

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 © 2010 IEC, Geneva, Switzerland

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

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

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

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

IEC Central Office
3, rue de Varembe
CH-1211 Geneva 20
Switzerland
Email: inmail@iec.ch
Web: www.iec.ch

About the IEC

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

About IEC publications

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

- Catalogue of IEC publications: www.iec.ch/searchpub

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 It also gives information on projects, withdrawn and replaced publications.

- IEC Just Published: www.iec.ch/online_news/justpub

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

- Electropedia: www.electropedia.org

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

- Customer Service Centre: www.iec.ch/webstore/custserv

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

Email: csc@iec.ch

Tel.: +41 22 919 02 11

Fax: +41 22 919 03 00

A propos de la CEI

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

A propos des publications CEI

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

- Catalogue des publications de la CEI: www.iec.ch/searchpub/cur_fut-f.htm

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

- Just Published CEI: www.iec.ch/online_news/justpub

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

- Electropedia: www.electropedia.org

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

- Service Clients: www.iec.ch/webstore/custserv/custserv_entry-f.htm

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

Email: csc@iec.ch

Tél.: +41 22 919 02 11

Fax: +41 22 919 03 00



IEC 62660-1

Edition 1.0 2010-12

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

PRICE CODE
CODE PRIX

W

ICS 29.220.20, 43.120

ISBN 978-2-88912-308-7

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.....	8
4.2.1 Range of measuring devices	8
4.2.2 Voltage measurement.....	9
4.2.3 Current measurement.....	9
4.2.4 Temperature measurements.....	9
4.2.5 Other measurements	9
4.3 Tolerance.....	10
4.4 Test temperature.....	10
5 Dimension measurement	10
6 Mass measurement.....	11
7 Electrical measurement.....	11
7.1 General charge conditions	11
7.2 Capacity.....	12
7.3 SOC adjustment.....	12
7.4 Power	12
7.4.1 Test method	12
7.4.2 Calculation of power density.....	15
7.4.3 Calculation of regenerative power density.....	16
7.5 Energy.....	17
7.5.1 Test method	17
7.5.2 Calculation of energy density.....	17
7.6 Storage test.....	18
7.6.1 Charge retention test.....	18
7.6.2 Storage life test	19
7.7 Cycle life test.....	19
7.7.1 BEV cycle test	19
7.7.2 HEV cycle test	23
7.8 Energy efficiency test	27
7.8.1 Common tests.....	27
7.8.2 Test for cells of BEV application	29
7.8.3 Energy efficiency calculation for cells of HEV application	30
Annex A (informative) Selective test conditions.....	32
Annex B (informative) Cycle life test sequence	34
Bibliography.....	37
Figure 1 – Example of temperature measurement of cell.....	9
Figure 2 – Examples of maximum dimension of cell	11
Figure 3 – Test order of the current-voltage characteristic test	15

Figure 4 – Dynamic discharge profile A for BEV cycle test	21
Figure 5 – Dynamic discharge profile B for BEV cycle test	22
Figure 6 – Discharge-rich profile for HEV cycle test	25
Figure 7 – Charge-rich profile for HEV cycle test	26
Figure 8 – Typical SOC swing by combination of two profiles for HEV cycle test	27
Figure B.1 – Test sequence of BEV cycle test	35
Figure B.2 – Concept of BEV cycle test.....	36
 Table 1 – Discharge conditions	 12
Table 2 – Examples of charge and discharge current	13
Table 3 – Dynamic discharge profile A for BEV cycle test	21
Table 4 – Dynamic discharge profile B for BEV cycle test	22
Table 5 – Discharge-rich profile for HEV cycle test.....	25
Table 6 – Charge-rich profile for HEV cycle test.....	26
Table A.1 – Capacity test conditions.....	32
Table A.2 – Power test conditions	32
Table A.3 – Cycle life test conditions.....	32
Table A.4 – Conditions for energy efficiency test for BEV application.....	33
Table B.1 – Test sequence of HEV cycle 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.

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

FDIS	Report on voting
21/728/FDIS	21/732/RVD

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

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

A list of all 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 amendment and the base publication will remain unchanged until the stability date indicated on the IEC web site under "<http://webstore.iec.ch>" in the data related to the specific publication. At this date, the publication will be

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

INTRODUCTION

The commercialisation 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 rapidly diffusing hybrid electric vehicles and emerging 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 standard is to specify performance testing for automobile traction lithium-ion cells that basically differ from the other cells including those for portable and stationary applications specified by the other IEC standards. For automobile application, it is important to note the usage specificity; i.e. the designing 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 standard 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 standard is associated with ISO 12405-1 and ISO 12405-2¹.

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

¹ Under consideration.

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).

The objective of this standard is to specify 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 standard 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 1 Based on the agreement between the manufacturer and the customer, specific test conditions may be selected in addition to the conditions specified in this standard. Selective test conditions are described in Annex A.

NOTE 2 The performance tests for the electrically connected lithium-ion cells may be performed with reference to this standard.

NOTE 3 The test specification for lithium-ion battery packs and systems is defined in ISO 12405-1 and ISO 12405-2 (under consideration).

2 Normative references

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

IEC 60050-482, *International Electrotechnical Vocabulary – Part 482: Primary and secondary cells and batteries*

IEC 61434, *Secondary cells and batteries containing alkaline or other non-acid electrolytes – Guide to the designation of current in alkaline secondary cell and battery standards*

3 Terms and definitions

For the purposes of this document, the terms and definitions given in IEC 60050-482 and the following apply.

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

quantity of electricity C_3 Ah (ampere-hours) for BEV and C_1 Ah for HEV declared by the manufacturer

3.4 reference test current

I_t
current in amperes which is expressed as

$$I_t \text{ (A)} = C_n \text{ (Ah)} / 1 \text{ (h)}$$

where

C_n is the rated capacity of the cell ;

n is the time base (hours).

3.5 room temperature

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

3.6 secondary lithium ion cell

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

NOTE 1 The secondary cell is a basic manufactured unit providing a source of electrical energy by direct conversion of chemical energy. The cell consists of electrodes, separators, electrolyte, container and terminals, and is designed to be charged electrically.

NOTE 2 In this standard, cell or secondary cell means the secondary lithium ion cell to be used for the propulsion of electric road vehicles.

3.7 state of charge SOC

available capacity in a battery expressed as a percentage of rated capacity

4 Test conditions

4.1 General

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

4.2 Measuring instruments

4.2.1 Range of measuring devices

The instruments used shall enable the values of voltage and current 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 $1 \text{ M } \Omega / \text{V}$.

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 should 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 manufacturer shall be followed.

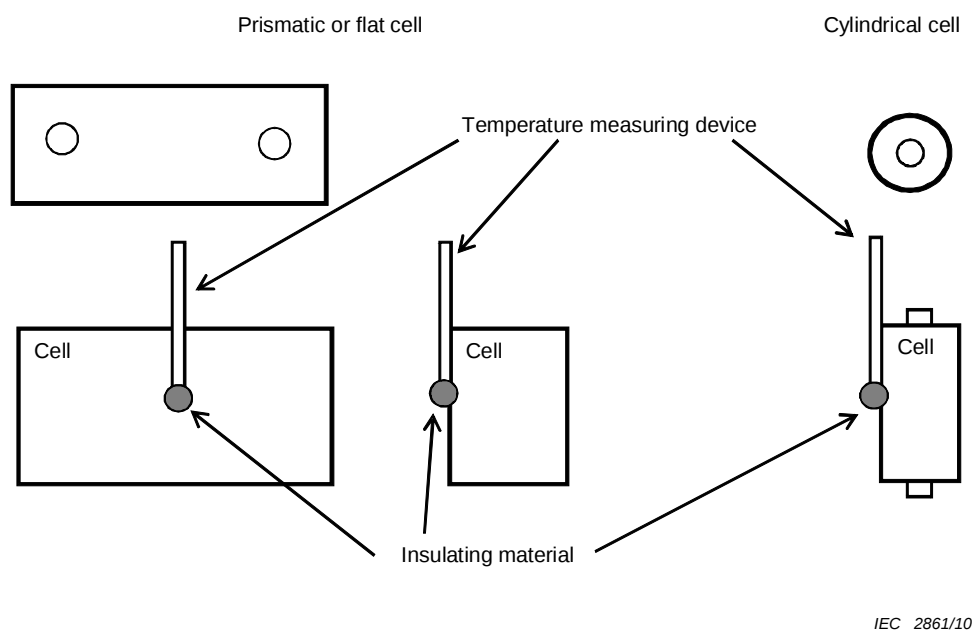


Figure 1 – Example of temperature measurement of cell

4.2.5 Other measurements

Other values including capacity and power 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 these 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 Test temperature

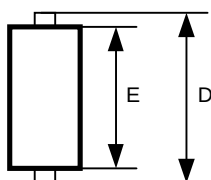
If not otherwise defined, before each test the cell shall be stabilized at the test temperature for a minimum of 12 h. This period can be reduced if thermal stabilization is reached. Thermal stabilization is considered to be reached if after one interval of 1 h, the change of cell temperature is lower than 1 K.

Unless otherwise stated in this standard, cells shall be tested at room temperature using the method declared by the manufacturer.

5 Dimension measurement

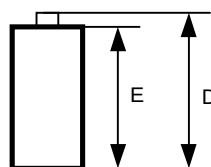
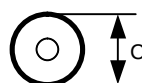
The maximum dimension of the total width, thickness or diameter, and length of a cell shall be measured up to three significant figures in accordance with the tolerances in 4.3.

The examples of maximum dimension are shown in Figures 2a to 2f.



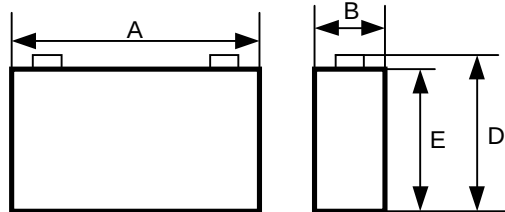
IEC 2862/10

Figure 2a – Cylindrical cell (1)



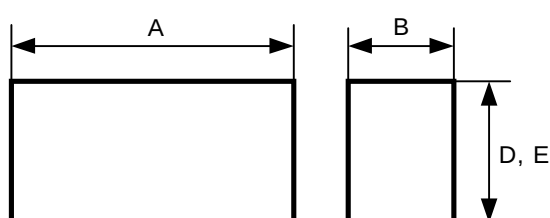
IEC 2863/10

Figure 2b – Cylindrical cell (2)



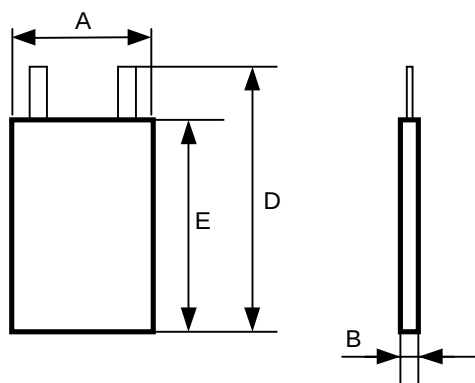
IEC 2864/10

Figure 2c – Prismatic cell (1)



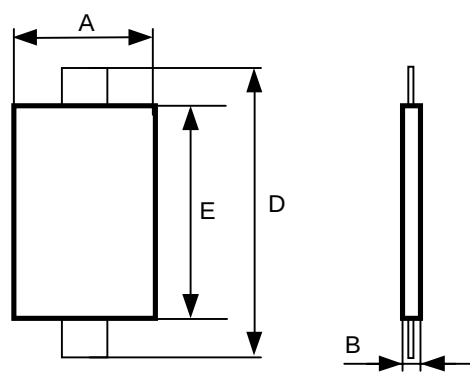
IEC 2865/10

Figure 2d – Prismatic cell (2)



IEC 2866/10

Figure 2e – Flat cell (1)



IEC 2867/10

Figure 2f – Flat cell (2)

Key

- A total width
- B total thickness
- C diameter
- D total length (including terminals)
- E total length (excluding terminals)

Figure 2 – Examples of maximum dimension of cell**6 Mass measurement**

Mass of a cell is measured up to three significant figures in accordance with the tolerances in 4.3.

7 Electrical measurement

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

7.1 General charge conditions

Unless otherwise stated in this standard, 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 a end-of-discharge voltage specified by the manufacturer. Then, the cell shall be charged according to the charging method declared by the manufacturer at room temperature.

7.2 Capacity

Capacity of cell shall be measured in accordance with the following steps.

Step 1 – The cell shall be charged in accordance with 7.1.

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

Step 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 manufacturer. The discharge current and temperatures indicated in Table 1 shall be used.

NOTE Selective test conditions are shown in Table A.1 in Annex A.

The method of designation of test current I_t is defined in IEC 61434.

Table 1 – Discharge conditions

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

Step 3 – Measure the discharge duration until the specified end-of discharge voltage is reached, and calculate the capacity of cell expressed in Ah up to three significant figures.

7.3 SOC adjustment

The test cells shall be charged as specified below. The SOC adjustment is the procedure to be followed for preparing cells to the various SOC's for the tests in this standard.

Step 1 - The cell shall be charged in accordance with 7.1.

Step 2 - The cell shall be left at rest at room temperature in accordance with 4.4.

Step 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.

7.4 Power

7.4.1 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

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

c) Current-voltage characteristic test

Current-voltage characteristics shall be determined by measuring the voltage at the end of the 10 second pulse, when a constant current is discharged and charged under the conditions specified below.

- 1) SOC shall be adjusted to 20 %, 50 %, and 80 % according to the procedure specified in 7.3.
- 2) The cell temperature at test commencement shall be set to 40 °C, 25 °C, 0 °C, and –20 °C.
- 3) The cell is charged or discharged at each value of the current corresponding to the respective rated capacity level, and the voltage is measured at the end of the 10 s pulse. The range of the charge and discharge current shall be specified by the 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.

