I_t	a	a	a	a
	1/3 I_t	a	r	r	r
	1 I_t	a	a	a	a
	5 I_t	a	a	a	a
HEV	0,2 I_t	a	a	a	a
	1/3 I_t	a	a	a	a
	1 I_t	a	r	r	r
	10 I_t	a	a	a	a
	I_{dmax}	a	a	a	a

If the data deviation is larger than that of 1 I_t and 1/3 I_t , it shall be indicated.

Table A.2 – Power test conditions

Application	SOC	Cell temperature			
		–20 °C	0 °C	25 °C	40 °C
BEV	20 %	a	a	r	a
	50 %	r	r	r	r
	80 %	a	a	r	a
HEV	20 %	a	a	r	a
	50 %	r	r	r	r
	80 %	a	a	r	a

Table A.3 – Cycle life test conditions

Application	Ambient and cell temperature	
	25 °C	45 °C
BEV	a	r
HEV	a	r

Table A.4 – Conditions for energy efficiency test for BEV application

SOC	Charge current	Test condition
80 %	$2 I_t$	r
Manufacturer's recommended SOC	Manufacturer's recommended current	a

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62660-1:2018

Annex B (informative)

Cycle life test sequence

Annex B provides the test sequences of cycle life tests specified in 7.8. The test sequence and concept of BEV cycle are shown in Figure B.1 and Figure B.2. The test sequence of HEV cycle test is shown in Table B.1.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62660-1:2018

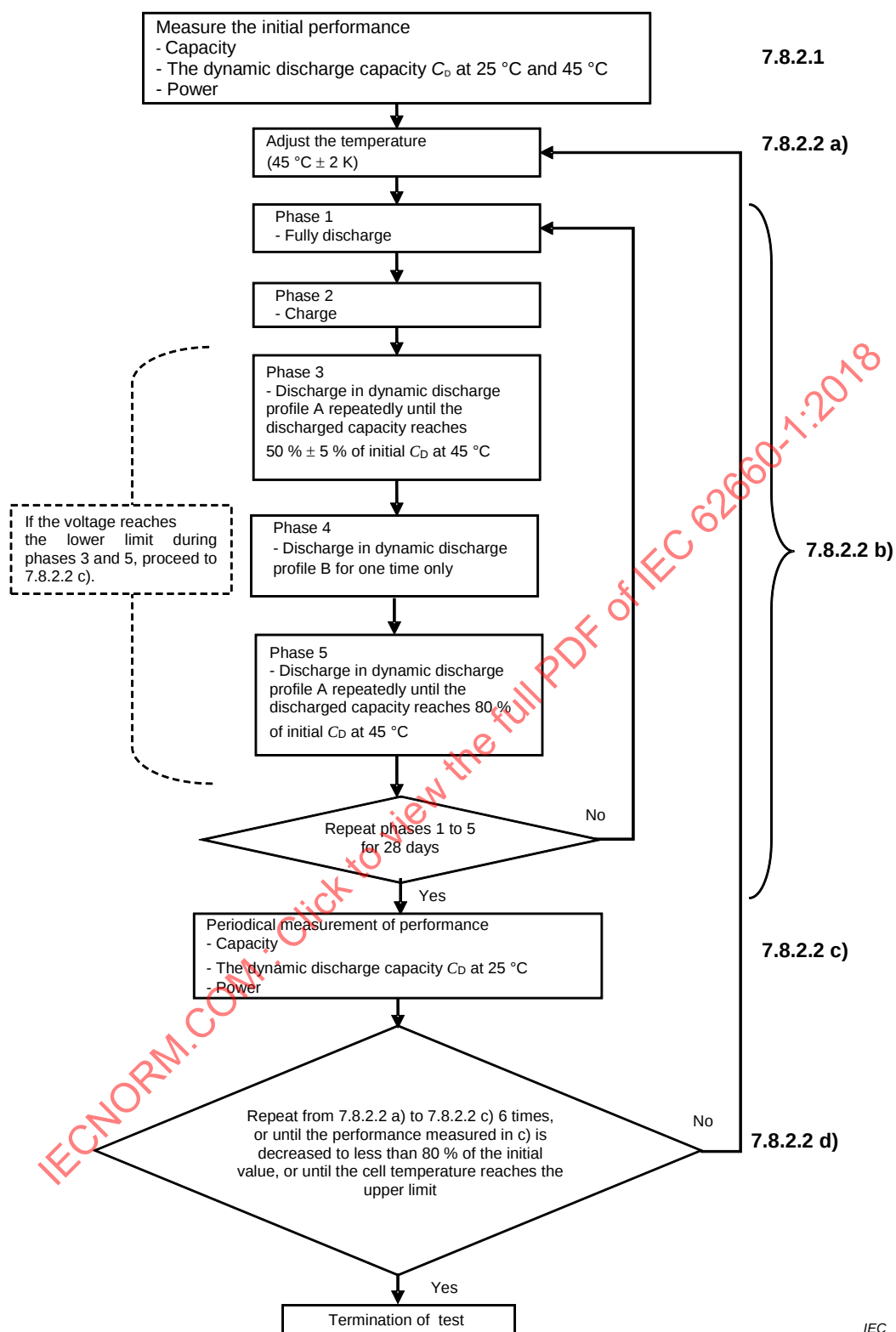


Figure B.1 – Test sequence of BEV cycle test

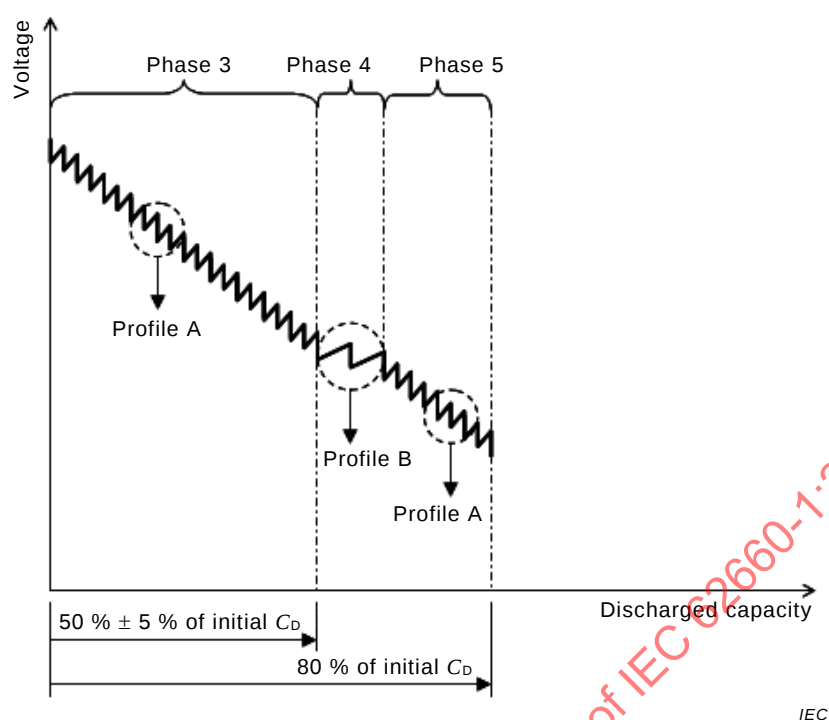


Figure B.2 – Concept of BEV cycle test

Table B.1 – Test sequence of HEV cycle test

		Test procedure	Temperature
7.8.3.1		Measure the initial performance – Capacity – Power	Room temperature
7.8.3.2 a)		Set the switching voltage from discharge-rich profile to charge-rich profile	45 °C
7.8.3.2 b)		Set the switching voltage from charge-rich profile to discharge-rich profile	
7.8.3.3 a)		Adjust the temperature to 45 °C	45 °C
7.8.3.3 b)		Adjust the SOC to 80 %	
7.8.3.3 c)	Phase 1	Repeat the cycle in discharge-rich profile until the switching voltage set in 7.8.3.2 a)	
	Phase 2	Repeat the cycle in charge-rich profile until the switching voltage set in 7.8.3.2 b)	
	Phase 3	Repeat phase 1 and phase 2 for 22 h	
	Phase 4	Rest for 2 h	
		Repeat the procedure from phase 1 to phase 4	
7.8.3.3 d)		Periodical measurement of performance – Capacity (every 14 days) – Power (every 7 days)	Room temperature
7.8.3.3 e)		Terminate the test when either of the following conditions is satisfied. If not satisfied, go back to 7.8.3.3 a) – Repeat 7.8.3.3 c) for 6 months – Either of the performance parameters measured in 7.8.3.3 d) is decreased to less than 80 % of the initial value	-

Annex C (informative)

Current-voltage characteristic test

C.1 General

Annex C describes the test method to determine the current-voltage characteristics of a cell, when the maximum current values for charge and discharge are not available for the power test in 7.5.

C.2 Test method

The test shall be conducted under each combination of SOC and cell temperature at the test commencement as specified in Table 2, according to the procedure specified by the cell manufacturer.

The test shall be performed according to the scheme shown in Figure C.1.

Charge and discharge the cell at the constant test currents in Table C.1, and measure the voltage at the end of the 10 s pulse of each test current. The range of the charge and discharge current shall be specified by the cell manufacturer, and the standard measurement interval shall be 1 s. If the voltage after 10 s exceeds the discharge lower limit voltage or charge upper limit voltage, the measurement data shall be omitted.