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

Table 2 shows examples of charge and discharge current according to the applications. If it is required, the maximum current for charge and discharge is specified by the cell manufacturer ($I_{\max}$). This value can be reduced according to the agreement with the customer. The maximum charge and discharge current can be applied after the measurement at $5 I_t$ for BEV application and $10 I_t$ for HEV application. $I_{\max}$ value changes depending on SOC, test temperature and charge or discharge state.

Table 2 – Examples of charge and discharge current

Application	Charge and discharge current				
	A				
BEV	$1/3 I_t$	$1 I_t$	$2 I_t$	$5 I_t$	$I_{\max}$
HEV	$1/3 I_t$	$1 I_t$	$5 I_t$	$10 I_t$	$I_{\max}$

- 4) 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 proceeded with.
- 5) The test is performed according to the scheme shown in Figure 3a and Figure 3b.

NOTE 1 Selective test conditions are shown in Table A.2 in Annex A.

NOTE 2 The current-voltage characteristic line can be obtained by straight-line approximation using the measured values of current and voltage, from which $I_{\max}$ and power can be calculated. The slope of this line shows the internal resistance of cell.

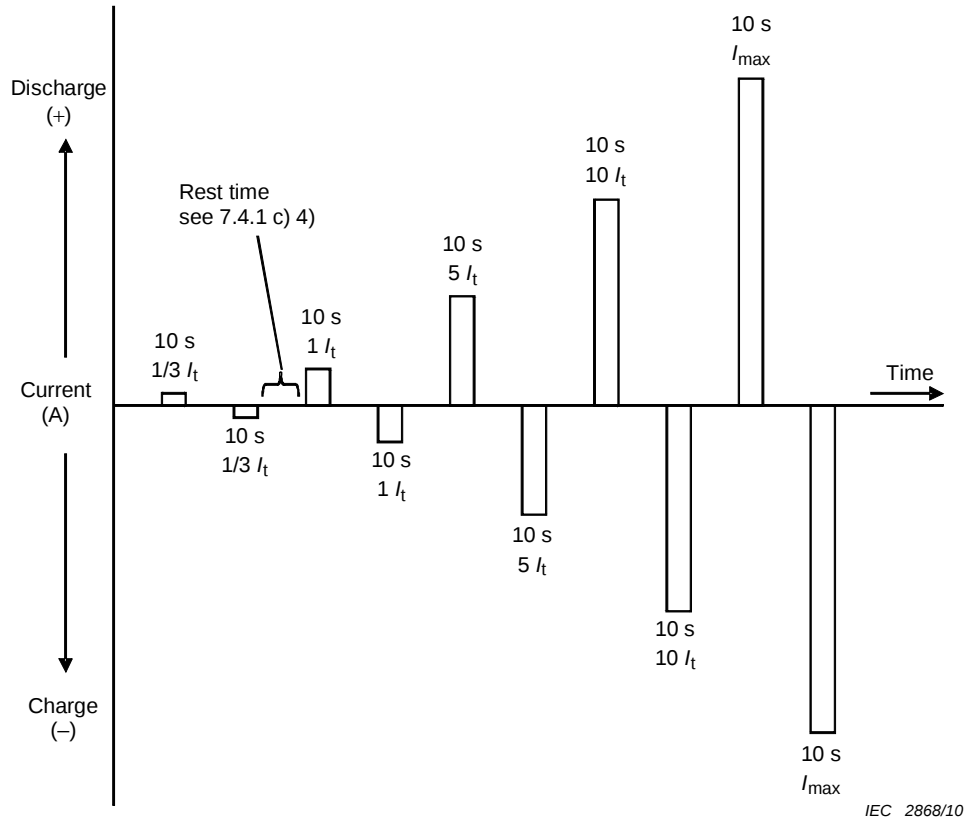


Figure 3a – Test order of the current-voltage characteristic test for HEV application
(continued overleaf)

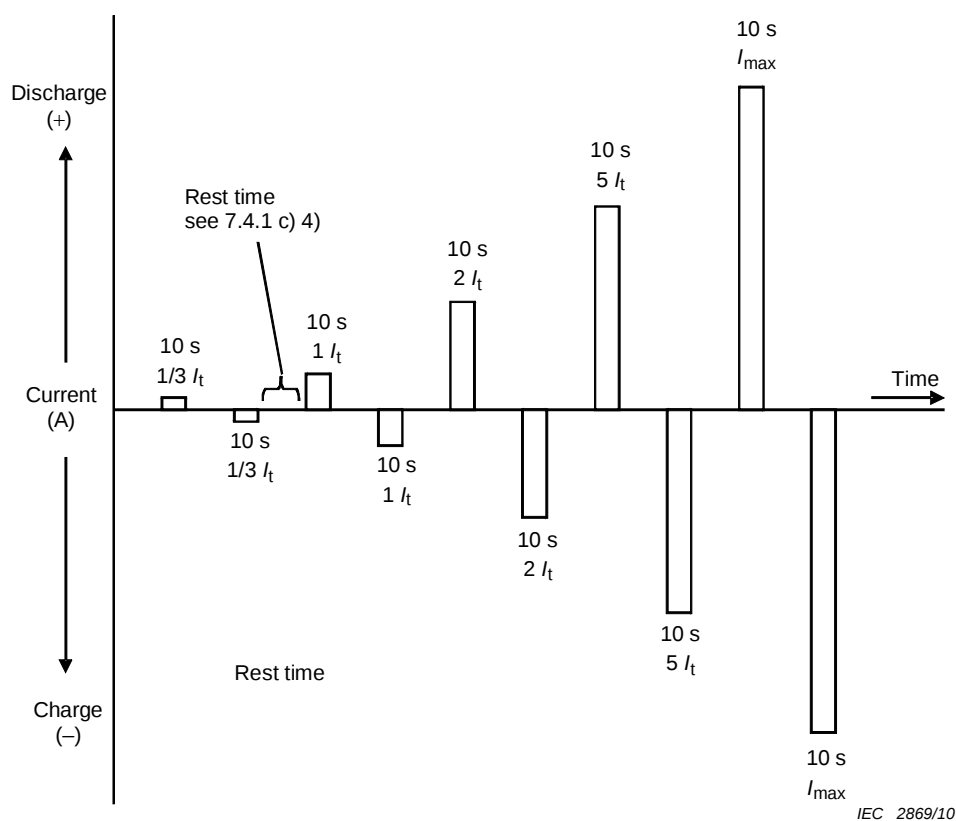


Figure 3b – Test order of the current-voltage characteristic test for BEV application

Figure 3 – Test order of the current-voltage characteristic test

7.4.2 Calculation of power density

7.4.2.1 Power

The power shall be calculated according to equation (1) and rounded to 3 significant figures.

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

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 manufacturer (A).

If P_d is an estimated value, it shall be stated.

7.4.2.2 Power density per unit mass

Mass power density is calculated from equation (2), and is rounded to 3 significant figures.

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

where

ρ_{pd} is the power density (W/kg);

P_d is the power (W);
 m is the mass of cell (kg).

7.4.2.3 Power density per unit volume

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

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

where

ρ_{pvlm} is the volumetric power density (W/l);
 P_d is the power (W);
 V is the volume of cell (l).

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

7.4.3 Calculation of regenerative power density

7.4.3.1 Regenerative power

Regenerative power shall be calculated according to equation (4) and 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 manufacturer (A).

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

7.4.3.2 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 cell (kg).

7.4.3.3 Regenerative power density per unit volume

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

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

where

ρ_{pvImc} is the volumetric regenerative power density (W/l);
 P_c is the regenerative power (W);
 V is the volume of cell (l).

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

7.5 Energy

7.5.1 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

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

c) Capacity measurement

Capacity of the cell shall be determined in accordance with 7.2 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.

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

NOTE Values provided by measurement devices may be used, if sufficient accuracy can be achieved.

7.5.2 Calculation of energy density

7.5.2.1 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.

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

where

W_{ed} is the electric energy of cell (Wh);

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 cell (Wh);

m is the mass of cell (kg).

7.5.2.2 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.

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

where

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

W_{ed} is the electric energy of cell (Wh);

V is volume of cell (l).

The volume of prismatic cell shall be given by the product of the total height excluding terminals, width, and length of the cell, and that of cylindrical cells shall be given by the product of the cylindrical cross-sectional area and the total length excluding terminals.

7.6 Storage test

7.6.1 Charge retention test

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

Step 1 - The cell shall be charged in accordance with 7.1.

Step 2 - The cell shall be discharged to 50 % SOC in accordance with the method specified in 7.3. Then, the cell shall be stabilized at test temperature for 1 h.

Step 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 .

Step 4 - Repeat steps 1 and 2.

Step 5 - The cell shall be stored for 28 days at an ambient temperature $45\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ K}$.

Step 6 - Discharge the cell at a constant current of $1/3 I_t$ (A) for BEV application and $1 I_t$ (A) for HEV application at room temperature until 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 cell after storage (Ah);

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

7.6.2 Storage life test

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

Step 1 - Determine the capacity, power density and regenerative power density of cell in accordance with 7.1, 7.2 and 7.4.

Step 2 - Adjust the SOC of cell to 100 % for BEV application, and to 50 % for HEV application in accordance with 7.3. The cell shall then be stored for 42 days at an ambient temperature $45\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ K}$.

Step 3 - Following the storage of step 2, the cell shall be kept at room temperature according to 4.4 and discharged at a constant current of $1/3\ I_t$ (A) for BEV application and $1\ I_t$ (A) for HEV application, down to the end-of discharge voltage specified by the manufacturer. Then, measure the capacity of cell. This discharge capacity is the retained capacity (Ah).

Step 4 - Repeat step1, step 2 and step 3 for 3 times.

The capacity, power density, regenerative power density and retained capacity measured in step1 and step 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.

7.7 Cycle life test

The cycle life test shall be performed to determine the degradation character of cell by charge and discharge cycles.

NOTE 1 The cycle life test sequence is shown in Annex B.

NOTE 2 Selective test conditions are shown in Table A.3 in Annex A.

7.7.1 BEV cycle test

The cycle life performance of cell for BEV application shall be determined by the following test methods.

7.7.1.1 Measurement of initial performance

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

– Capacity

The capacity shall be measured as specified in 7.2 at $25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ K}$.

– The dynamic discharge capacity C_D

The dynamic discharge capacity C_D shall be measured at $25\text{ °C} \pm 2\text{ K}$ and $45\text{ °C} \pm 2\text{ K}$.

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 4 until the voltage reaches the lower limit specified by the manufacturer.

– Power

The power shall be measured as specified in 7.4 at $25\text{ °C} \pm 2\text{ K}$, 50 % SOC.

7.7.1.2 Charge and discharge cycle

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

a) Temperature

The ambient temperature shall be $45\text{ °C} \pm 2\text{ K}$. At the start of charge and discharge cycle, cell temperature shall be $45\text{ °C} \pm 2\text{ K}$.

b) Charge and discharge cycle

A single cycle is determined as the repetition of the following steps from 1 to 4. The rest time between each step shall be less than 4 h.

The cycle shall be continuously repeated for 28 days. Then, measure the performance of the cell as specified in 7.7.1.2 c). This procedure shall be repeated until the test termination specified in 7.7.1.2 d).

Step 1 - The cell shall be fully discharged by the method specified by the manufacturer.

Step 2 - The cells shall be fully charged by the method specified by the manufacturer. The charge time shall be less than 12 h.

Step 3 - Discharge the cell following the dynamic discharge profile A specified in Table 3 and Figure 4 until the discharged capacity reaches equivalent to $50\% \pm 5\%$ of the initial dynamic discharge capacity C_D at 45 °C .

If the voltage reaches the lower limit specified by the manufacturer during step 3, the test shall be discontinued notwithstanding the stipulation in 7.7.1.2 d), and the cell performance shall be measured at this point as specified in 7.7.1.2 c).

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

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

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

where

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

N is a value (1/h) of vehicle required maximum power of cell (W) divided by energy of cell (Wh);

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

W_{ed} is the electric energy of cell at room temperature (Wh).

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

Table 3 – Dynamic discharge profile A for BEV cycle test

Charge/discharge 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	-

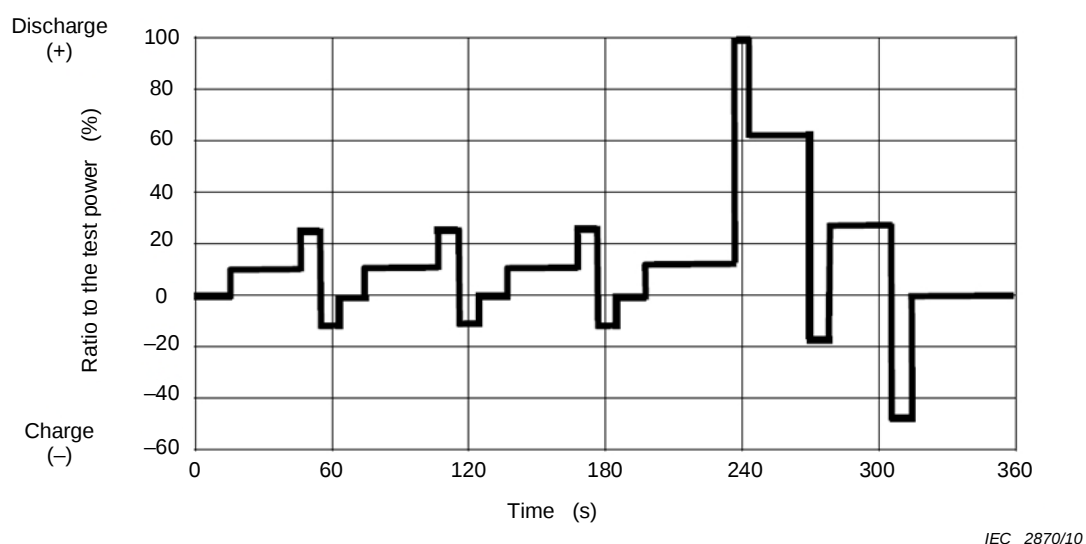


Figure 4 – Dynamic discharge profile A for BEV cycle test

Step 4 - Discharge the cell following the dynamic discharge profile B (hill climbing profile) specified in Table 4 and Figure 5 for one time. The test power shall be calculated using equation (12).

If the voltage reaches the lower limit specified by the manufacturer during step 4, the test shall be discontinued notwithstanding the stipulation in 7.7.1.2 d), and the cell performance shall be measured at this point as specified in 7.7.1.2 c).

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

Table 4 – Dynamic discharge profile B for BEV cycle test

Charge/discharge 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	-

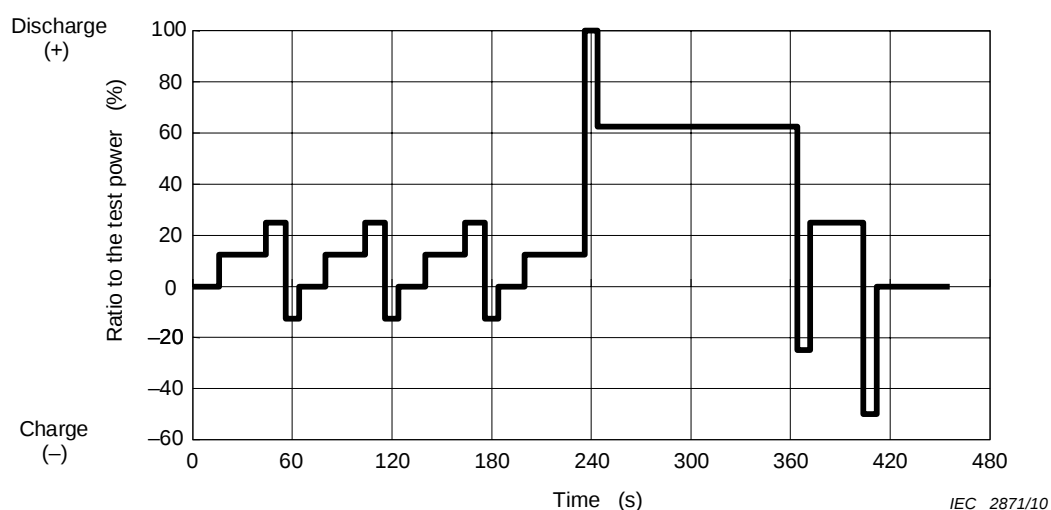


Figure 5 – Dynamic discharge profile B for BEV cycle test

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

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

If the voltage reaches the lower limit specified by the manufacturer during step 5, the test shall be discontinued notwithstanding the stipulation in 7.7.1.2 d), and the cell performance shall be measured at this point as specified in 7.7.1.2 c).

c) Periodical measurement of performance

After every completion of the repetition from step 1 to step 5 for 28 test days, the performance of cell shall be measured as specified in 7.7.1.1. The accumulated time from step 1 to step 4 in 7.7.1.2 b) shall also be reported. The dynamic discharge capacity shall be measured at $25\text{ °C} \pm 2\text{ K}$ only.

d) Termination of test

The cycle life test shall be terminated when either of the following conditions is satisfied. Otherwise back to 7.7.1.2 a) and repeat the test.

Condition A – The test sequence from 7.7.1.2 a) to 7.7.1.2 c) is repeated 6 times.

Condition B – When any of the performance measured in 7.7.1.2 c) is decreased to less than 80 % of the initial value.

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

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

7.7.2 HEV cycle test

The cycle life performance of cell for HEV application shall be determined by the following test methods.

7.7.2.1 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 7.2 at $25\text{ °C} \pm 2\text{ K}$.

– Power

The power shall be measured as specified in 7.4 at $25\text{ °C} \pm 2\text{ K}$, 50 % SOC.

7.7.2.2 Profile switching voltage

Before the cycle life test, set switching voltages at which discharge-rich profile and charge-rich profile specified in 7.7.2.3 c) shall be switched over.

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

Adjust the SOC of cell to 30 % according to 7.3, 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 manufacturer's specified lower limit voltage, the latter shall be the switching voltage. The 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 cell to 80 % according to 7.3, 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 manufacturer's specified upper limit voltage, the latter shall be used as switching voltage. The manufacturer's recommended SOC of cell may be used additionally.

7.7.2.3 Charge and discharge cycle

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

a) Temperature

The ambient temperature shall be maintained at $45\text{ °C} \pm 2\text{ K}$ in accordance with 4.4 during the test. At the start of charge and discharge cycle, cell temperature shall be $45\text{ °C} \pm 2\text{ K}$ in accordance with 4.2.4.

b) Adjustment of SOC before charge and discharge cycle

The cells shall be left at a temperature of $45\text{ °C} \pm 2\text{ K}$, and be adjusted to 80 % SOC or the SOC agreed between the manufacturer and the customer within an interval of 16 h to 24 h, in accordance with 7.3. If 80 % SOC is not used, the used SOC shall be reported.

c) Charge and discharge cycle

The procedure from step 1 to step 4 shall be continuously repeated until the test termination specified in 7.7.2.3 e). During the test, the performance of the cell shall be measured periodically as specified in 7.7.2.3 d).

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

Step 1 - Charge and discharge cycle shall be carried out repeatedly through the discharge-rich profile given by Table 5 and Figure 6 until the cell voltage reaches to the switching voltage set in 7.7.2.2 a) (see Figure 8).

Step 2 - Charge and discharge cycle shall be carried out repeatedly through the charge-rich profile given by Table 6 and Figure 7 until the cell voltage reaches to the switching voltage set in 7.7.2.2 b) (see Figure 8).

Step 3 - Repeat step 1 and step 2 for 22 h.

Step 4 - Rest the cell for 2 h.

Table 5 – Discharge-rich profile for HEV cycle test

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

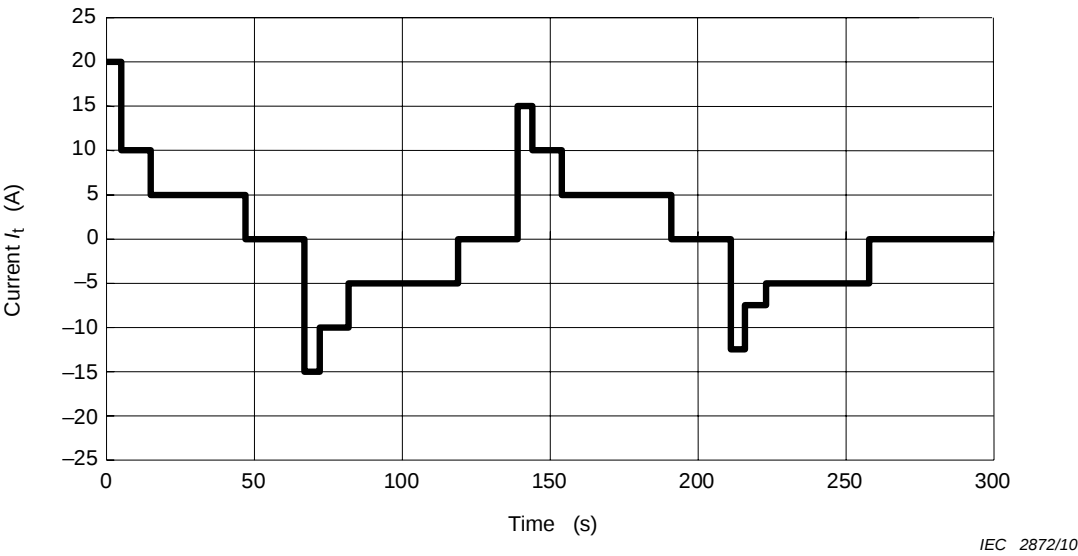
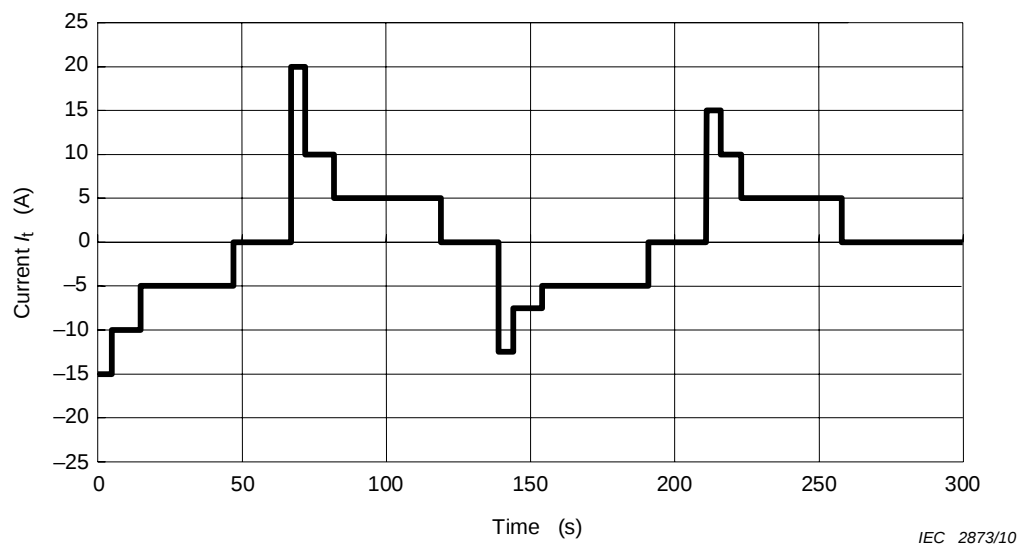


Figure 6 – Discharge-rich profile for HEV cycle test

If the maximum current specified by the manufacturer is below 20 I_t , the manufacturer's specified maximum current may be used at charge/discharge step 1, along with replacing the current at charge/discharge step 6 with 1/2 of the manufacturer's specified maximum current.

Table 6 – Charge-rich profile for HEV cycle test

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



IEC 2873/10

Figure 7 – Charge-rich profile for HEV cycle test

If the maximum current specified by the manufacturer is below 20 I_t , the manufacturer's specified maximum current may be used at charge/discharge step 5, along with replacing the current at charge/discharge step 2 with 1/2 of the manufacturer's specified maximum current.

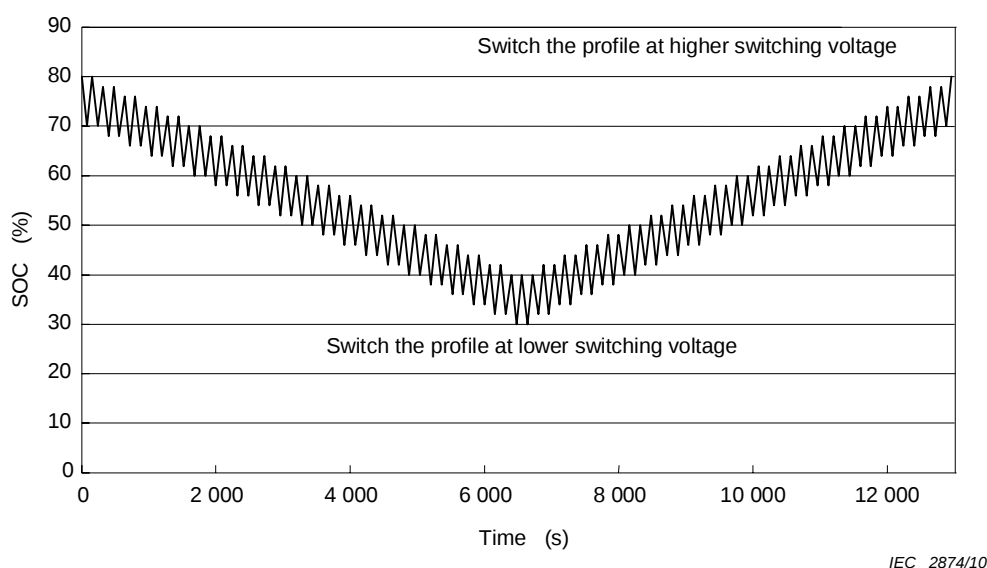


Figure 8 – Typical SOC swing by combination of two profiles for HEV cycle test

d) Periodical measurement of performance

After every completion of the procedure from step 1 to step 4 for 7 days, the power of cell shall be measured as specified in 7.7.2.1. The capacity of cell shall be measured every 14 days as specified in 7.7.2.1.

e) Termination of test

The cycle life test shall be terminated when either of the following conditions is satisfied. Otherwise back to 7.7.2.3 a) and repeat the test.

Condition A – The test in 7.7.2.3 c) is repeated for a total of 6 months.

Condition B – When either of the performance measured in 7.7.2.3 d) is decreased to less than 80 % of the initial value.

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

7.8 Energy efficiency test

Energy efficiency of cells shall be determined by two common tests as specified in 7.8.1 and either of tests described in 7.8.2 and 7.8.3.