The charge/discharge limits at low temperature specified by the cell manufacturer should be taken into account.

Table C.1 – Charge and discharge current for the current-voltage characteristic test

Application	Charge and discharge current			
	A			
BEV	$1/3 I_t$	$1 I_t$	$2 I_t$	$5 I_t$
HEV	$1/3 I_t$	$1 I_t$	$5 I_t$	$10 I_t$

10-min rest time shall be provided between charge and discharge pulses as well as between discharge and charge pulses. However, if the cell temperature after 10 min is not within 2 K of test temperature, it shall be cooled further. Alternatively, the rest time duration shall be extended and it shall be inspected whether the cell temperature then settles within 2 K. The next discharging or charging procedure is then performed.

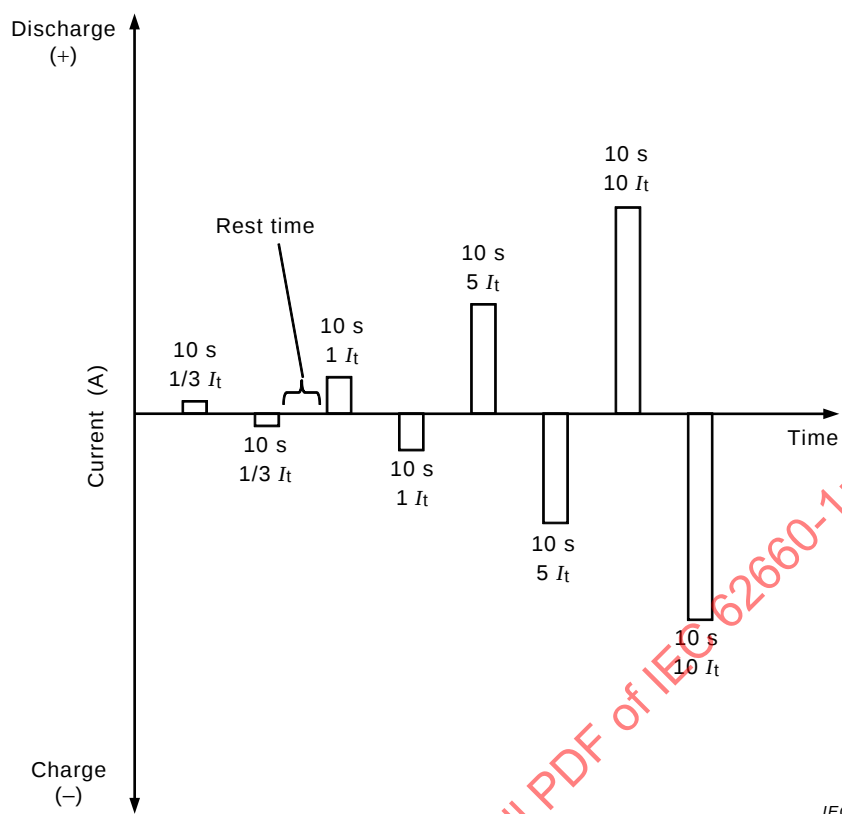


Figure C.1a – Test order of the current-voltage characteristic test for HEV application

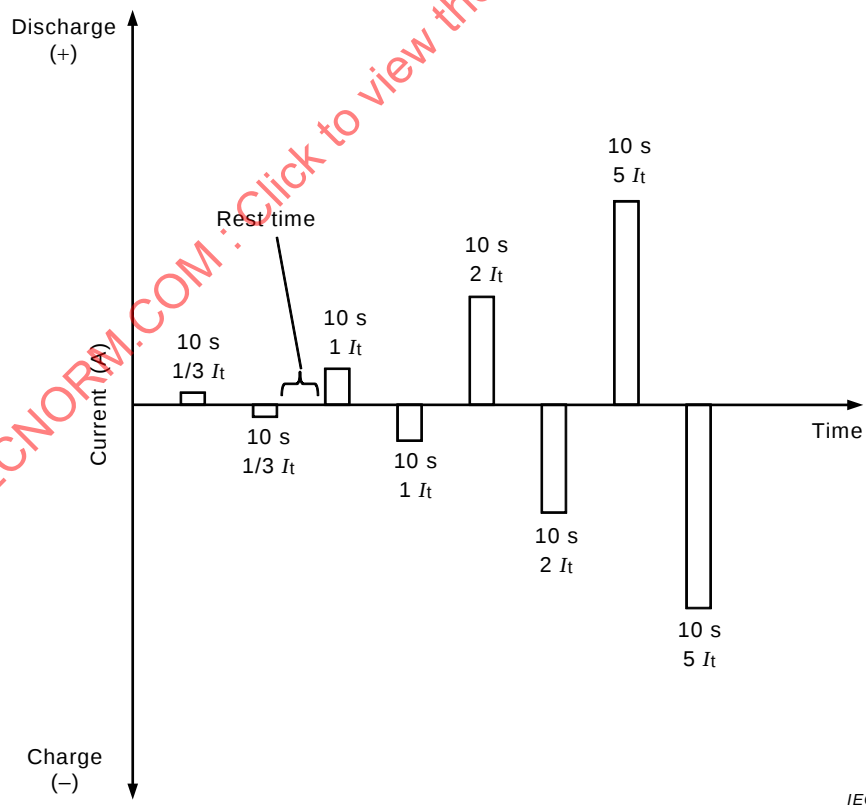


Figure C.1b – Test order of the current-voltage characteristic test for BEV application

Figure C.1 – Test order of the current-voltage characteristic test

Using the measured values of current and voltage, the current-voltage characteristic line shall be obtained by straight-line approximation, and the maximum current for charge and discharge (I_{dmax} , I_{cmax}) and power shall be calculated. The slope of this line shows the internal resistance of the cell.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62660-1:2018

Bibliography

- [1] ISO 12405-4, *Electrically propelled road vehicles – Test specification for lithium-ion traction battery packs and systems – Part 4: Performance testing*
 - [2] IEC 62660-2, *Secondary lithium-ion cells for the propulsion of electric road vehicles – Part 2: Reliability and abuse testing*
 - [3] IEC 62660-3, *Secondary lithium-ion cells for the propulsion of electric road vehicles – Part 3: Safety requirements*
 - [4] IEC 61434:1996, *Secondary cells and batteries containing alkaline or other non-acid electrolytes – Guide to the designation of current in alkaline secondary cell and battery standards*
-

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62660-1:2018

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	42
INTRODUCTION.....	44
1 Domaine d'application	45
2 Références normatives	45
3 Termes et définitions	45
4 Conditions d'essai	47
4.1 Généralités	47
4.2 Instruments de mesure	47
4.2.1 Amplitude des dispositifs de mesure	47
4.2.2 Mesure de la tension	47
4.2.3 Mesure du courant.....	47
4.2.4 Mesure de la température	47
4.2.5 Autres mesures	48
4.3 Tolérance	48
4.4 Stabilisation thermique.....	48
5 Mesure des dimensions	48
6 Mesure de la masse	50
7 Mesures électriques	50
7.1 Généralités	50
7.2 Conditions générales de charge.....	50
7.3 Capacité	50
7.4 Ajustement de l'état de charge (SOC)	51
7.5 Puissance	51
7.5.1 Généralités	51
7.5.2 Méthode d'essai	51
7.5.3 Calcul de la densité de puissance.....	52
7.5.4 Calcul de la densité de puissance régénérative	53
7.6 Énergie	53
7.6.1 Généralités	53
7.6.2 Méthode d'essai	54
7.6.3 Calcul de la densité d'énergie	54
7.7 Essai de stockage.....	55
7.7.1 Généralités	55
7.7.2 Essai de conservation de la charge	55
7.7.3 Essai de restitution de performance après stockage	56
7.8 Essai de durée de vie en cyclage.....	56
7.8.1 Généralités	56
7.8.2 Essai en cyclage BEV.....	56
7.8.3 Essai en cyclage HEV.....	60
7.9 Essai de rendement en énergie.....	64
7.9.1 Généralités	64
7.9.2 Essais communs aux applications BEV et HEV	64
7.9.3 Essai des éléments en application BEV	66
7.9.4 Calcul du rendement en énergie pour les éléments en application HEV	67
Annexe A (informative) Conditions d'essai sélectives.....	69
Annexe B (informative) Séquence des essais de durée de vie en cyclage	71