7.8.1 Common tests

7.8.1.1 Test for normal conditions

This test is applicable to cells used in HEVs and BEVs. 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 7.2 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 manufacturer;

- 2) leave the cell at rest for 4 h, and then discharge it by the method specified in 7.2 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 manufacturer;
 - 2) leave the cell at rest for 4 h, and then discharge it by the method specified in 7.2 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 discharge electric quantity or charge electric quantity (Ah);

I_n is discharge current value or charge current value at n point 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 V at intervals of s seconds ($s \leq 30$) from the start of discharge; then, calculate the discharge electric energy and charge electric energy 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 discharge electric energy or charge electric energy (Wh);

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

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

- g) Calculation of energy efficiency

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

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

where

η_c is coulomb efficiency (%);

Q_d is discharge electric quantities in 7.8.1 (Ah);

Q_c is charge electric quantities in 7.8.1 (Ah).

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

where

- η_e is energy efficiency (%);
 W_d is discharge electric energies in 7.8.1 (Wh);
 W_c is charge electric energies in 7.8.1 (Wh).

NOTE Values provided by measurement devices may be used, if sufficient accuracy can be achieved.

7.8.1.2 Test by temperature

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

The test shall be carried out at the test temperatures of $-20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ K}$, $0\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ K}$, and $45\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ K}$.

- 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 7.2 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 manufacturer;
 - 2) leave the battery at rest for 4 h, and then discharge it by the method specified in 7.2.
- 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).

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

7.8.2 Test for cells of BEV application

This test is applicable to cells used in BEVs, and intended to determine the energy efficiency of cells 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 7.2.
- c) Energy efficiency test at 80 % SOC:
 - 1) leave the cell at rest for 4 h, and then charge it to 80 % SOC at $2\text{ }I_t$. If the voltage reached the upper limit voltage specified by the manufacturer, charging shall be terminated;

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

- 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 7.2.
- 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).

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

where

η_{c1} is coulomb efficiency (%);
 Q_{d1} is discharge electric quantities in 7.8.2 (Ah);
 Q_{c1} is charge electric quantities in 7.8.2 (Ah).

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

where

η_{e1} is energy efficiency (%);
 W_{d1} is discharge electric energies in 7.8.2 (Wh);
 W_{c1} is charge electric energies in 7.8.2 (Wh).

7.8.3 Energy efficiency calculation for cells of HEV application

This paragraph is applicable to cells used in HEVs.

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 7.4 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 $10 I_t \times 10$ 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 charge electric energy (Wh);
 I_{cn} is charge current value at n point of measured intervals (A);
 U_{cn} is charge voltage value at n point 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 discharge electric energy (Wh);
 I_{dn} is discharge current value at n point of measured intervals (A);
 U_{dn} is discharge voltage value at n point of measured intervals (V).

b) Calculation of energy efficiency

Determine the energy efficiency using equation (21).

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

where

η_{e2} is energy efficiency (%);

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

W_{C2} is charge electric energy (Wh).

Annex A (informative)

Selective test conditions

This annex provides additional and selective conditions for the capacity test specified in 7.2, the power tests in 7.4, the cycle life test in 7.7, and energy efficiency test in 7.8.2. The test conditions "r" are specified in this standard. In addition, the test conditions "a" as shown in Table A.1, Table A.2, Table A.3 and Table A.4 may be selected based on the agreement between the manufacturer and the customer.

Table A.1 – Capacity test conditions

		–20 °C	0 °C	25 °C	45 °C
BEV application	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 application	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

		–20 °C	0 °C	25 °C	40 °C
BEV application	20% SOC	a	a	r	a
	50% SOC	r	r	r	r
	80% SOC	a	a	r	a
HEV application	20% SOC	a	a	r	a
	50% SOC	r	r	r	r
	80% SOC	a	a	r	a

Table A.3 – Cycle life test conditions

	25 °C	45 °C
BEV application	a	r
HEV application	a	r

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

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

Annex B (informative)

Cycle life test sequence

This annex provides the test sequences of cycle life tests specified in 7.7. 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.

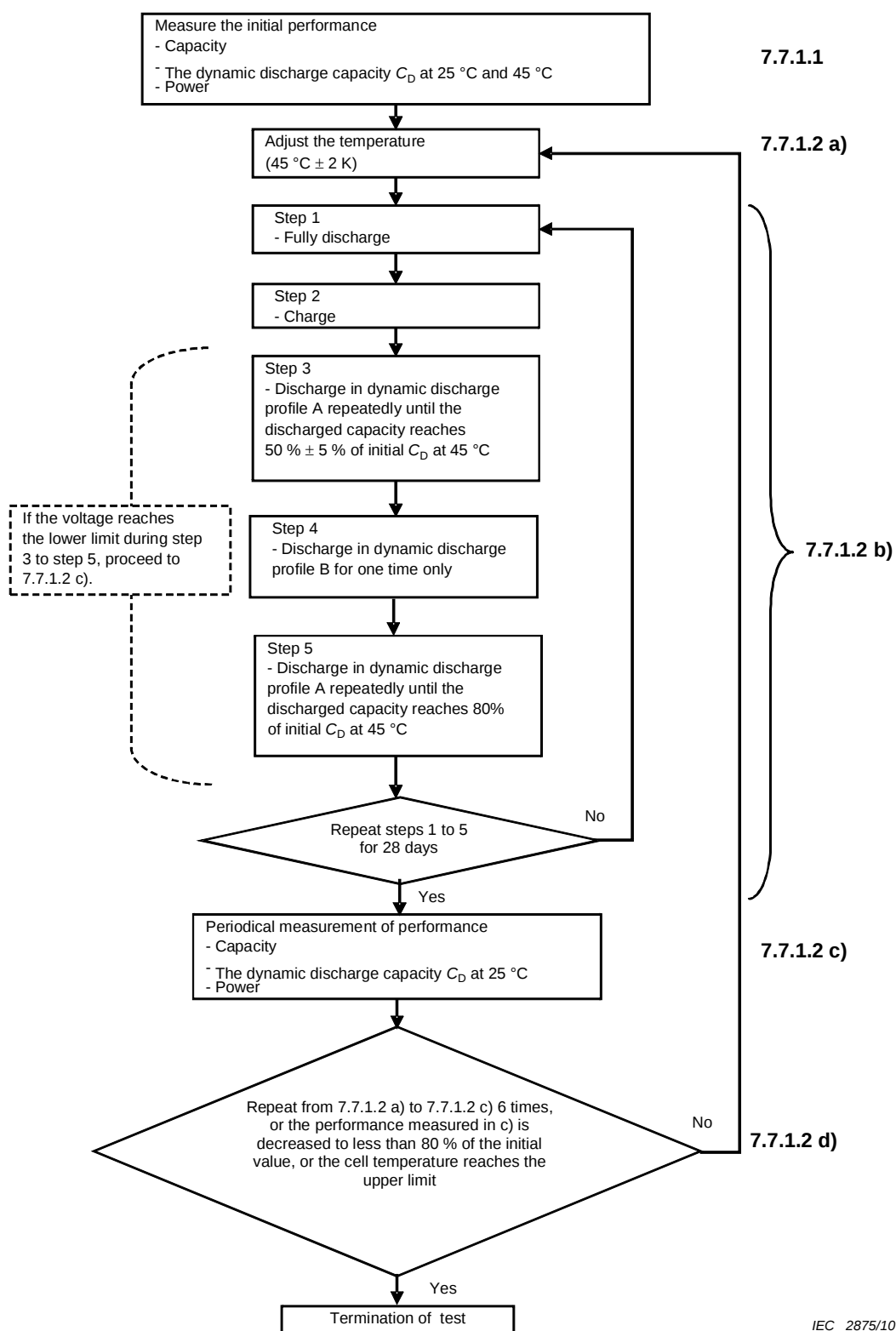
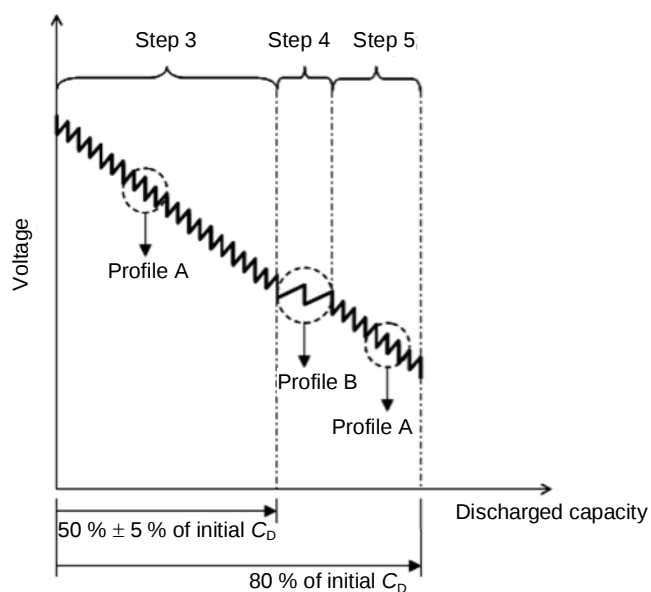


Figure B.1 – Test sequence of BEV cycle test



IEC 2876/10

Figure B.2 – Concept of BEV cycle test

Table B.1 – Test sequence of HEV cycle test

		Test procedure	Temperature
7.7.2.1		Measure the initial performance - Capacity - Power	Room temperature
7.7.2.2 a)		Set the switching voltage from discharge-rich profile to charge-rich profile	45 °C ± 2 K
7.7.2.2 b)		Set the switching voltage from charge-rich profile to discharge-rich profile	
7.7.2.3 a)		Adjust the temperature to 45 °C ± 2 K	45 °C ± 2 K
7.7.2.3 b)		Adjust the SOC to 80 %	
7.7.2.3 c)	Step 1	Repeat the cycle in discharge-rich profile until the switching voltage set in 7.7.2.2 a)	
	Step 2	Repeat the cycle in charge-rich profile until the switching voltage set in 7.7.2.2 b)	
	Step 3	Repeat step 1 and step 2 for 22 h	
	Step 4	Rest for 2 h	
		Repeat the procedure from step 1 to step 4.	
7.7.2.3 d)		Periodical measurement of performance - Capacity (every 14 days) - Power (every 7 days)	Room temperature
7.7.2.3 e)		Terminate the test when either of the following conditions is satisfied. If not satisfied, back to 7.7.2.3 a). - Repeat 7.7.2.3 c) 6 months - Either of the performance measured in 7.7.2.3 d) is decreased to less than 80 % of the initial value.	-

Bibliography

IEC 62660-2, *Secondary lithium-ion cells for the propulsion of electric road vehicles – Part 2: Reliability and abuse testing*²

ISO 12405-1, *Road vehicles – Electrically propelled road vehicles – Test specification for lithium-ion battery packs and systems – Part 1: High power application*³

ISO 12405-2, *Road vehicles – Electrically propelled road vehicles – Test specification for lithium-ion battery packs and systems – Part 2: High energy application that defines tests and related requirements for battery systems*⁴

² To be published.

³ Under consideration.

⁴ Under consideration.

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	40
INTRODUCTION	42
1 Domaine d'application.....	43
2 Références normatives.....	43
3 Termes et définitions	44
4 Conditions d'essai	45
4.1 Généralités.....	45
4.2 Instruments de mesure	45
4.2.1 Gamme des dispositifs de mesure.....	45
4.2.2 Mesure de la tension	45
4.2.3 Mesure du courant	45
4.2.4 Mesure de la température	45
4.2.5 Autres mesures.....	46
4.3 Tolérances	46
4.4 Température d'essai.....	46
5 Mesures dimensionnelles	47
6 Mesure de la masse.....	48
7 Mesures électriques.....	48
7.1 Conditions générales de charge.....	48
7.2 Capacité	48
7.3 Ajustement de l'état de charge (SOC)	48
7.4 Puissance	49
7.4.1 Méthode d'essai.....	49
7.4.2 Calcul de la densité de puissance.....	51
7.4.3 Calcul de la densité de puissance régénérative	52
7.5 Énergie	53
7.5.1 Méthode d'essai.....	53
7.5.2 Calcul de la densité d'énergie.....	54
7.6 Essai de stockage	54
7.6.1 Essai de conservation de la charge.....	54
7.6.2 Essai de restitution de performance après stockage	55
7.7 Essai de durée de vie en cyclage.....	55
7.7.1 Test en cyclage BEV	56
7.7.2 Test en cyclage HEV	60
7.8 Essai de rendement en énergie	64
7.8.1 Essais communs aux éléments BEV et HEV.....	64
7.8.2 Essai des éléments en application BEV	66
7.8.3 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
Bibliographie	75
Figure 1 – Exemple de mesure de température d'un élément	46
Figure 2 – Exemples de dimension maximale de l'élément.....	47

Figure 3 – Ordre des essais de la caractéristique courant-tension	51
Figure 4 – Profil dynamique de décharge A pour l'essai de durée de vie - BEV	58
Figure 5 – Profil dynamique de décharge B pour l'essai de durée de vie - BEV	59
Figure 6 – Profil à décharge prédominante pour l'essai de durée de vie - HEV	62
Figure 7 – Profil à charge prédominante pour l'essai de durée de vie - HEV	63
Figure 8 – 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
Tableau 1 – Conditions de décharge	48
Tableau 2 – Exemples de courants de charge et de décharge	49
Tableau 3 – Profil dynamique de décharge A pour l'essai de durée de vie - BEV	57
Tableau 4 – Profil dynamique de décharge B pour l'essai de durée de vie - BEV	59
Tableau 5 – Profil à décharge prédominante pour l'essai de durée de vie - HEV	62
Tableau 6 – Profil à charge prédominante 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 du rendement énergétique relatives à l'application BEV	70
Tableau B.1 – Séquence des essais de durée de vie relatifs à l'application HEV	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 Electrotechnique Internationale (CEI) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, la CEI – entre autres activités – publie des Normes internationales, des Spécifications techniques, des Rapports techniques, des Spécifications accessibles au public (PAS) et des Guides (ci-après dénommés "Publication(s) de la CEI"). Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec la CEI, participent également aux travaux. La CEI collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de la CEI concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de la CEI intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de la CEI se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de la CEI. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que la CEI s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; la CEI ne peut pas être tenue responsable de l'éventuelle mauvaise utilisation ou interprétation qui en est faite par un quelconque utilisateur final.
- 4) Dans le but d'encourager l'uniformité internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de la CEI dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de la CEI et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) La CEI elle-même ne fournit aucune attestation de conformité. Des organismes de certification indépendants fournissent des services d'évaluation de conformité et, dans certains secteurs, accèdent aux marques de conformité de la CEI. La CEI n'est responsable d'aucun des services effectués par les organismes de certification indépendants.
- 6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.
- 7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à la CEI, à ses administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris ses experts particuliers et les membres de ses comités d'études et des Comités nationaux de la CEI, pour tout préjudice causé en cas de dommages corporels et matériels, ou de tout autre dommage de quelque nature que ce soit, directe ou indirecte, ou pour supporter les coûts (y compris les frais de justice) et les dépenses découlant de la publication ou de l'utilisation de cette Publication de la CEI ou de toute autre Publication de la CEI, ou au crédit qui lui est accordé.
- 8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.
- 9) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Publication de la CEI peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et de ne pas avoir signalé leur existence.

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

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
21/728/FDIS	21/732/RVD

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

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

Une liste de toutes les parties de la série des CEI 62660, publiées sous le titre général *Eléments d'accumulateurs lithium-ion pour la propulsion des véhicules routiers électriques*, est disponible sur le site Internet de la CEI.

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

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

INTRODUCTION

La commercialisation des véhicules routiers électriques, comprenant les véhicules électriques à batterie, les véhicules électriques hybrides et 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. On estime que les batteries lithium-ion sont les batteries d'accumulateurs les plus prometteuses 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 d'accumulateurs 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 blocs de batteries.

La présente norme a pour but de spécifier les essais de performance des éléments lithium-ion destinés à la traction automobile qui diffèrent fondamentalement des autres éléments y compris ceux destinées aux applications portatives et fixes spécifiées par les autres normes CEI. Dans le cas d'une application automobile, il est important de considérer la spécificité d'usage, c'est-à-dire la diversité de conception des blocs et des systèmes de batteries pour automobile, ainsi que la diversité des exigences spécifiques relatives aux éléments et aux batteries correspondant à chacune de ces conceptions. Basé sur ces faits, le but de la présente norme est de fournir une méthodologie fondamentale d'essais ayant une polyvalence générale, remplissant une fonction d'essais préliminaires communs pour les éléments lithium-ion destinés à être utilisés dans divers systèmes de batterie.

La présente norme est associée à l'ISO 12405-1 et à l'ISO 12405-2¹.

La CEI 62660-2 spécifie les essais de fiabilité et de traitement abusif des éléments lithium-ion pour application aux véhicules électriques.

¹ A l'étude.

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 la CEI 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 d'accumulateurs (BEV) et les véhicules électriques hybrides (HEV).

L'objet de la présente norme est de spécifier 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.

La présente norme 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 diverses conceptions de systèmes de batteries et de blocs de batteries.

NOTE 1 En plus des conditions spécifiées par la présente norme, des conditions d'essai spécifiques, basées sur un accord entre le fabricant et le client, peuvent être choisies. Des conditions d'essai sélectives sont décrites à l'Annexe A.

NOTE 2 Les essais de performance des éléments lithium-ion connectés électriquement peuvent être effectués en faisant référence à la présente norme.

NOTE 3 La spécification d'essai pour les blocs et systèmes de batterie est définie dans l'ISO 12405-1 et l'ISO 12405-2 (à l'étude).

2 Références normatives

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

CEI 60050-482, *Vocabulaire Électrotechnique International – Partie 482: Piles et accumulateurs électriques*

CEI 61434, *Accumulateurs alcalins et autres accumulateurs à électrolyte non acide – Guide pour l'expression des courants dans les normes d'accumulateurs alcalins*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions donnés dans la CEI 60050-482 et les suivants s'appliquent.

3.1

véhicule électrique à batterie

BEV, en anglais *battery electric vehicle*

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

3.2

véhicule électrique hybride

HEV, en anglais *hybrid electric vehicle*

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

3.3

capacité assignée

quantité d'électricité C_3 Ah (ampère-heures) pour un BEV et C_1 Ah pour un HEV, déclarée par le fabricant

3.4

courant d'essai de référence

I_t

courant en ampères, exprimé comme

$$I_t = C_n \text{ (Ah)} / 1 \text{ (h)}$$

où

C_n est la capacité assignée de l'élément;

n est le temps de base (heures)

3.5

température ambiante

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

3.6

accumulateur lithium-ion

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

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

NOTE 2 Dans la présente norme, le terme "accumulateur" ou "élément d'accumulateur" signifie "accumulateur lithium-ion" destiné à être utilisé pour la propulsion des véhicules routiers électriques.

3.7

état de charge

SOC, en anglais *state of charge*

capacité disponible d'une batterie, exprimée en pourcentage de la capacité assignée

4 Conditions d'essai

4.1 Généralités

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

4.2 Instruments de mesure

4.2.1 Gamme des dispositifs de mesure

Les appareils utilisés doivent permettre de mesurer les valeurs de tension et de courant. L'échelle 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 indiquées en 4.2.1. Il convient que la température soit mesurée à l'endroit qui reflétera le mieux la température de l'élément. La température peut être mesurée à d'autres endroits appropriés, si nécessaire.

La Figure 1 montre des exemples de mesure de la température. Les instructions de mesure de la température spécifiées par le fabricant doivent être respectées.

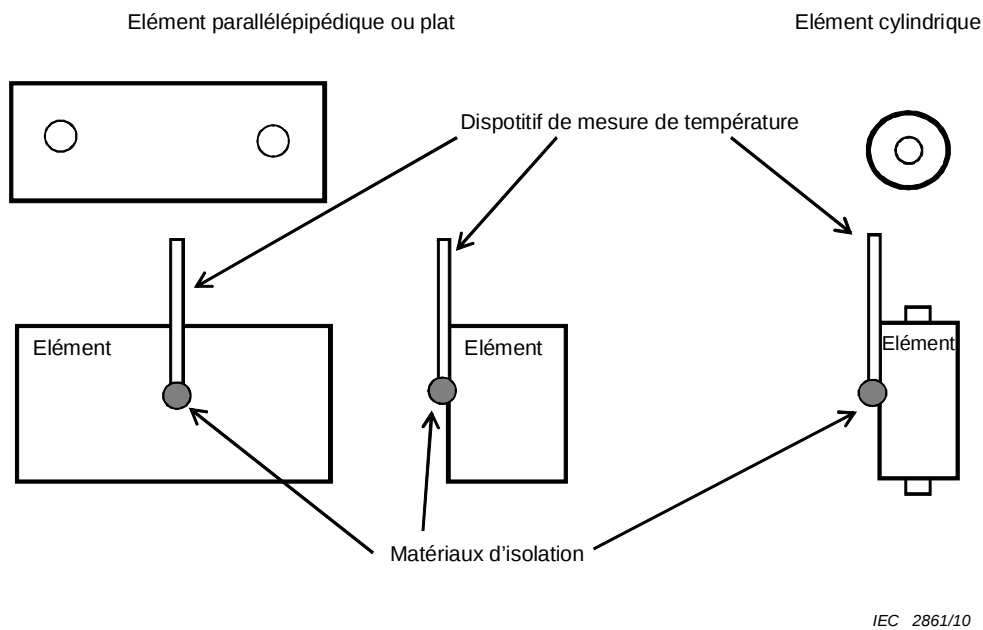


Figure 1 – Exemple de mesure de température d'un élément

4.2.5 Autres mesures

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

4.3 Tolérances

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

- a) $\pm 0,1$ % pour la tension;
- b) ± 1 % pour le courant;
- c) ± 2 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 Température d'essai

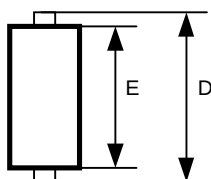
Si cela n'est pas défini par ailleurs, avant chaque essai, l'élément doit être stabilisé à la température d'essai pendant 12 h au minimum. Cette période peut être réduite si la stabilisation thermique est atteinte. La stabilisation thermique est considérée comme étant atteinte si, sur un intervalle de temps de 1 h, la variation de température de l'élément est inférieure à 1 K.

Sauf indication contraire dans la présente norme, les éléments doivent être soumis aux essais à la température ambiante, en utilisant la méthode indiquée par le fabricant.

5 Mesures dimensionnelles

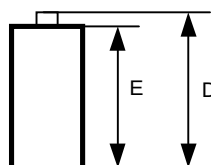
La dimension maximale de largeur totale, d'épaisseur totale, ou du diamètre, et de longueur totale d'un élément doit être mesurée avec trois chiffres significatifs, selon les tolérances de 4.3.

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



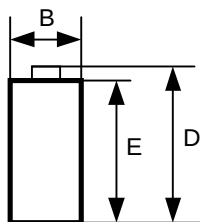
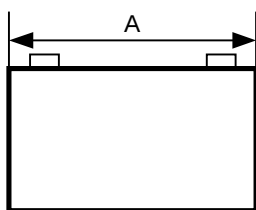
IEC 2862/10

Figure 2a – Élément cylindrique (1)



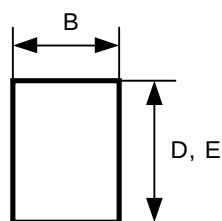
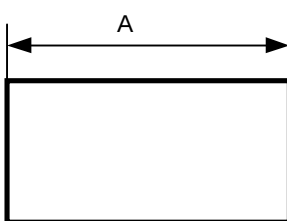
IEC 2863/10

Figure 2b – Élément cylindrique (2)



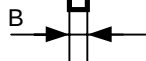
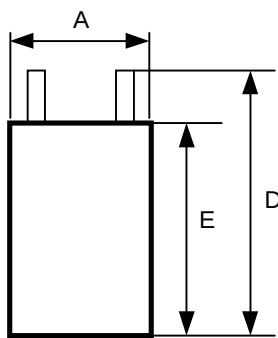
IEC 2864/10

Figure 2c – Élément prismatique (1)



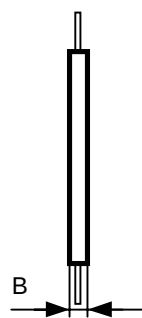
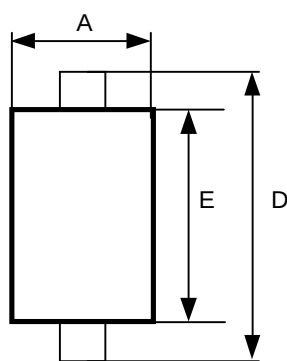
IEC 2865/10

Figure 2d – Élément prismatique (2)



IEC 2866/10

Figure 2e – Élément plat (1)



IEC 2867/10

Figure 2f – Élément plat (2)

Légende

- A largeur totale
- B épaisseur totale
- C diamètre
- D longueur totale (bornes comprises)
- E longueur totale (bornes non comprises)

Figure 2 – Exemples de dimension maximale de l'élément

6 Mesure de la masse

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

7 Mesures électriques

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

7.1 Conditions générales de charge

Sauf indication contraire dans la présente norme, avant l'essai des 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 par le Tableau 1, jusqu'à une tension finale spécifiée par le fabricant. Puis l'élément doit être chargé conformément à la méthode de charge préconisée par le fabricant, à la température ambiante.

7.2 Capacité

La capacité de l'élément doit être mesurée conformément aux étapes suivantes.

Etape 1 - L'élément doit être chargé conformément à 7.1.

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

Etape 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. Les courants de décharge et les températures indiqués dans le Tableau 1 doivent être utilisés.

NOTE Des conditions sélectives d'essai sont précisées au Tableau A.1 de l'Annexe A.

La méthode d'expression du courant d'essai, I_t , est définie par la CEI 61434.

Tableau 1 – Conditions de décharge

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

Etape 3 - Mesurer la durée de décharge jusqu'à atteindre la tension finale spécifiée, et calculer la capacité de l'élément, exprimée en Ah, avec trois chiffres significatifs.

7.3 Ajustement de l'état de charge (SOC)

Les éléments soumis à l'essai doivent être chargés comme indiqué ci-dessous. L'ajustement de l'état de charge (SOC) est la procédure à suivre pour préparer les éléments aux divers états de charge (SOC) destinés aux essais de la présente norme.

Etape 1 - L'élément doit être chargé conformément à 7.1.

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

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

7.4 Puissance

7.4.1 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) Mesures dimensionnelles

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

c) Essai des caractéristiques courant-tension

Les caractéristiques courant-tension doivent être déterminées en mesurant la tension à la fin de l'impulsion de 10 s, lorsque l'élément est déchargé par un courant constant et chargé dans les conditions spécifiées ci-dessous.

- 1) Le SOC doit être ajusté à 20 %, 50 %, et 80 % conformément à la procédure spécifiée en 7.3.
- 2) La température de l'élément au début de l'essai doit être fixée à 40 °C, 25 °C, 0 °C, et -20 °C.
- 3) L'élément est chargé ou déchargé à chaque valeur de courant correspondant au niveau respectif de capacité assignée, et la tension est mesurée à la fin de l'impulsion de 10 s. La plage de courant de charge et de décharge doit être spécifiée par le fabricant, et l'intervalle de mesure normalisé doit être de 1 s. Si la tension après 10 s excède la tension de la limite inférieure de décharge ou la tension de la limite supérieure de charge, les données de mesure doivent être omises.

NOTE Il convient que les limites de charge/décharge à basse température spécifiées par le fabricant soient prises en considération.