Annexe C (informative) Essai des caractéristiques courant-tension.....	74
C.1 Généralités	74
C.2 Méthode d'essai.....	74
Bibliographie.....	77
Figure 1 – Exemple de mesure de la température d'un élément	48
Figure 2 – Exemples de dimensions maximales de l'élément	49
Figure 3 – Profil dynamique de décharge A pour l'essai de durée de vie – BEV	58
Figure 4 – Profil dynamique de décharge B pour l'essai de durée de vie – BEV	60
Figure 5 – Profil à décharge dominante pour l'essai de durée de vie – HEV	62
Figure 6 – Profil à charge dominante pour l'essai de durée de vie – HEV	63
Figure 7 – Variation typique du SOC par combinaison de deux profils pour l'essai de durée de vie – HEV.....	64
Figure B.1 – Séquence des essais de durée de vie relatifs à l'application BEV	72
Figure B.2 – Concept de l'essai de durée de vie relatif à l'application BEV.....	73
Figure C.1 – Ordre des essais des caractéristiques courant-tension.....	75
Tableau 1 – Conditions de décharge	50
Tableau 2 – SOC et température pour l'essai de puissance	51
Tableau 3 – Profil dynamique de décharge A pour l'essai de durée de vie – BEV.....	58
Tableau 4 – Profil dynamique de décharge B pour l'essai de durée de vie – BEV.....	59
Tableau 5 – Profil à décharge dominante pour l'essai de durée de vie – HEV	62
Tableau 6 – Profil à charge dominante pour l'essai de durée de vie – HEV	63
Tableau A.1 – Conditions d'essai de capacité	69
Tableau A.2 – Conditions d'essai de puissance.....	69
Tableau A.3 – Conditions d'essai de durée de vie en cyclage	69
Tableau A.4 – Conditions d'essai de rendement en énergie relatives à l'application BEV 70	
Tableau B.1 – Séquence des essais de durée de vie relatifs à l'application HEV	73
Tableau C.1 – Courant de charge et de décharge pour l'essai des caractéristiques courant-tension.....	74

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

ÉLÉMENTS D'ACCUMULATEURS LITHIUM-ION POUR LA PROPULSION DES VÉHICULES ROUTIERS ÉLECTRIQUES –

Partie 1: Essais de performance

AVANT-PROPOS

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

La Norme internationale IEC 62660-1 a été établie par le comité d'études 21 de l'IEC: Accumulateurs.

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition parue en 2010. Cette édition constitue une révision technique.

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

- a) L'objet de chaque essai a été ajouté.
- b) L'essai de puissance a été révisé pour clarification, et une partie informative de l'essai des caractéristiques courant-tension a été transférée à la nouvelle Annexe C.

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

FDIS	Rapport de vote
21/975/FDIS	21/985/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 internationale.

Ce document a été rédigé selon les Directives ISO/IEC, Partie 2.

Une liste de toutes les parties de la série IEC 62660, publiées sous le titre général *Éléments d'accumulateurs lithium-ion pour la propulsion des véhicules routiers électriques*, peut être consultée sur le site web de l'IEC.

Le comité a décidé que le contenu de ce document 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 au document recherché. À cette date, le document sera

- reconduit,
- supprimé,
- remplacé par une édition révisée, ou
- amendé.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62660-1:2018

INTRODUCTION

La commercialisation des véhicules routiers électriques, comprenant les véhicules électriques à batterie, les véhicules électriques hybrides et les véhicules électriques hybrides rechargeables, a été accélérée sur le marché international, répondant ainsi aux préoccupations mondiales concernant la réduction du CO₂ et la sécurité en matière d'énergie. Par voie de conséquence, cela a conduit à une demande rapidement croissante de batteries de traction de forte puissance et de grande densité énergétique. Il est estimé que les batteries lithium-ion sont les accumulateurs les plus prometteurs pour la propulsion des véhicules électriques. Du fait de la diffusion rapide des véhicules électriques hybrides et de l'émergence des véhicules électriques à batterie et hybrides rechargeables, une méthode normalisée d'essai relative aux exigences de performance des batteries lithium-ion est indispensable pour fixer un niveau de performance de base et obtenir des données essentielles pour la conception des systèmes des véhicules et des packs de batteries.

Le présent document spécifie les essais de performance des éléments lithium-ion destinés à la traction automobile qui diffèrent fondamentalement des autres éléments y compris ceux destinés aux applications portatives et fixes spécifiées par d'autres normes IEC. Dans le cas d'une application automobile, il est important de tenir compte de la spécificité d'usage, c'est-à-dire la diversité de conception des packs et des systèmes de batteries pour automobile, ainsi que de la diversité des exigences spécifiques relatives aux éléments et aux batteries correspondant à chacune de ces conceptions. Basé sur ces faits, le but du présent document est de fournir une méthodologie fondamentale d'essai ayant une polyvalence générale, remplissant une fonction d'essais préliminaires communs pour les éléments lithium-ion destinés à être utilisés dans divers systèmes de batteries.

Le présent document est associé à l'ISO 12405-4 [1].

L'IEC 62660-2 [2] spécifie les essais de fiabilité et de traitement abusif des éléments lithium-ion pour application aux véhicules électriques.

L'IEC 62660-3 [3] spécifie les exigences de sécurité des éléments lithium-ion pour application aux véhicules électriques.

¹ Les chiffres entre crochets se réfèrent à la Bibliographie.

ÉLÉMENTS D'ACCUMULATEURS LITHIUM-ION POUR LA PROPULSION DES VÉHICULES ROUTIERS ÉLECTRIQUES –

Partie 1: Essais de performance

1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 62660 spécifie les essais de performance et de durée de vie des accumulateurs lithium-ion utilisés pour la propulsion des véhicules électriques, incluant les véhicules électriques à batterie (BEV) et les véhicules électriques hybrides (HEV).

NOTE 1 Les éléments d'accumulateurs lithium-ion pour la propulsion des véhicules électriques hybrides rechargeables (PHEV) peuvent être soumis à l'essai avec la procédure pour application BEV ou pour application HEV, selon la conception des systèmes de batteries, sur la base de l'accord entre le fabricant de l'élément et le client.

Le présent document spécifie les procédures d'essai afin d'obtenir les caractéristiques essentielles des éléments lithium-ion destinés aux applications de propulsion de véhicules; ces caractéristiques concernent la capacité, la densité de puissance, la densité d'énergie, la durée de stockage et la durée de vie.

Le présent document spécifie les procédures d'essai et les conditions normalisées pour effectuer les essais des caractéristiques de performance fondamentales des éléments lithium-ion destinés aux applications de propulsion de véhicules; ces caractéristiques sont indispensables pour fixer un niveau de performance de base et obtenir des données essentielles pour différentes conceptions de systèmes de batteries et de packs de batteries.

NOTE 2 En plus des conditions spécifiées dans le présent document, des conditions d'essai spécifiques, basées sur un accord entre le fabricant de l'élément et le client, peuvent être choisies. Des conditions d'essai sélectives sont décrites à l'Annexe A.

NOTE 3 Les essais de performance des éléments lithium-ion connectés électriquement peuvent être effectués en faisant référence au présent document.

NOTE 4 La spécification d'essai pour les packs et systèmes de batteries est définie dans l'ISO 12405-4 [1].

2 Références normatives

Les documents suivants cités dans le texte constituent, pour tout ou partie de leur contenu, des exigences 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).

ISO/TR 8713, *Véhicules routiers électriques – Vocabulaire*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions de l'ISO/TR 8713, ainsi que les suivants s'appliquent.

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

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

3.1

véhicule électrique à batterie

BEV

véhicule électrique comportant seulement une batterie d'accumulateurs de traction comme source d'énergie pour sa propulsion

Note 1 à l'article: L'abréviation "BEV" est dérivée du terme anglais développé correspondant "battery electric vehicle".

3.2

véhicule électrique hybride

HEV

véhicule comportant à la fois un système de stockage d'énergie électrique rechargeable et une source d'énergie à carburant pour sa propulsion

Note 1 à l'article: L'abréviation "HEV" est dérivée du terme anglais développé correspondant "hybrid electric vehicle".

3.3

capacité assignée

C_n

valeur de la capacité d'un élément en ampères-heures (Ah) déterminée dans des conditions spécifiées et déclarée par le fabricant de l'élément

Note 1 à l'article: n dans C_n est le temps de base en heures (h). Dans le présent document, $n = 3$ pour l'application BEV et $n = 1$ pour l'application HEV, sauf spécification contraire.

3.4

I_t

courant d'essai de référence en ampères (A), exprimé comme

$$I_t = C_n / 1$$

Note 1 à l'article: 1 a une dimension temporelle exprimée en heures (h).

Note 2 à l'article: Voir l'Article 2 de l'IEC 61434:1996 [4].

3.5

température ambiante

température de $25\text{ °C} \pm 2\text{ K}$

3.6

accumulateur lithium-ion

élément d'accumulateur

accumulateur unitaire dont l'énergie électrique provient des réactions d'insertion et d'extraction d'ions lithium entre l'anode et la cathode

Note 1 à l'article: L'accumulateur lithium-ion est un dispositif unitaire manufacturé élémentaire fournissant une source d'énergie électrique par conversion directe de l'énergie chimique. Il est constitué d'électrodes, de séparateurs, d'électrolyte, du conteneur et des bornes; il est conçu pour être chargé électriquement.

3.7

état de charge

SOC

capacité d'un élément, exprimée en pourcentage de la capacité assignée

Note 1 à l'article: L'abréviation "SOC" est dérivée du terme anglais développé correspondant "state of charge".

3.8

conservation de charge

aptitude d'un élément à conserver sa capacité en circuit ouvert dans des conditions spécifiées de stockage

4 Conditions d'essai

4.1 Généralités

Les caractéristiques des instruments de mesure utilisés doivent être données dans tous les rapports de résultats.

L'essai et les mesures doivent être effectués avec soin pour éviter tout court-circuit.

NOTE L'essai et les mesures peuvent être effectués dans des conditions de fixation recommandées par le fabricant de l'élément.