Le Tableau 2 donne des exemples de courant de charge et de décharge, selon les applications. Si nécessaire, le courant maximal de charge et de décharge est spécifié par le fabricant de l'élément ($I_{\max}$). Cette valeur peut être réduite suite à un accord avec le client. Le courant maximal de charge et de décharge peut être appliqué après la mesure à $5 I_t$ pour une application BEV et à $10 I_t$ pour une application HEV. La valeur de $I_{\max}$ change selon le SOC, la température de l'essai et l'état de charge ou de décharge.

Tableau 2 – Exemples de courants de charge et de décharge

Application	Courant de charge et de décharge				
	A				
BEV	$1/3 I_t$	$1 I_t$	$2 I_t$	$5 I_t$	$I_{\max}$
HEV	$1/3 I_t$	$1 I_t$	$5 I_t$	$10 I_t$	$I_{\max}$

- 4) Un temps de repos de 10 min doit être accordé entre les impulsions de charge et de décharge, ainsi qu'entre celles de décharge et de charge. Cependant, si la température de l'élément après 10 min n'est pas à la température d'essai à 2 K près, il doit être davantage refroidi; l'alternative est de prolonger la durée du temps de repos et de surveiller sa température pour voir si elle se stabilise à 2 K près. Ensuite, la procédure suivante de décharge ou de charge est poursuivie.
- 5) L'essai est effectué conformément aux diagrammes donnés aux Figures 3a et 3b.

NOTE 1 Des conditions d'essai sélectives sont précisées au Tableau A.2 de l'Annexe A.

NOTE 2 La ligne de caractéristique courant-tension peut être obtenue par approximation linéaire, en utilisant les valeurs mesurées du courant et de la tension, à partir desquelles $I_{\max}$ et la puissance peuvent être calculés. La pente de cette ligne montre la résistance interne de l'élément.

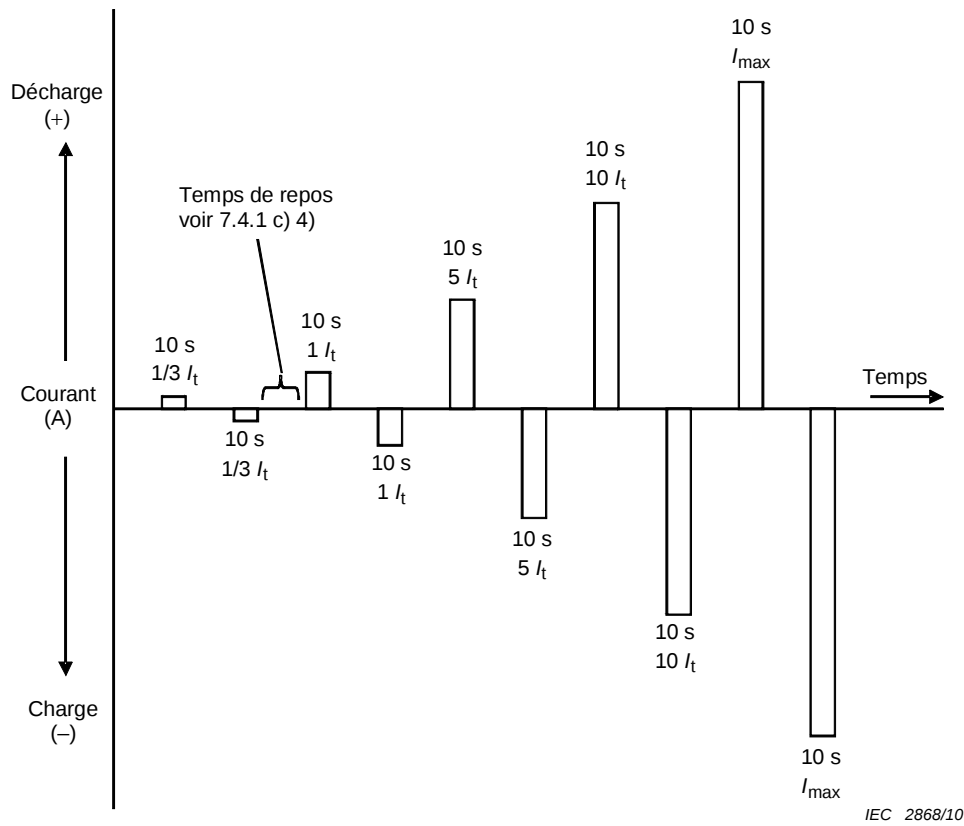


Figure 3a – Ordre des essais de la caractéristique courant-tension pour application HEV
(suite à la page suivante)

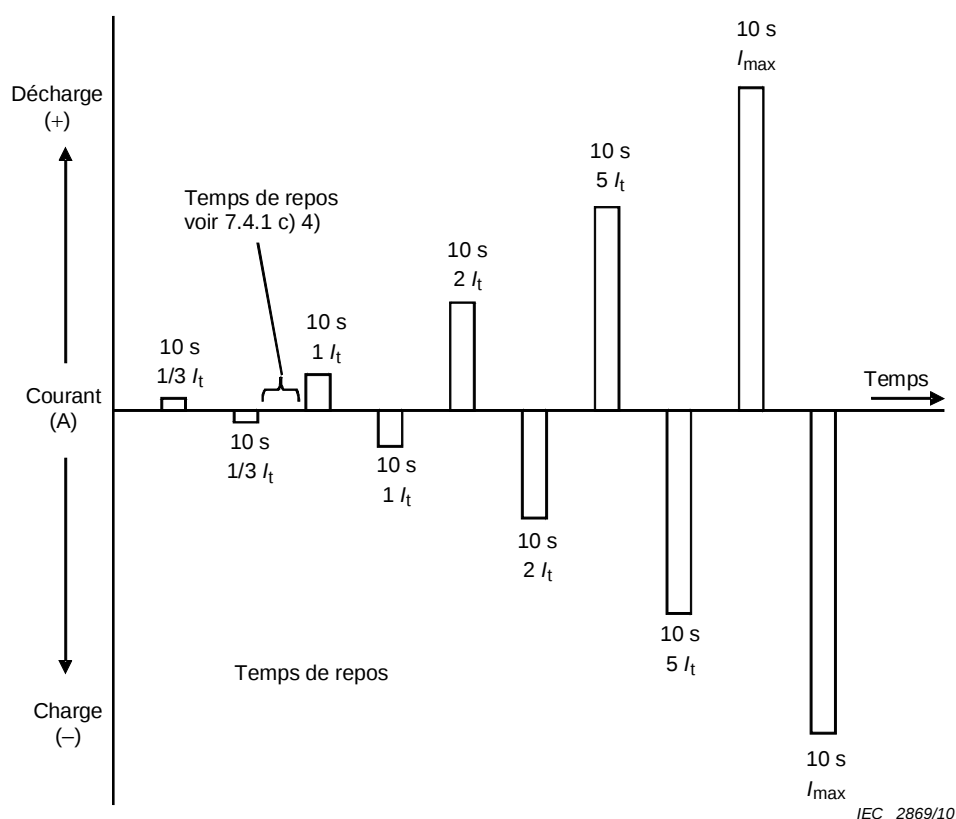


Figure 3b – Ordre des essais de la caractéristique courant-tension pour application BEV

Figure 3 – Ordre des essais de la caractéristique courant-tension

7.4.2 Calcul de la densité de puissance

7.4.2.1 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 décharge maximal spécifié par le fabricant (A).

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

7.4.2.2 Densité de puissance par unité de masse

La densité de puissance massique est 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).

7.4.2.3 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).

Le volume d'un élément parallélépipédique ou plat est donné par le produit de sa hauteur totale, à l'exclusion des bornes, de sa largeur, et de sa longueur, et celui d'un élément cylindrique est donné par le produit de la section transversale du cylindre et de sa longueur totale, à l'exclusion des bornes.

7.4.3 Calcul de la densité de puissance régénérative

7.4.3.1 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 charge maximal spécifié par le fabricant (A).

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

7.4.3.2 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).

7.4.3.3 Densité de puissance régénérative par unité de volume

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

$$\rho_{pv\text{lmc}} = \frac{P_c}{V} \quad (6)$$

où

$\rho_{pv\text{lmc}}$ est la densité de puissance régénérative volumique (W/l);

P_c est la puissance régénérative (W);

V est le volume de l'élément (l).

Le volume d'un élément parallélépipédique ou plat est donné par le produit de sa hauteur totale, à l'exclusion des bornes, de sa largeur, et de sa longueur, et celui d'un élément cylindrique est donné par le produit de la section transversale du cylindre et de sa longueur totale, à l'exclusion des bornes.

7.5 Énergie

7.5.1 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

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

b) Mesures dimensionnelles

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

c) Mesure de capacité

La capacité de l'élément doit être déterminée à la température ambiante, conformément à 7.2.

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 en utilisant l'équation (7) avec trois chiffres significatifs en arrondissant le résultat.

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

NOTE Les valeurs données par les dispositifs de mesure peuvent être utilisées, si une précision suffisante peut être obtenue.

7.5.2 Calcul de la densité d'énergie

7.5.2.1 Densité d'énergie par unité de masse

La densité d'énergie massique doit être calculée en utilisant les 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 (Wh);

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 (Wh);

m est la masse de l'élément (kg).

7.5.2.2 Densité d'énergie par unité de volume

La densité d'énergie volumique doit être calculée en utilisant l'équation (10) avec trois chiffres significatifs en arrondissant le résultat.

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

où

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

W_{ed} est l'énergie électrique de l'élément (Wh);

V est le volume de l'élément (l).

Le volume d'un élément parallélépipédique doit être donné par le produit de sa hauteur totale, à l'exclusion des bornes, de sa largeur, et de sa longueur, et celui d'un élément cylindrique doit être donné par le produit de la section transversale cylindrique et de sa longueur totale, à l'exclusion des bornes.

7.6 Essai de stockage

7.6.1 Essai de conservation de la charge

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 7.1.

Étape 2 - L'élément doit être déchargé à un SOC de 50 % selon la méthode spécifiée en 7.3. Puis, l'élément doit être stabilisé à la température d'essai pendant 1 h.

Etape 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 .

Etape 4 - Répéter les étapes 1 et 2.

Etape 5 - L'élément doit être stocké pendant 28 jours à une température ambiante de $45\text{ °C} \pm 2\text{ K}$.

Etape 6 - 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, à la température ambiante, jusqu'à la tension finale et ensuite mesurer sa capacité. 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).

7.6.2 Essai de restitution de performance après stockage

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

Etape 1 - Déterminer la capacité, la densité de puissance et la densité de puissance régénératrice de l'élément, conformément à 7.1, 7.2 et 7.4.

Etape 2 - Ajuster le SOC de l'élément à 100 % pour une application BEV, et à 50 % pour une application HEV, conformément à 7.3. L'élément doit être stocké pendant 42 jours ou 6 semaines à une température ambiante de $45\text{ °C} \pm 2\text{ K}$.

Etape 3 - A la suite de l'étape 2, l'élément doit être maintenu à la température ambiante conformément à 4.4 et déchargé à un courant 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. Mesurer ensuite la capacité de l'élément. Cette capacité de décharge est la capacité résiduelle (Ah) de l'élément.

Etape 4 – Répéter l'étape 1, 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.

7.7 Essai de durée de vie en cyclage

L'essai de durée de vie en cyclage doit être effectué pour déterminer la dégradation de l'élément pendant les cycles de charge et de décharge.

NOTE 1 La séquence d'essai de durée de vie est donnée à l'Annexe B.

NOTE 2 Des conditions d'essais sélectives sont montrées dans le Tableau A.3 de l'Annexe A.

7.7.1 Test en cyclage BEV

Les performances de durée de vie de l'élément pour une application BEV doivent être déterminées par les méthodes d'essai suivantes.

7.7.1.1 Mesure 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 7.2 à $25\text{ °C} \pm 2\text{ K}$.

– Capacité dynamique de décharge C_D

La capacité dynamique de décharge C_D doit être mesurée à $25\text{ °C} \pm 2\text{ K}$ et à $45\text{ °C} \pm 2\text{ K}$.

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 défini par le Tableau 3 et par la Figure 4, jusqu'à ce que la tension atteigne la limite inférieure spécifiée par le fabricant.

– Puissance

La puissance doit être mesurée comme indiqué en 7.4, à $25\text{ °C} \pm 2\text{ K}$, SOC à 50 %.

7.7.1.2 Cycle de charge et de décharge

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

a) Température

La température ambiante doit être de $45\text{ °C} \pm 2\text{ K}$. Au début du cycle de charge et de décharge, la température de l'élément doit être de $45\text{ °C} \pm 2\text{ K}$.

b) Cycle de charge et de décharge

Un cycle unique est déterminé par la répétition des étapes suivantes 1 à 4. Le temps de repos entre chaque étape doit être inférieur à 4 h.

Le cycle doit être répété, sans interruption, pendant 28 jours. Ensuite, mesurer les performances de l'élément, comme indiqué en 7.7.1.2 c). Cette procédure doit être répétée jusqu'à l'achèvement de l'essai indiqué en 7.7.1.2 d).

Etape 1 - L'élément doit être complètement déchargé par la méthode spécifiée par le fabricant.

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

Etape 3 - Décharger l'élément suivant le profil de décharge dynamique A spécifié par le Tableau 3 et par la Figure 4 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 pendant l'étape 3, l'essai doit être interrompu, malgré la stipulation de 7.7.1.2 d), et les performances de l'élément doivent être mesurées à ce point de l'essai, comme indiqué en 7.7.1.2 c).

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

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 une valeur (1/h) de la puissance maximale demandée par le véhicule à l'élément (W) divisée par l'énergie de l'élément (Wh);

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).

Si la valeur issue de l'équation (12) est supérieure à la puissance maximale de l'élément spécifiée par le fabricant, 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. 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 de charge/décharge	Durée s	Rapport de 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	-

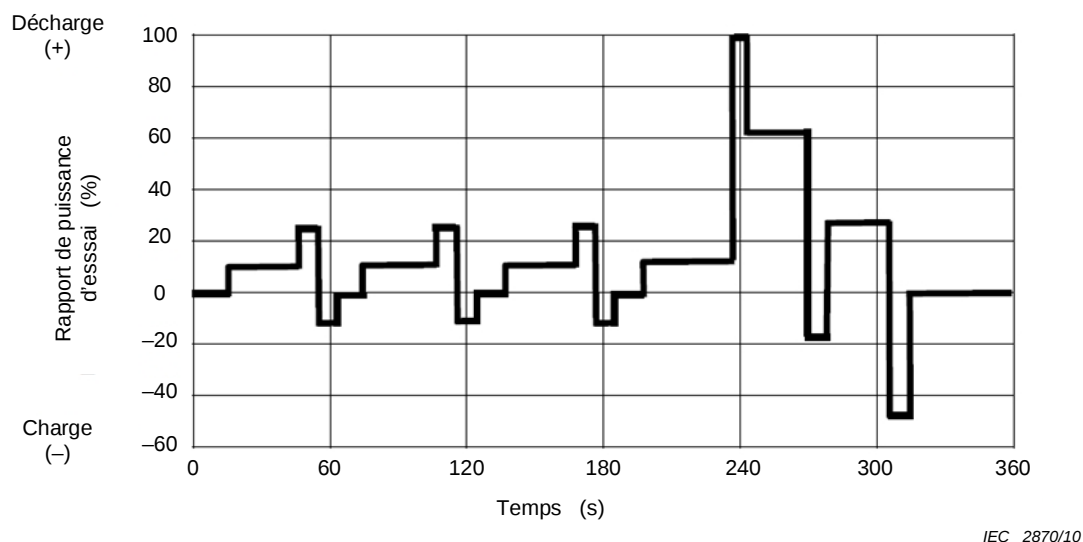


Figure 4 – Profil dynamique de décharge A pour l'essai de durée de vie - BEV

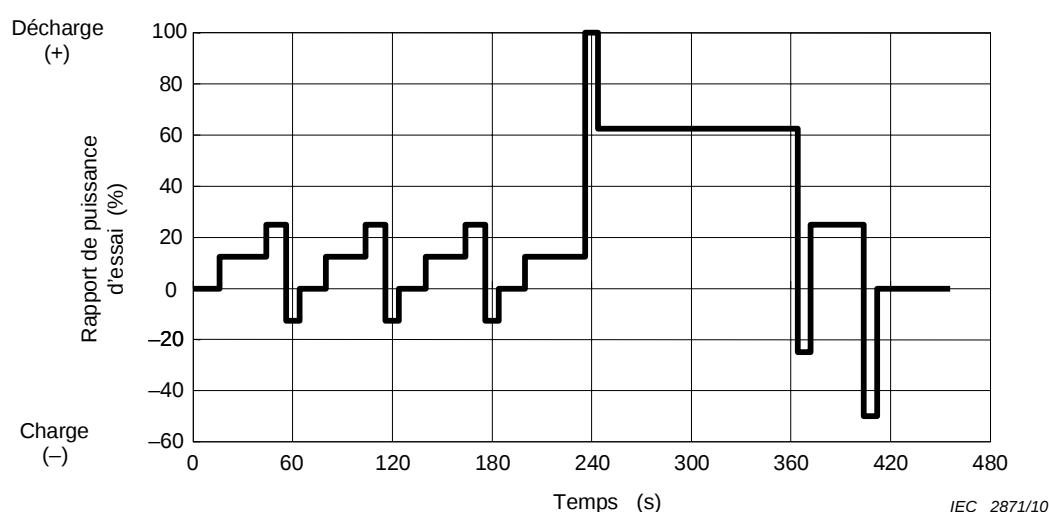
Etape 4 - Décharger l'élément suivant le profil de décharge dynamique B (profil de montée d'une côte) spécifié par le Tableau 4 et par la Figure 5, une seule fois. La puissance d'essai doit être calculée en utilisant l'équation (12).

Si la tension atteint la limite inférieure spécifiée par le fabricant pendant l'étape 4, l'essai doit être interrompu, malgré la stipulation de 7.7.1.2 d), et les performances de l'élément doivent être mesurées à ce point de l'essai, comme indiqué en 7.7.1.2 c).

Si la tension de l'accumulateur atteint fréquemment la tension de la limite inférieure pendant l'pas 16 de charge/décharge, 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 de charge/décharge	Durée s	Rapport de 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 5 – Profil dynamique de décharge B pour l'essai de durée de vie - BEV**

Etape 5 - Décharger l'élément suivant le profil de décharge dynamique A spécifié par le Tableau 3 et par la Figure 4 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 pendant l'étape 5, la durée de l'essai 20 de charge/décharge du Tableau 3 peut être prolongée à la valeur appropriée. La durée réelle doit être consignée.

Si la tension atteint la limite inférieure spécifiée par le fabricant pendant l'étape 5, l'essai doit être interrompu, malgré la stipulation de 7.7.1.2 d), et les performances de l'élément doivent être mesurées à ce point de l'essai, comme indiqué en 7.7.1.2 c).

c) Mesure périodique des performances

Après chaque achèvement de la répétition des étapes 1 à 5 pendant 28 jours d'essai, les performances de l'élément doivent être mesurées comme indiqué en 7.7.1.1. Le temps cumulé des étapes 1 à 4 de 7.7.1.2 b) doit être également consigné. La capacité dynamique de décharge ne doit être mesurée qu'à $25\text{ °C} \pm 2\text{ K}$.

d) Achèvement de l'essai

L'essai de durée de vie doit être arrêté lorsque l'une des conditions suivantes est satisfaite. Sinon retour à 7.7.1.2 a) et répéter l'essai.

Condition A - La séquence d'essais de 7.7.1.2 a) à 7.7.1.2 c) est répétée 6 fois.

Condition B - Lorsqu'une des performances quelconque mesurée de 7.7.1.2 c) a décliné à moins de 80 % de sa valeur initiale.

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

Si l'une des conditions ci-dessus n'est pas satisfaite, revenir à 7.7.1.2 a) et répéter l'essai.

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

7.7.2 Test en cyclage HEV

Les performances de durée de vie de l'élément pour une application HEV doivent être déterminées par les méthodes d'essai suivantes.

7.7.2.1 Mesure 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 7.2 à $25\text{ °C} \pm 2\text{ K}$.

– Puissance

La puissance doit être mesurée comme indiqué en 7.4, à $25\text{ °C} \pm 2\text{ K}$, SOC à 50 %.

7.7.2.2 Tension de changement de profil

Avant l'essai de durée de vie, fixer les tensions pour lesquelles on passera d'un profil à décharge prédominante à un profil à charge prédominante tels que spécifiés en 7.7.2.3 c).

a) Tension de changement du profil à décharge prédominante au profil à charge prédominante

Ajuster le SOC de l'élément à 30 % conformément à 7.3, et effectuer ensuite l'essai de durée de vie avec le profil riche en décharge à 45 °C, une seule fois. La plus faible tension atteinte pendant cet essai doit être la tension de changement du profil à décharge prédominante au profil à charge prédominante. Si la plus faible tension atteinte est inférieure à la tension de la limite inférieure spécifiée par le fabricant, cette dernière doit être la tension de changement. En outre, le SOC recommandé par le fabricant de l'élément peut être utilisé.

b) Tension de changement du profil à charge prédominante au profil à décharge prédominante

Ajuster le SOC de l'élément à 80 % conformément à 7.3, et effectuer ensuite l'essai de durée de vie avec le profil riche en charge à 45 °C, une seule fois. La plus forte tension atteinte pendant cet essai doit être la tension de changement du profil riche en charge au profil riche en décharge. Si la plus forte tension atteinte est supérieure à la tension de la limite supérieure spécifiée par le fabricant, cette dernière doit être la tension de commutation. En outre, le SOC recommandé par le fabricant de l'élément peut être utilisé.

7.7.2.3 Cycle de charge et de décharge

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

a) Température

La température ambiante doit être maintenue à $45\text{ °C} \pm 2\text{ K}$ pendant l'essai, conformément à 4.4. Au début du cycle de charge et de décharge, la température de l'élément doit être de $45\text{ °C} \pm 2\text{ K}$, conformément à 4.2.4.

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

Les éléments doivent être laissés à une température de $45\text{ °C} \pm 2\text{ K}$, et être ajustés à un SOC de 80 % ou au SOC convenu entre le fabricant et le client, pendant une période de 16 h à 24 h, conformément à 7.3. Si le SOC de 80 % n'est pas utilisé, celui utilisé doit être consigné.

c) Cycle de charge et de décharge

La procédure des étapes 1 à 4 doit être répétée sans interruption jusqu'à achèvement de l'essai, comme indiqué en 7.7.2.3 e). Pendant l'essai, les performances de l'élément doivent être mesurées périodiquement, comme indiqué en 7.7.2.3 d).

Si la température de l'élément atteint la limite supérieure spécifiée par le fabricant pendant l'essai, la durée de l'étape 16 de charge/décharge des Tableaux 5 et 6 peut être prolongée à valeur appropriée. La durée réelle doit être consignée.

Etape 1 - Le cycle de charge et de décharge doit être effectué à plusieurs reprises suivant le profil à décharge prédominante donné par le Tableau 5 et par la Figure 6, jusqu'à ce que la tension de l'élément atteigne la tension de commutation fixée en 7.7.2.2 a) (voir la Figure 8).

Etape 2 - Le cycle de charge et de décharge doit être effectué à plusieurs reprises suivant le profil à charge prédominante donné par le Tableau 6 et par la Figure 7, jusqu'à ce que la tension de l'élément atteigne la tension de commutation fixée en 7.7.2.2 b) (voir la Figure 8).

Etape 3 - Répéter l'étape 1 et l'étape 2 pendant 22 h.

Etape 4 - Laisser l'élément au repos pendant 2 h.

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

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

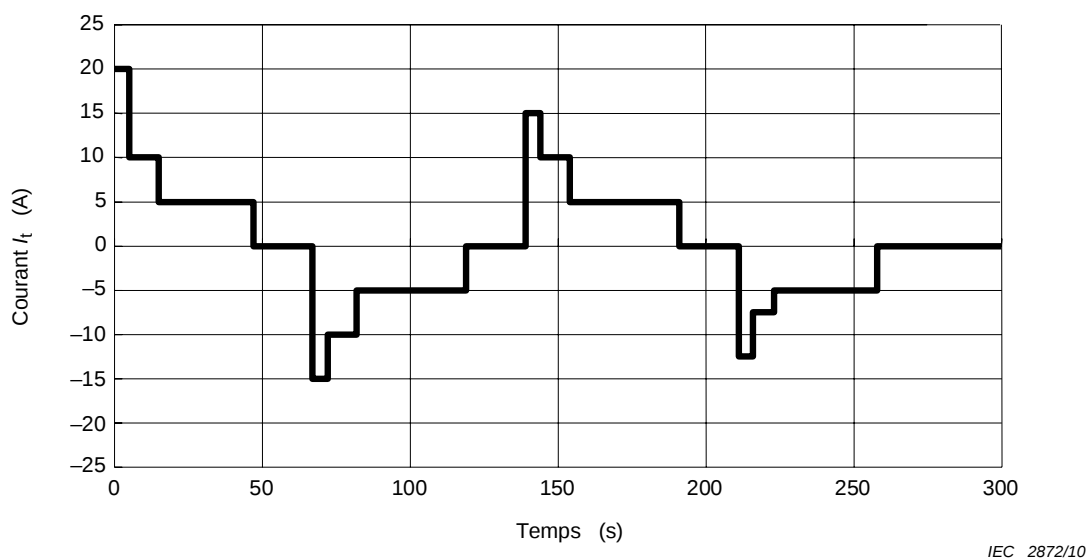
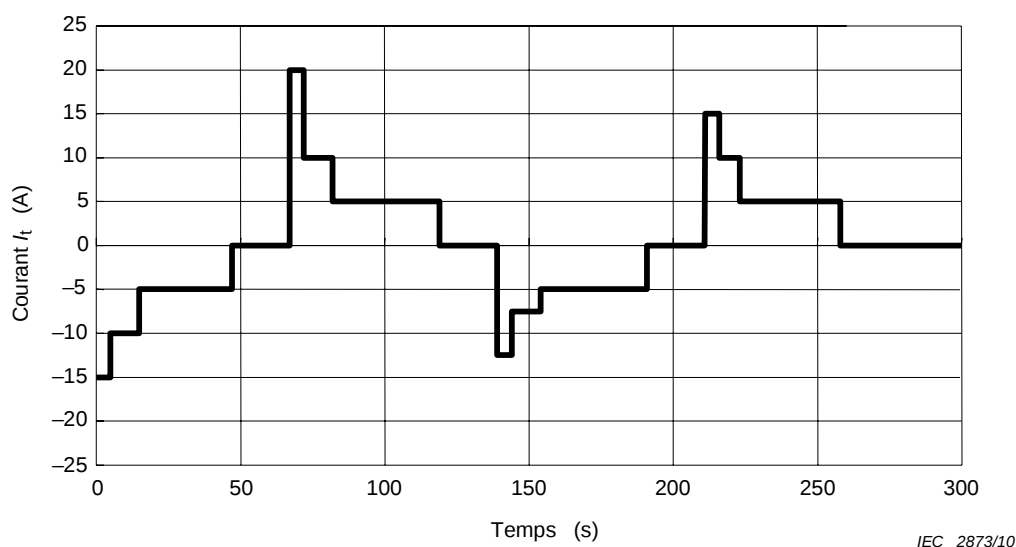


Figure 6 – Profil à décharge prédominante pour l'essai de durée de vie - HEV

Si le courant maximal spécifié par le fabricant est inférieur à 20 I_t , celui-ci peut être utilisé au pas 1 de charge/décharge, ainsi qu'en remplaçant le courant du pas 6 de charge/décharge par la moitié de ce courant maximal spécifié par le fabricant.