4.2 Instruments de mesure

4.2.1 Amplitude des dispositifs de mesure

Les appareils utilisés doivent permettre de mesurer les valeurs de tension, de courant et de température. L'amplitude et les méthodes de mesure de ces instruments doivent être choisies de façon à garantir la précision spécifiée pour chaque essai.

Pour des instruments analogiques, cela implique que les lectures doivent être effectuées sur le dernier tiers de l'échelle graduée.

Tout autre instrument de mesure peut être utilisé dans la mesure où il donne une précision équivalente.

4.2.2 Mesure de la tension

La résistance des voltmètres utilisés doit être d'au moins 1 M Ω /V.

4.2.3 Mesure du courant

L'ensemble complet ampèremètre, shunt et fils doit être d'une classe de précision supérieure ou égale à 0,5.

4.2.4 Mesure de la température

La température de l'élément doit être mesurée à l'aide d'un dispositif de mesure de la température de surface permettant une définition d'échelle et une précision d'étalonnage équivalentes à celles spécifiées en 4.2.1. La température doit être mesurée à l'endroit qui reflète le mieux la température de l'élément. La température peut être mesurée à d'autres endroits appropriés, si nécessaire.

La Figure 1 donne des exemples de mesure de la température. Les instructions de mesure de la température spécifiées par le fabricant de l'élément doivent être respectées.

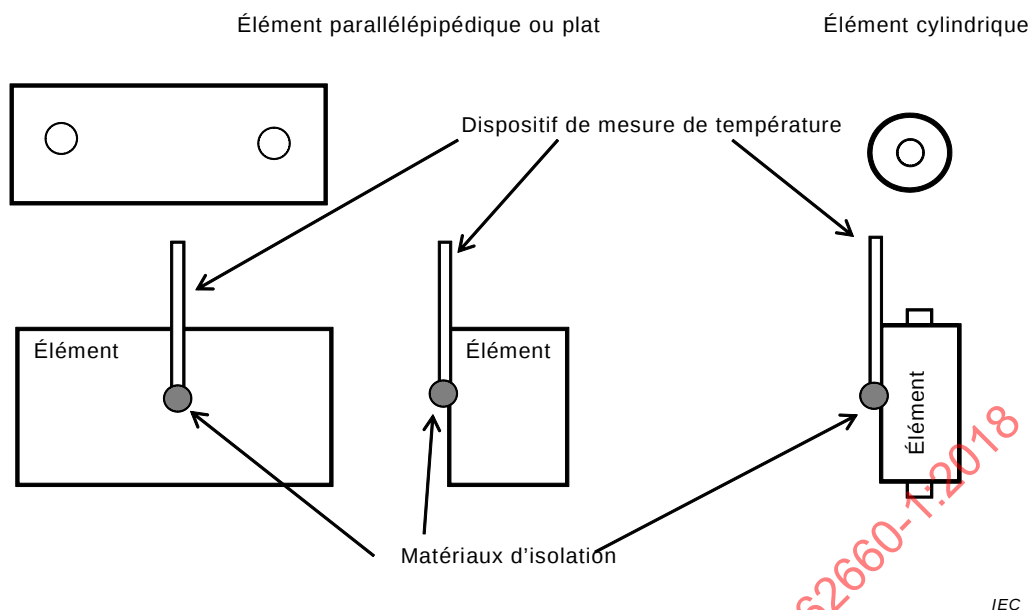


Figure 1 – Exemple de mesure de la température d'un élément

4.2.5 Autres mesures

D'autres valeurs peuvent être mesurées au moyen d'un appareil de mesure, à condition qu'il satisfasse à 4.3.

4.3 Tolérance

La précision globale des valeurs contrôlées ou mesurées, relatives aux valeurs spécifiées ou réelles, doit être comprise dans les tolérances suivantes:

- a) $\pm 0,1 \%$ pour la tension;
- b) $\pm 1 \%$ pour le courant;
- c) $\pm 2 \text{ K}$ pour la température;
- d) $\pm 0,1 \%$ pour le temps;
- e) $\pm 0,1 \%$ pour la masse;
- f) $\pm 0,1 \%$ pour les dimensions.

Ces tolérances comprennent la précision combinée des instruments de mesure, de la technique de mesure utilisée, et de toutes les autres sources d'erreur de la procédure d'essai.

4.4 Stabilisation thermique

Pour stabiliser la température de l'élément, celui-ci doit être trempé à une température ambiante spécifiée pendant au moins 12 h. Cette durée peut être réduite si la stabilisation thermique est atteinte. La stabilisation thermique est considérée comme étant atteinte si, dans un intervalle de temps de 1 h, la variation de température de l'élément est inférieure à 1 K.

5 Mesure des dimensions

La dimension maximale de largeur totale, d'épaisseur totale ou de diamètre, et de hauteur totale d'un élément doit être mesurée à la température ambiante avec trois chiffres significatifs, selon les tolérances de 4.3.

Des exemples de dimensions maximales sont donnés aux Figures 2a à 2f.

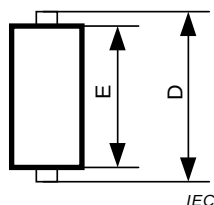
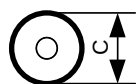


Figure 2a – Élément cylindrique (1)

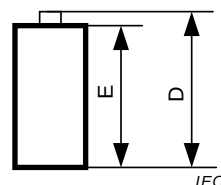
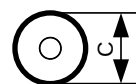


Figure 2 b – Élément cylindrique (2)

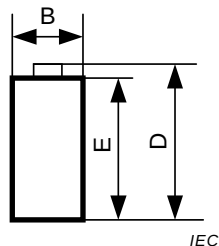
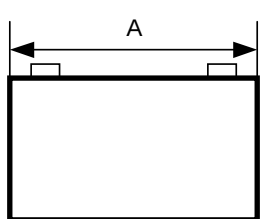


Figure 2c – Élément parallélépipédique (1)

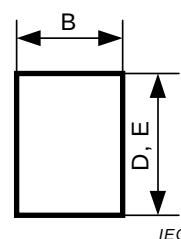
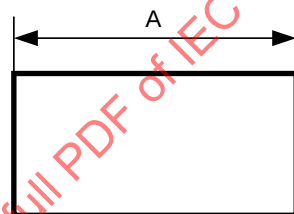


Figure 2d – Élément parallélépipédique (2)

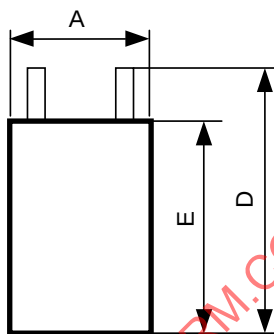


Figure 2e – Élément parallélépipédique en pochette laminée (1)

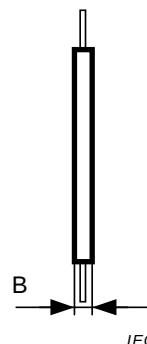
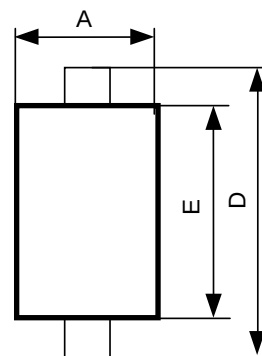


Figure 2f – Élément parallélépipédique en pochette laminée (2)

Légende

A largeur totale
B épaisseur totale
C diamètre

D hauteur totale (bornes comprises)
E hauteur totale (bornes non comprises)

Figure 2 – Exemples de dimensions maximales de l'élément

NOTE Les éléments parallélépipédiques sont fournis avec soit un étui métallique rigide soit une pochette souple laminée. L'élément parallélépipédique en pochette laminée est habituellement appelé "élément en pochette".

Le volume d'un élément parallélépipédique est donné par le produit de sa hauteur totale (bornes non comprises), de sa largeur totale et de son épaisseur totale, et celui d'un élément cylindrique est donné par le produit de la section transversale cylindrique et de sa hauteur totale (bornes non comprises).

6 Mesure de la masse

La masse d'un élément est mesurée à la température ambiante avec trois chiffres significatifs, selon les tolérances de 4.3.

7 Mesures électriques

7.1 Généralités

Durant chaque essai, la tension, le courant et la température doivent être enregistrés.

Avant chaque essai, la température de l'élément doit être stabilisée à la température ambiante selon 4.4, sauf spécification contraire.

La température ambiante doit être la température de la pièce, sauf spécification contraire.

7.2 Conditions générales de charge

Sauf indication contraire dans le présent document, avant l'essai de mesures électriques, l'élément doit être chargé comme indiqué ci-après.

Avant la charge, l'élément doit être déchargé à la température ambiante à un courant constant donné dans le Tableau 1 jusqu'à une tension finale spécifiée par le fabricant de l'élément. Puis l'élément doit être chargé à la température ambiante conformément à la méthode de charge préconisée par le fabricant de l'élément, à la température ambiante.

7.3 Capacité

La capacité d'un élément doit être mesurée conformément aux étapes suivantes.

Étape 1 – L'élément doit être chargé conformément à 7.2.

Après la recharge, la température de l'élément doit être stabilisée conformément à 4.4.

Étape 2 – L'élément doit être déchargé à la température spécifiée, à un courant constant I_t (A), jusqu'à la tension finale donnée par le fabricant de l'élément. Les courants de décharge et les températures de l'élément indiqués dans le Tableau 1 doivent être utilisés.

En complément des conditions du Tableau 1, des conditions d'essai spécifiques peuvent être sélectionnées sur la base d'un accord entre le fabricant de l'élément et le client. Des conditions d'essai sélectives sont présentées dans le Tableau A.1.

Tableau 1 – Conditions de décharge

Température de l'élément °C	Courant de décharge A	
	Application BEV	Application HEV
0	$1/3 I_t$	$1 I_t$
25		
45		

Étape 3 – Mesurer la durée de décharge jusqu'à atteindre la tension finale spécifiée. Calculer la capacité de l'élément, exprimée en Ah, avec trois chiffres significatifs, en multipliant le courant de décharge (A) par la durée de décharge (h).

7.4 Ajustement de l'état de charge (SOC)

Les éléments d'essai doivent être chargés comme indiqué ci-dessous, sauf spécification contraire. L'ajustement de l'état de charge (SOC) est la procédure à suivre pour préparer les éléments aux différents états de charge (SOC) destinés aux essais du présent document.

Étape 1 – L'élément doit être chargé conformément à 7.2.

Étape 2 – L'élément doit être laissé au repos, à la température ambiante, conformément à 4.4.

Étape 3 – L'élément doit être déchargé à un courant constant conformément au Tableau 1, c'est-à-dire au $(100 - n)/100 \times 3$ h pour une application BEV et $(100 - n)/100 \times 1$ h pour une application HEV, où n est le SOC (%) à ajuster à chaque essai.

7.5 Puissance

7.5.1 Généralités

Cet essai a pour objet de déterminer les caractéristiques de puissance d'un élément dans les conditions d'utilisation représentatives des applications BEV et HEV.

En se fondant sur l'essai des caractéristiques courant-tension en 7.5.2, la densité de puissance et la densité de puissance régénérative d'un élément doivent être calculées conformément à 7.5.3 et 7.5.4, respectivement.

La densité de puissance et la densité de puissance régénérative doivent être calculées et consignées pour chaque combinaison de SOC et de température en 7.5.2.

7.5.2 Méthode d'essai

L'essai doit être effectué conformément à la procédure suivante.

a) Mesure de la masse

La masse de l'élément doit être mesurée comme indiqué à l'Article 6.

b) Mesure des dimensions

Les dimensions de l'élément doivent être mesurées comme indiqué à l'Article 5.

c) Ajustement du SOC et de la température

L'essai en 7.5.2-d) doit être réalisé pour chaque combinaison de SOC et de température de l'élément au début de l'essai, tels que spécifiés dans le Tableau 2, conformément à la procédure définie par le fabricant de l'élément.

Le SOC doit être ajusté conformément à 7.4.

Tableau 2 – SOC et température pour l'essai de puissance

SOC %	Température de l'élément °C			
20	25			
50	-20	0	25	40
80	25			

NOTE Des conditions d'essai sélectives sont présentées dans le Tableau A.2.

d) Essai des caractéristiques courant-tension

Décharger l'élément pendant 10 s au courant de décharge maximal spécifié par le fabricant de l'élément (I_{dmax}), et mesurer la tension à la fin de l'impulsion de 10 s (U_d).

Charger l'élément pendant 10 s au courant de charge maximal spécifié par le fabricant de l'élément (I_{cmax}), et mesurer la tension à la fin de l'impulsion de 10 s (U_c).

Les valeurs de I_{dmax} et I_{cmax} varient en fonction du SOC, de la température d'essai et de l'état de charge ou de décharge.

Il convient de prendre en considération les limites de charge et de décharge du courant et de la tension à basse température spécifiées par le fabricant.

En l'absence de I_{dmax} et I_{cmax} les valeurs peuvent être obtenues à partir de l'essai spécifié à l'Annexe C.

7.5.3 Calcul de la densité de puissance

7.5.3.1 Calcul de la puissance

La puissance doit être calculée conformément à l'Équation (1) et est arrondie à trois chiffres significatifs.

$$P_d = U_d \times I_{dmax} \quad (1)$$

où

P_d est la puissance (W);

U_d est la tension mesurée à la fin de l'impulsion de décharge I_{dmax} de 10 s (V);

I_{dmax} est le courant de décharge maximal spécifié par le fabricant de l'élément (A).

Si P_d est une valeur estimée, cela doit être indiqué.

7.5.3.2 Densité de puissance par unité de masse

La densité de puissance massique doit être calculée à partir de l'Équation (2), et est arrondie à trois chiffres significatifs.

$$\rho_{pd} = \frac{P_d}{m} \quad (2)$$

où

ρ_{pd} est la densité de puissance massique (W/kg);

P_d est la puissance (W);

m est la masse de l'élément (kg).

7.5.3.3 Densité de puissance par unité de volume

La densité de puissance volumique doit être calculée à partir de l'Équation (3), et est arrondie à trois chiffres significatifs.

$$\rho_{pvlm} = \frac{P_d}{V} \quad (3)$$

où

ρ_{pvlm} est la densité de puissance volumique (W/l);

P_d est la puissance (W);

V est le volume de l'élément (l).

7.5.4 Calcul de la densité de puissance régénérative

7.5.4.1 Puissance régénérative

La puissance régénérative doit être calculée conformément à l'Équation (4) et est arrondie à trois chiffres significatifs.

$$P_c = U_c \times I_{cmax} \quad (4)$$

où

P_c est la puissance régénérative (W);

U_c est la tension mesurée à la fin de l'impulsion de la charge I_{cmax} de 10 s (V);

I_{cmax} est le courant de charge maximal spécifié par le fabricant de l'élément (A).

Si P_c est une valeur estimée, cela doit être indiqué.

7.5.4.2 Densité de puissance régénérative par unité de masse

La densité de puissance régénérative massique doit être calculée à partir de l'Équation (5), et est arrondie à trois chiffres significatifs.

$$\rho_{pc} = \frac{P_c}{m} \quad (5)$$

où

ρ_{pc} est la densité de puissance régénérative massique (W/kg);

P_c est la puissance régénérative (W);

m est la masse de l'élément (kg).

7.5.4.3 Densité de puissance régénérative par unité de volume

La densité de puissance régénérative volumique doit être calculée à partir de l'Équation (6), et est arrondie à trois chiffres significatifs.

$$\rho_{pvImc} = \frac{P_c}{V} \quad (6)$$

où

ρ_{pvImc} est la densité de puissance régénérative volumique (W/l);

P_c est la puissance régénérative (W);

V est le volume de l'élément (l).

7.6 Énergie

7.6.1 Généralités

Cet essai a pour objet de déterminer la densité d'énergie qui peut provenir d'un élément dans les conditions d'utilisation représentatives des applications BEV et HEV.

En se fondant sur l'essai spécifié en 7.6.2, la densité d'énergie d'un élément doit être calculée conformément à 7.6.3.

7.6.2 Méthode d'essai

La densité d'énergie massique (Wh/kg) et la densité d'énergie volumique (Wh/l) des éléments sous une décharge de courant de $1/3 I_t$ (A) pour une application BEV et de $1 I_t$ (A) pour une application HEV doivent être déterminées conformément à la procédure suivante.

a) Mesure de la masse

La masse de l'élément doit être mesurée comme indiqué à l'Article 6.

b) Mesures des dimensions

Les dimensions de l'élément doivent être mesurées comme indiqué à l'Article 5.

c) Mesure de la capacité

La capacité de l'élément doit être déterminée à la température ambiante, conformément à 7.3.

d) Calcul de la tension moyenne

La valeur de la tension moyenne pendant la décharge, lors de l'essai de capacité ci-dessus, doit être obtenue en intégrant la tension de décharge dans le temps et en divisant le résultat par la durée de décharge. La tension moyenne est calculée d'une façon simple, en utilisant la méthode suivante: Les tensions de décharge $U_1, U_2, \dots, U_n$ sont notées toutes les 5 s à partir du début de la décharge et les tensions atteignant la tension finale en moins de 5 s sont écartées. La tension moyenne U_{avr} est alors calculée de manière simplifiée à l'aide de l'Équation (7) avec trois chiffres significatifs en arrondissant le résultat.

$$U_{avr} = \frac{U_1 + U_2 + \dots + U_n}{n} \quad (7)$$

7.6.3 Calcul de la densité d'énergie

7.6.3.1 Densité d'énergie par unité de masse

La densité d'énergie massique doit être calculée à l'aide des Équations (8) et (9) avec trois chiffres significatifs en arrondissant le résultat.

$$W_{ed} = C_d U_{avr} \quad (8)$$

où

W_{ed} est l'énergie électrique de l'élément à la température ambiante (Wh) lorsqu'il est déchargé dans des conditions spécifiées;

C_d est la capacité de décharge (Ah) à $1/3 I_t$ (A) pour BEV ou à $1 I_t$ (A) pour HEV;

U_{avr} est la tension moyenne pendant la décharge (V).

$$\rho_{ed} = \frac{W_{ed}}{m} \quad (9)$$

où

ρ_{ed} est la densité d'énergie massique (Wh/kg);

W_{ed} est l'énergie électrique de l'élément à la température ambiante (Wh) lorsqu'il est déchargé dans des conditions spécifiées;

m est la masse de l'élément (kg).

7.6.3.2 Densité d'énergie par unité de volume

La densité d'énergie volumique doit être calculée à l'aide de l'Équation (10) avec trois chiffres significatifs en arrondissant le résultat.

$$\rho_{\text{evlmd}} = \frac{W_{\text{ed}}}{V} \quad (10)$$

où

ρ_{evlmd} est la densité d'énergie volumique (Wh/l);

W_{ed} est l'énergie électrique de l'élément à la température ambiante (Wh) lorsqu'il est déchargé dans des conditions spécifiées;

V est le volume de l'élément (l).

7.7 Essai de stockage

7.7.1 Généralités

L'essai de stockage a pour objet de déterminer les caractéristiques de conservation de la capacité d'un élément stocké ou non utilisé, et est constitué de l'essai de conservation de la charge de 7.7.2 et de l'essai de restitution de performance après stockage de 7.7.3.

7.7.2 Essai de conservation de la charge

Cet essai permet de déterminer les caractéristiques de conservation de la charge d'un élément en cours de stockage y compris ceux en cours de transport.

Les caractéristiques de conservation de la charge de l'élément à un SOC de 50 % doivent être déterminées conformément à la procédure suivante.

Étape 1 – L'élément doit être chargé conformément à 7.2.

Étape 2 – L'élément doit être déchargé à un SOC de 50 % selon la méthode spécifiée en 7.4. Puis, l'élément doit être stabilisé à la température ambiante pendant 1 h.

NOTE La valeur de SOC peut être modifiée sur la base d'un accord entre le fabricant de l'élément et le client.

Étape 3 – Décharger l'élément jusqu'à la tension finale à un courant de décharge de $1/3 I_t$ (A) pour une application BEV et de $1 I_t$ (A) pour une application HEV et à la température ambiante. Cette capacité de décharge est C_b .

Étape 4 – Répéter les étapes 1 et 2, une seule fois.

Étape 5 – L'élément doit être stocké pendant 28 jours à une température ambiante de 45 °C.

Étape 6 – À l'issue de l'étape 5, l'élément doit être stabilisé à la température ambiante conformément à 4.4; puis décharger l'élément à un courant constant de $1/3 I_t$ (A) pour une application BEV et de $1 I_t$ (A) pour une application HEV, jusqu'à la tension finale, et mesurer ensuite la capacité de l'élément. Cette capacité de décharge est C_r .

Le rapport de conservation de la charge doit être calculé conformément à l'Équation (11).

$$R = \frac{C_r}{C_b} \times 100 \quad (11)$$

où

R est le rapport de conservation de la charge (%);

C_r est la capacité de l'élément après le stockage (Ah);

C_b est la capacité de l'élément avant le stockage (Ah).

7.7.3 Essai de restitution de performance après stockage

Cet essai permet de déterminer les caractéristiques de dégradation d'un élément stocké ou non utilisé pour des applications BEV et HEV.

La durée de stockage de l'élément doit être déterminée conformément à la procédure suivante.

Étape 1 – Déterminer la capacité, la densité de puissance et la densité de puissance régénérative de l'élément, conformément à 7.2, 7.3 et 7.5.

Étape 2 – Ajuster le SOC de l'élément à 100 % pour une application BEV, et à 50 % pour une application HEV, conformément à 7.4. L'élément doit être stocké pendant 42 jours à une température ambiante de 45 °C.

Étape 3 – À l'issue de l'étape 2, l'élément doit être stabilisé à la température ambiante conformément à 4.4 et déchargé à un courant constant de $1/3 I_t$ (A) pour une application BEV et de $1 I_t$ (A) pour une application HEV, jusqu'à la tension finale spécifiée par le fabricant de l'élément. Mesurer ensuite la capacité de l'élément. Cette capacité de décharge est la capacité résiduelle (Ah) de l'élément. La densité de puissance et la densité de puissance régénérative doivent être également mesurées.

Étape 4 – Répéter l'étape 2 et l'étape 3, trois fois.

La capacité, la densité de puissance, la densité de puissance régénérative et la capacité résiduelle mesurée à l'étape 1 et à l'étape 3 doivent être consignées.

Si l'élément est stocké au repos à la température ambiante pendant l'essai de manière, par exemple, à organiser la synchronisation des essais, la durée totale de cette période de repos doit être consignée.

7.8 Essai de durée de vie en cyclage

7.8.1 Généralités

Cet essai a pour objet de déterminer les caractéristiques de dégradation de l'élément pendant les cycles de charge et de décharge représentatifs des conditions d'utilisation normales des applications BEV et HEV.

Les performances de durée de vie de l'élément pour une application BEV et pour une application HEV doivent être déterminées au moyen des essais de 7.8.2 et 7.8.3.

La séquence d'essai est donnée à l'Annexe B.

NOTE Des conditions d'essai sélectives sont présentées dans le Tableau A.3.

7.8.2 Essai en cyclage BEV

7.8.2.1 Mesures des performances initiales

Avant le cycle d'essai de charge et de décharge, mesurer la capacité, la capacité dynamique de décharge et la puissance, pour déterminer les performances initiales de l'élément.

- Capacité

La capacité doit être mesurée comme indiqué en 7.3 à 25 °C.

- Capacité dynamique de décharge C_D

La capacité dynamique de décharge C_D doit être mesurée à 25 °C et à 45 °C.

La capacité dynamique de décharge est définie par l'intégration en temps des valeurs du courant de charge et de décharge, donnée par l'essai suivant: Décharger répétitivement l'élément complètement chargé suivant le profil dynamique de décharge A comme défini dans le Tableau 3 et à la Figure 3 jusqu'à ce que la tension atteigne la limite inférieure spécifiée par le fabricant de l'élément.

- Puissance

La puissance doit être mesurée comme indiqué en 7.5, à 25 °C et à un SOC de 50 %.

7.8.2.2 Cycle de charge et de décharge

L'essai de cycle de charge et de décharge doit être réalisé comme suit.

a) Au début de l'essai, la température de l'élément doit être de 45 °C. La température ambiante doit être de 45 %.

b) Étapes de l'essai

La procédure des étapes 1 à 5 doit être répétée sans interruption pendant 28 jours. Un temps de repos de moins de 4 h peut être défini entre les étapes. Ensuite, mesurer les performances de l'élément, comme indiqué en 7.8.2.2 c). Cette procédure doit être répétée jusqu'à la fin de l'essai indiqué en 7.8.2.2 d).

Étape 1 – L'élément doit être complètement déchargé par la méthode spécifiée par le fabricant de l'élément.

Étape 2 – L'élément doit être complètement chargé par la méthode spécifiée par le fabricant de l'élément. Le temps de charge doit être inférieur à 12 h.

Étape 3 – Décharger l'élément suivant le profil de décharge dynamique A spécifié dans le Tableau 3 et à la Figure 3 jusqu'à ce que la capacité de décharge atteigne l'équivalent de $50 \% \pm 5 \%$ de la capacité dynamique de décharge C_D , initiale à 45 °C.

Si la tension atteint la limite inférieure spécifiée par le fabricant de l'élément pendant l'étape 3, l'essai doit être interrompu, malgré la stipulation de 7.8.2.2 d), et les performances de l'élément doivent être mesurées à ce point de l'essai, comme indiqué en 7.8.2.2 c).

Si la température de l'élément atteint la limite supérieure spécifiée par le fabricant de l'élément pendant l'étape 3, la durée du pas d'essai 20 dans le Tableau 3 peut être prolongée à une valeur appropriée. La durée réelle doit être consignée.

Si la tension atteint la limite maximale spécifiée par le fabricant de l'élément pendant un pas de charge indiqué dans le Tableau 3, la charge de tension constante à la tension maximale doit être appliquée jusqu'à la fin de la durée de ce pas.

Dans ce profil, la puissance d'essai doit être calculée en utilisant l'Équation (12):

$$P_{\max} = NW_{\text{ed}} \quad (12)$$

où

$P_{\max}$ est la puissance d'essai (W);

N est la puissance maximale exigée de l'élément (W) divisée par l'énergie de l'élément (Wh) avec des unités de (1/h);

NOTE La valeur $N = 3/h$ est un exemple basé sur les spécifications des BEV commercialisés.

W_{ed} est l'énergie électrique de l'élément à la température ambiante (Wh) lorsqu'il est déchargé dans des conditions spécifiées.

Si la valeur issue de l'Équation (12) est supérieure à la puissance maximale de l'élément spécifiée par le fabricant de l'élément, la puissance d'essai doit être définie comme étant 80 % de la puissance maximale à la température ambiante et au SOC de 20 % spécifié par le fabricant de l'élément. La valeur de puissance réellement utilisée doit être consignée.

Tableau 3 – Profil dynamique de décharge A pour l'essai de durée de vie – BEV

Pas d'essai	Durée s	Rapport de la puissance d'essai %	Charge/décharge
1	16	0,0	–
2	28	+12,5	Décharge
3	12	+25,0	Décharge
4	8	–12,5	Charge
5	16	0,0	–
6	24	+12,5	Décharge
7	12	+25,0	Décharge
8	8	–12,5	Charge
9	16	0,0	–
10	24	+12,5	Décharge
11	12	+25,0	Décharge
12	8	–12,5	Charge
13	16	0,0	–
14	36	+12,5	Décharge
15	8	+100,0	Décharge
16	24	+62,5	Décharge
17	8	–25,0	Charge
18	32	+25,0	Décharge
19	8	–50,0	Charge
20	44	0,0	–

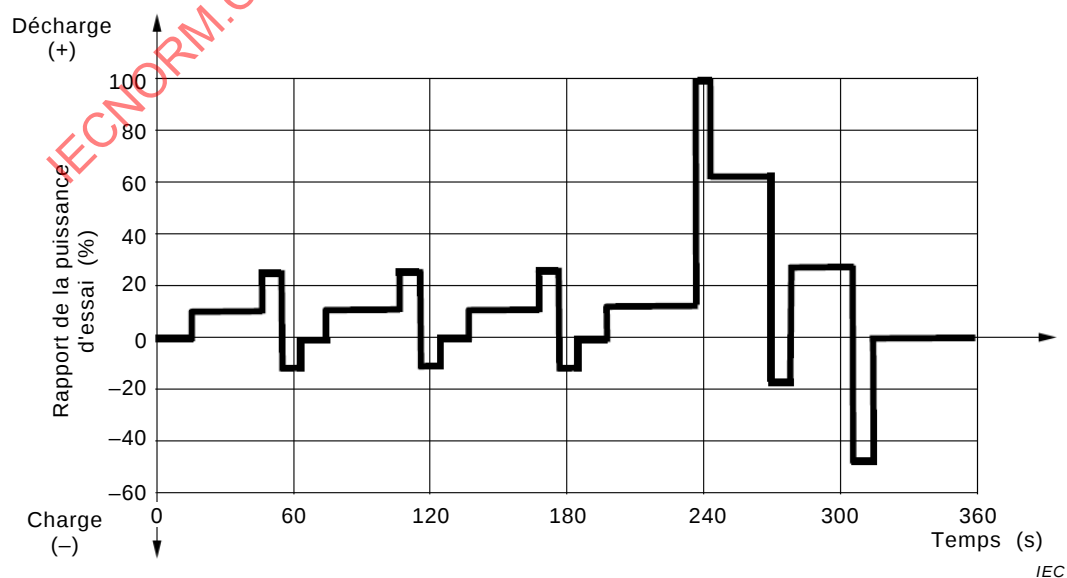


Figure 3 – Profil dynamique de décharge A pour l'essai de durée de vie – BEV

Étape 4 – Décharger l'élément suivant le profil de décharge dynamique B (profil de montée d'une côte) spécifié dans le Tableau 4 et à la Figure 4 , une seule fois. La puissance d'essai doit être calculée en utilisant l'Équation (12).

Si la tension atteint la limite inférieure spécifiée par le fabricant de l'élément pendant l'étape 4, l'essai doit être interrompu, malgré la stipulation de 7.8.2.2 d), et les performances de l'élément doivent être mesurées à ce point de l'essai, comme indiqué en 7.8.2.2 c).

Si la tension de l'accumulateur atteint fréquemment la tension de la limite inférieure pendant le pas d'essai 16, la puissance de décharge et la durée peuvent être modifiées de manière appropriée. Les valeurs réelles d'essai doivent être consignées de manière adéquate.

Tableau 4 – Profil dynamique de décharge B pour l'essai de durée de vie – BEV

Pas d'essai	Durée s	Rapport de la puissance d'essai %	Charge/décharge
1	16	0,0	–
2	28	+12,5	Décharge
3	12	+25,0	Décharge
4	8	–12,5	Charge
5	16	0,0	–
6	24	+12,5	Décharge
7	12	+25,0	Décharge
8	8	–12,5	Charge
9	16	0,0	–
10	24	+12,5	Décharge
11	12	+25,0	Décharge
12	8	–12,5	Charge
13	16	0,0	–
14	36	+12,5	Décharge
15	8	+100,0	Décharge
16	120	+62,5	Décharge
17	8	–25,0	Charge
18	32	+25,0	Décharge
19	8	–50,0	Charge
20	44	0,0	–

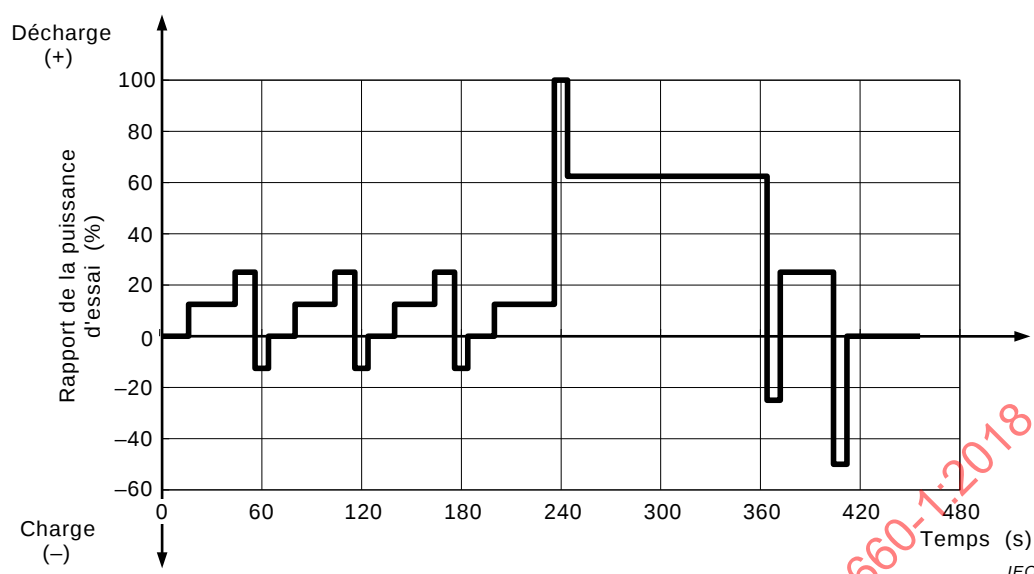


Figure 4 – Profil dynamique de décharge B pour l'essai de durée de vie – BEV

Étape 5 – Décharger l'élément suivant le profil de décharge dynamique A spécifié dans le Tableau 3 et à la Figure 3 jusqu'à ce que la capacité de décharge totale, incluant les étapes 3 et 4, atteigne l'équivalent de 80 % de la capacité dynamique de décharge C_D , initiale à 45 °C.

Si la température de l'élément atteint la limite supérieure spécifiée par le fabricant de l'élément pendant l'étape 5, la durée du pas d'essai 20 dans le Tableau 3 peut être prolongée à une valeur appropriée. La durée réelle doit être consignée.

Si la tension atteint la limite inférieure spécifiée par le fabricant de l'élément pendant l'étape 5, l'essai doit être interrompu, malgré la stipulation de 7.8.2.2 d), et les performances de l'élément doivent être mesurées à ce point de l'essai, comme indiqué en 7.8.2.2 c).

c) Mesures périodiques des performances

Après chaque fin de la répétition des étapes 1 à 5 pendant 28 jours d'essai, les performances de l'élément doivent être mesurées, comme indiqué en 7.8.2.1. Le temps cumulé des étapes 1 à 4 de 7.8.2.2 b) doit être également consigné. La capacité dynamique de décharge ne doit être mesurée qu'à 25 °C.

d) Fin de l'essai

L'essai de durée de vie doit être arrêté lorsque l'une des conditions suivantes est satisfaite. Sinon retourner à 7.8.2.2 a) et répéter l'essai.

Condition A – La séquence d'essais de 7.8.2.2 a) à 7.8.2.2 c) a été réalisée six fois.

Condition B – L'un quelconque des paramètres de performance mesurés en 7.8.2.2 c) a déchu à moins de 80 % de sa valeur initiale.

Condition C – La température de l'élément atteint la limite supérieure convenue entre le fabricant de l'élément et le client pendant l'essai.

Le nombre de fois où chaque profil et chaque cycle ont été mis en œuvre pendant l'essai doit être consigné.

7.8.3 Essai en cyclage HEV

7.8.3.1 Mesures des performances initiales

Avant le cycle d'essai de charge et de décharge, mesurer la capacité et la puissance, pour déterminer les performances initiales de l'élément.

- Capacité

La capacité doit être mesurée comme indiqué en 7.3 à 25 °C.

- Puissance

La puissance doit être mesurée comme indiqué en 7.5, à 25 °C et à un SOC de 50 %.

7.8.3.2 Tension de commutation de profil

Avant l'essai de durée de vie, fixer les tensions de commutation auxquelles les profils de charge et de décharge dominantes spécifiés au 7.8.3.3 c) doivent être commutés.

a) Tension de commutation du profil à décharge dominante au profil à charge dominante

Ajuster le SOC de l'élément à 30 % conformément à 7.4, et effectuer ensuite à 45 °C l'essai de durée de vie avec le profil à décharge dominante, une seule fois. La plus faible tension atteinte pendant cet essai doit être la tension de commutation du profil à décharge dominante au profil à charge dominante. Si la plus faible tension atteinte est inférieure à la tension de la limite inférieure spécifiée par le fabricant de l'élément, cette dernière doit être la tension de commutation. En outre, le SOC recommandé par le fabricant de l'élément peut être utilisé.

b) Tension de commutation du profil à charge dominante au profil à décharge dominante

Ajuster le SOC de l'élément à 80 % conformément à 7.4, et effectuer ensuite à 45 °C l'essai de durée de vie avec le profil à charge dominante une seule fois. La plus forte tension atteinte pendant cet essai doit être la tension de commutation du profil à charge dominante au profil à décharge dominante. Si la plus forte tension atteinte est supérieure à la tension de la limite supérieure spécifiée par le fabricant de l'élément, cette dernière doit être la tension de commutation. En outre, le SOC recommandé par le fabricant de l'élément peut être utilisé.

7.8.3.3 Cycle de charge et de décharge

L'essai de cycle de charge et de décharge doit être réalisé comme suit.

a) Température

La température ambiante doit être maintenue à 45 °C pendant l'essai. Au début du cycle de charge et de décharge, la température de l'élément doit être de 45 °C.

b) Ajustement du SOC avant un cycle de charge et de décharge

Les éléments doivent être laissés à une température de 45 °C, et être ajustés à un SOC de 80 % ou au SOC convenu entre le fabricant de l'élément et le client, pendant une période de 16 h à 24 h, conformément à 7.4. Si le SOC de 80 % n'est pas utilisé, celui utilisé doit être consigné.

c) Étapes de l'essai

La procédure des étapes 1 à 4 doit être répétée sans interruption jusqu'à fin de l'essai, comme indiqué en 7.8.3.3 e). Pendant l'essai, les performances de l'élément doivent être mesurées périodiquement, comme indiqué en 7.8.3.3 d).

Si la température de l'élément atteint la limite supérieure spécifiée par le fabricant de l'élément pendant l'essai, la durée du pas d'essai 16 dans le Tableau 5 et dans le Tableau 6 peut être prolongée à une durée appropriée. La durée réelle doit être consignée.

Étape 1 – Le cycle de charge et de décharge doit être effectué à plusieurs reprises suivant le profil à décharge dominante spécifié dans le Tableau 5 et à la Figure 5, jusqu'à ce que la tension de l'élément atteigne la tension de commutation fixée en 7.8.3.2 a) (voir la Figure 7).

Étape 2 – Le cycle de charge et de décharge doit être effectué à plusieurs reprises suivant le profil à charge dominante spécifié dans le Tableau 6 et à la Figure 6, jusqu'à ce que la tension de l'élément atteigne la tension de commutation fixée en 7.8.3.2 b) (voir la Figure 7).

Étape 3 – Répéter l'étape 1 et l'étape 2 pendant 22 h.

Étape 4 – Laisser l'élément au repos pendant 2 h.

Tableau 5 – Profil à décharge dominante pour l'essai de durée de vie – HEV

Pas d'essai	Durée s	Courant A	Charge/décharge
1	5	$20 I_t$	Décharge
2	10	$10 I_t$	Décharge
3	32	$5 I_t$	Décharge
4	20	$0 I_t$	–
5	5	$-15 I_t$	Charge
6	10	$-10 I_t$	Charge
7	37	$-5 I_t$	Charge
8	20	$0 I_t$	–
9	5	$15 I_t$	Décharge
10	10	$10 I_t$	Décharge
11	37	$5 I_t$	Décharge
12	20	$0 I_t$	–
13	5	$-12,5 I_t$	Charge
14	7	$-7,5 I_t$	Charge
15	35	$-5 I_t$	Charge
16	42	$0 I_t$	–

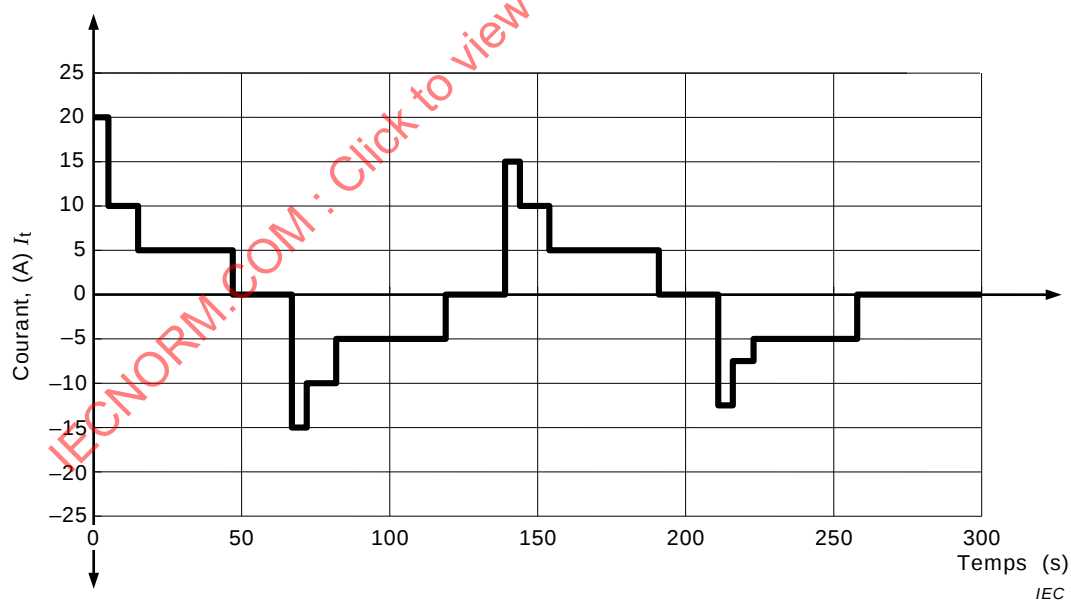
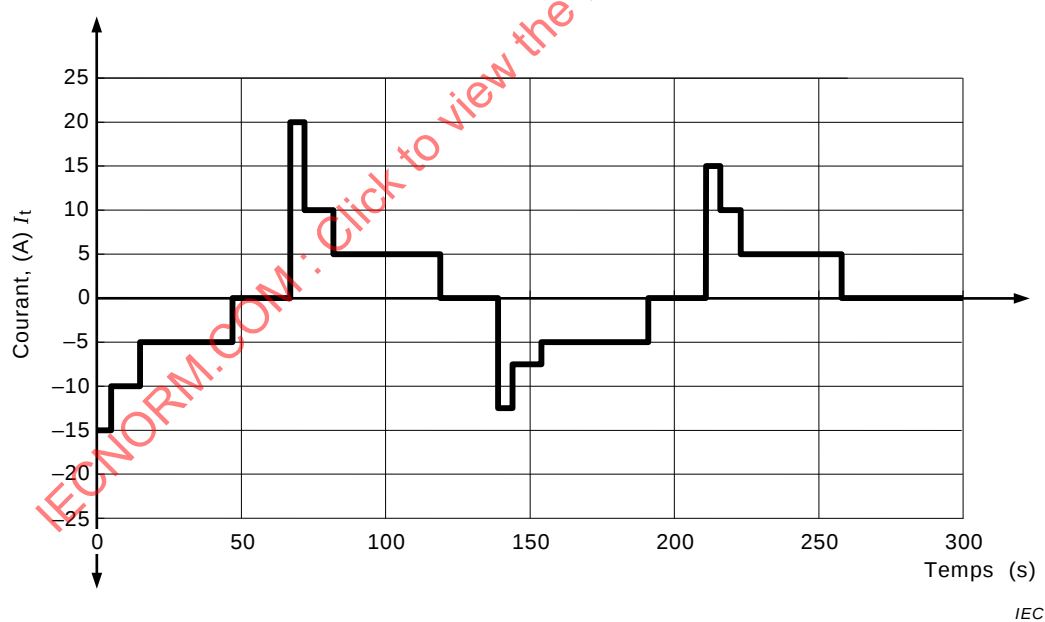


Figure 5 – Profil à décharge dominante pour l'essai de durée de vie – HEV

Si le courant maximal spécifié par le fabricant de l'élément est inférieur à $20 I_t$, ce courant maximal peut être utilisé au pas d'essai 1, ainsi que le remplacement du courant au pas d'essai 6 par 50 % du courant maximal spécifié par le fabricant de l'élément.

Tableau 6 – Profil à charge dominante pour l'essai de durée de vie – HEV

Pas d'essai	Durée s	Courant A	Charge/décharge
1	5	$-15 I_t$	Charge
2	10	$-10 I_t$	Charge
3	37	$-5 I_t$	Charge
4	20	$0 I_t$	–
5	5	$20 I_t$	Décharge
6	10	$10 I_t$	Décharge
7	32	$5 I_t$	Décharge
8	20	$0 I_t$	–
9	5	$-12,5 I_t$	Charge
10	7	$-7,5 I_t$	Charge
11	49	$-5 I_t$	Charge
12	20	$0 I_t$	–
13	5	$15 I_t$	Décharge
14	10	$10 I_t$	Décharge
15	23	$5 I_t$	Décharge
16	42	$0 I_t$	–

**Figure 6 – Profil à charge dominante pour l'essai de durée de vie – HEV**

Si le courant maximal spécifié par le fabricant de l'élément est inférieur à $20 I_t$, ce courant maximal peut être utilisé au pas d'essai 5, ainsi que le remplacement du courant au pas d'essai 2 par 50 % du courant maximal spécifié par le fabricant de l'élément.