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

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

**Figure 7 – Profil à charge prédominante pour l'essai de durée de vie - HEV**

Si le courant maximal spécifié par le fabricant est inférieur à $20 I_t$, celui-ci peut être utilisé au pas 5 de charge/décharge, ainsi qu'en remplaçant le courant du pas 2 de charge/décharge par la moitié de ce courant maximal spécifié par le fabricant.

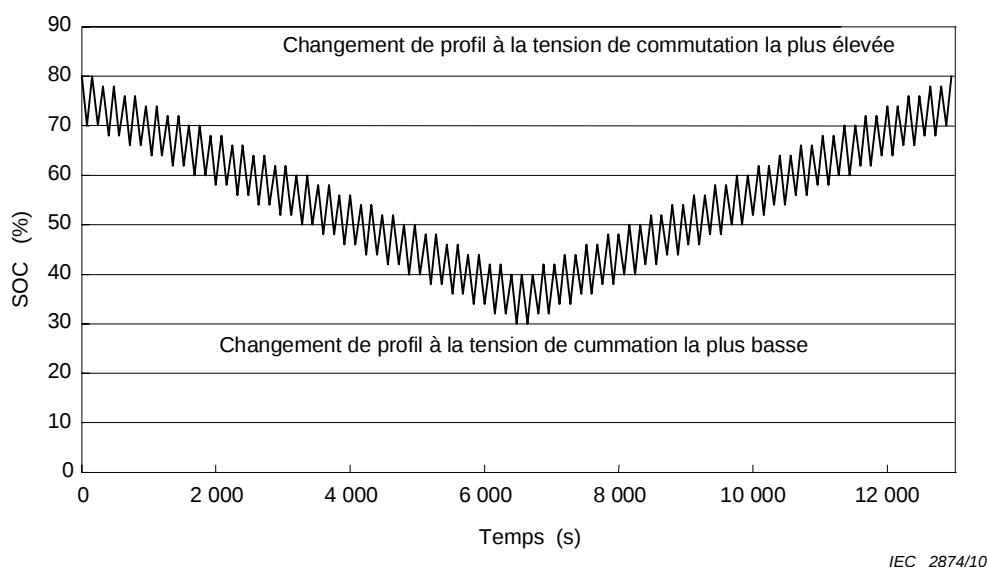


Figure 8 – Variation typique du SOC par combinaison de deux profils pour l'essai de durée de vie - HEV

d) Mesure périodique des performances

Après chaque achèvement de la procédure des étapes 1 à 4 pendant 7 jours, la puissance de l'élément doit être mesurée, comme indiqué en 7.7.2.1. La capacité de l'élément doit être mesurée tous les 14 jours, comme indiqué en 7.7.2.1.

e) Achèvement de l'essai

L'essai de durée de vie doit être arrêté lorsque l'une des conditions suivantes est satisfaite. Sinon retour à 7.7.2.3 a) et répéter l'essai.

Condition A – L'essai de 7.7.2.3 c) est répété pendant une période globale de 6 mois.

Condition B – Lorsqu'une des performances mesurée de 7.7.2.3 d) a décru à moins de 80 % de sa valeur initiale.

Le nombre de fois correspondant à la mise en œuvre de chaque profil et celui correspondant au fait que les tensions de commutation sont atteintes doivent être consignés.

7.8 Essai de rendement en énergie

Le rendement en énergie des éléments doit être déterminé par deux essais communs spécifiés en 7.8.1 et l'un des essais décrits en 7.8.2 et 7.8.3.

7.8.1 Essais communs aux éléments BEV et HEV

7.8.1.1 Essai dans des conditions normales

Cet essai est applicable aux éléments utilisés dans les applications HEV et BEV. L'essai doit être effectué conformément à la procédure suivante.

- L'élément doit être laissé au repos à la température ambiante pendant 1 h au minimum et au maximum pendant 4 h après la charge complète. L'essai doit alors être commencé.
- Décharger l'élément par la méthode indiquée en 7.2 à température ambiante.
- Essai de rendement en énergie à un SOC de 100 %:

- 1) laisser l'élément au repos pendant 4 h, et le charger ensuite à un SOC de 100 % en suivant la méthode recommandée par le fabricant;
 - 2) laisser l'élément au repos pendant 4 h, puis le décharger en suivant la méthode indiquée en 7.2 à température ambiante.
- d) Essai de rendement en énergie à un SOC de 70 %:
- 1) laisser l'élément au repos pendant 4 h, et le charger ensuite à un SOC de 70 % en suivant la méthode recommandée par le fabricant ;
 - 2) laisser l'élément au repos pendant 4 h, puis le décharger en suivant la méthode indiquée en 7.2 à température ambiante.
- e) Calcul de la quantité d'électricité déchargée et de la quantité d'électricité chargée

quantité d'électricité déchargée et chargée peut être calculée en utilisant la méthode suivante: lire les courants de charge et décharge I à des intervalles de s secondes ($s \leq 30$) dès le début de la décharge; calculer ensuite la quantité d'électricité déchargée Q_d et la quantité d'électricité chargée Q_c en utilisant l'équation (13).

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

où

Q est la quantité d'électricité déchargée ou chargée (Ah);

I_n est la valeur du courant de charge ou de décharge mesurée au point n de l'intervalle (A).

- f) Calcul de l'énergie électrique déchargée et chargée

l'énergie électrique déchargée et chargée peut être calculée en utilisant la méthode suivante:

Lire les courants de décharge I et les tensions de décharge V à des intervalles de s secondes ($s \leq 30$) dès le début de la décharge; calculer ensuite l'énergie électrique déchargée et chargée en utilisant l'équation (14).

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

où

W est l'énergie électrique déchargée ou chargée (Wh);

I_n est la valeur du courant de charge ou de décharge mesurée au point n de l'intervalle (A);

U_n est la valeur de la tension de décharge mesurée au point n de l'intervalle (V).

- g) Calcul du rendement en énergie

Déterminer le rendement en coulombs en utilisant l'équation (15) et le rendement en énergie en utilisant l'équation (16).

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

où

η_c est le rendement en coulombs (%);

Q_d est la quantité électrique de décharge de 7.8.1 (Ah);

Q_c est la quantité électrique de charge de 7.8.1 (Ah).

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

où

- η_e est le rendement en énergie (%);
 W_d est l'énergie électrique déchargée de 7.8.1 (Wh);
 W_c est l'énergie électrique chargée de 7.8.1 (Wh).

NOTE Les valeurs données par les dispositifs de mesure peuvent être utilisées, si une précision suffisante peut être obtenue.

7.8.1.2 Essai à différentes températures

Cet essai est applicable aux éléments utilisés dans les applications HEV et BEV. L'essai doit être effectué conformément à la procédure suivante.

L'essai doit être effectué aux températures de $-20\text{ °C} \pm 2\text{ K}$, $0\text{ °C} \pm 2\text{ K}$ et $45\text{ °C} \pm 2\text{ K}$.

- a) Charge complète à température ambiante.
- b) Obtenir l'équilibre thermique de l'élément à la température de l'essai, et commencer les essais après un temps de repos de 16 h au minimum et de 24 h au maximum.
- c) Décharger l'élément par la méthode indiquée en 7.2 à chaque température d'essai.
- d) Essai de rendement énergétique à un SOC de 100 %:
 - 1) à chaque température, laisser l'élément au repos pendant 4 h, et le charger ensuite à un SOC de 100 % en suivant la méthode recommandée par le fabricant;
 - 2) laisser l'accumulateur au repos pendant 4 h, puis le décharger en suivant la méthode indiquée en 7.2.
- e) Calculer quantité d'électricité déchargée et chargée en utilisant l'équation (13).
- f) Calculer l'énergie électrique déchargée et chargée en utilisant l'équation (14).
- g) Calculer le rendement en coulombs en utilisant l'équation (15) et le rendement en énergie en utilisant l'équation (16).

NOTE Il convient que les limites de charge/décharge à basse température spécifiées par le fabricant soient prises en considération.

7.8.2 Essai des éléments en application BEV

Cet essai est applicable aux éléments utilisés dans les applications BEV, et il est prévu pour déterminer le rendement en énergie des éléments dans des conditions de charge rapide. L'essai doit être effectué conformément à la procédure suivante.

- a) L'élément doit être laissé au repos à la température ambiante pendant 1 h au minimum et au maximum pendant 4 h après la charge complète. L'essai doit alors être commencé.
- b) Décharger l'élément par la méthode indiquée en 7.2.
- c) Essai de rendement en énergie à un SOC de 80 %:
 - 1) laisser l'élément au repos pendant 4 h, et le charger ensuite à un SOC de 80 % sous $2 I_t$. Si la tension atteint la tension de la limite supérieure spécifiée par le fabricant, la charge doit être arrêtée;

NOTE Les conditions d'essai sélectives sont montrées dans le Tableau A.4 de l'Annexe A.

- 2) laisser l'élément au repos pendant plus de 4 h jusqu'à ce qu'il atteigne la température d'essai, et ensuite le décharger en suivant la méthode indiquée en 7.2.
- d) Calculer quantité d'électricité déchargée et chargée en utilisant l'équation (13).
- e) Calculer l'énergie électrique déchargée et chargée en utilisant l'équation (14).
- f) Calcul du rendement en énergie.

Déterminer le rendement en coulombs en utilisant l'équation (17) et le rendement en énergie en utilisant l'équation (18).

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

où

η_{c1} est le rendement en coulombs (%);

Q_{d1} est la quantité électrique de décharge de 7.8.2 (Ah);

Q_{c1} est la quantité électrique de charge de 7.8.2 (Ah).

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

où

η_{e1} est le rendement en énergie (%);

W_{d1} est l'énergie électrique de décharge de 7.8.2 (Wh);

W_{c1} est l'énergie électrique de charge de 7.8.2 (Wh).

7.8.3 Calcul du rendement en énergie pour les éléments en application HEV

Ce paragraphe est applicable aux éléments utilisés dans les applications HEV.

a) Calcul de l'énergie électrique chargée et déchargée

Calculer l'énergie électrique chargée et déchargée à partir des résultats de l'essai spécifié en 7.4, en utilisant les équations (19) et (20). Arrondir des valeurs résultantes à trois chiffres significatifs.

Relever les valeurs de courant et de tension à intervalles réguliers à partir des données de courant et de tension collectées pendant les cycles de charge et de décharge correspondant aux motifs de charge et de décharge de durée $10 I_t \times 10$ s. Utiliser l'intervalle de mesure normalisé de 1 s. Lorsque la tension de l'accumulateur, après 10 s, dépasse la tension de la limite inférieure de décharge ou la tension de la limite supérieure de charge, effectuer l'essai en utilisant la valeur de courant du palier inférieur du Tableau 1, et consigner la valeur du courant qui a été réellement observée.

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

où

W_{c2} est l'énergie électrique chargée (Wh);

I_{cn} est la valeur du courant de charge mesurée au point n de l'intervalle (A);

U_{cn} est la valeur de la tension de charge mesurée au point n de l'intervalle (V).

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

où

W_{d2} est l'énergie électrique déchargée (Wh);

I_{dn} est la valeur du courant de décharge mesurée au point n de l'intervalle (A);

U_{dn} est la valeur de la tension de décharge mesurée au point n de l'intervalle (V).

b) Calcul du rendement en énergie

Déterminer le rendement en énergie en utilisant l'équation (21).

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

où

η_{e2} est le rendement en énergie (%);

W_{d2} est l'énergie électrique déchargée (Wh);

W_{c2} est l'énergie électrique chargée (Wh).

Annexe A (informative)

Conditions d'essai sélectives

La présente annexe donne des conditions supplémentaires et sélectives relatives à l'essai de capacité spécifié en 7.2, aux essais de puissance de 7.4, à l'essai de durée de vie en cyclage de 7.7 et à l'essai de rendement énergétique de 7.8.2. Les conditions d'essai « r » sont spécifiés dans cette norme. De plus les conditions d'essai "a" du Tableau A.1, du Tableau A.2, du Tableau A.3 et du Tableau A.4, peuvent être choisies, basées sur un accord entre le fabricant et le client.

Tableau A.1 – Conditions d'essai de capacité

		–20 °C	0 °C	25 °C	45 °C
Application 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
Application 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

Si l'écart des données est supérieur à celui de 1 I_t et de 1/3 I_t , cela doit être indiqué.

Tableau A.2 – Conditions d'essai de puissance

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

Tableau A.3 – Conditions d'essai de durée de vie en cyclage

	25 °C	45 °C
Application BEV	a	r
Application HEV	a	r

**Tableau A.4 – Conditions d'essai du rendement énergétique
relatives à l'application BEV**

SOC	Courant de charge	
80 %	$2 I_t$	r
SOC recommandé par le fabricant	Courant recommandé par le fabricant	a

Annexe B (informative)

Séquence des essais de durée de vie en cyclage

La présente Annexe B donne les séquences des essais de durée de vie en cyclage spécifiés en 7.7. La séquence des essais de durée de vie en cyclage de l'application BEV est illustrée à la Figure B.1 et à la Figure B.2. La séquence des essais de durée de vie en cyclage de l'application HEV est donnée au Tableau B.1.

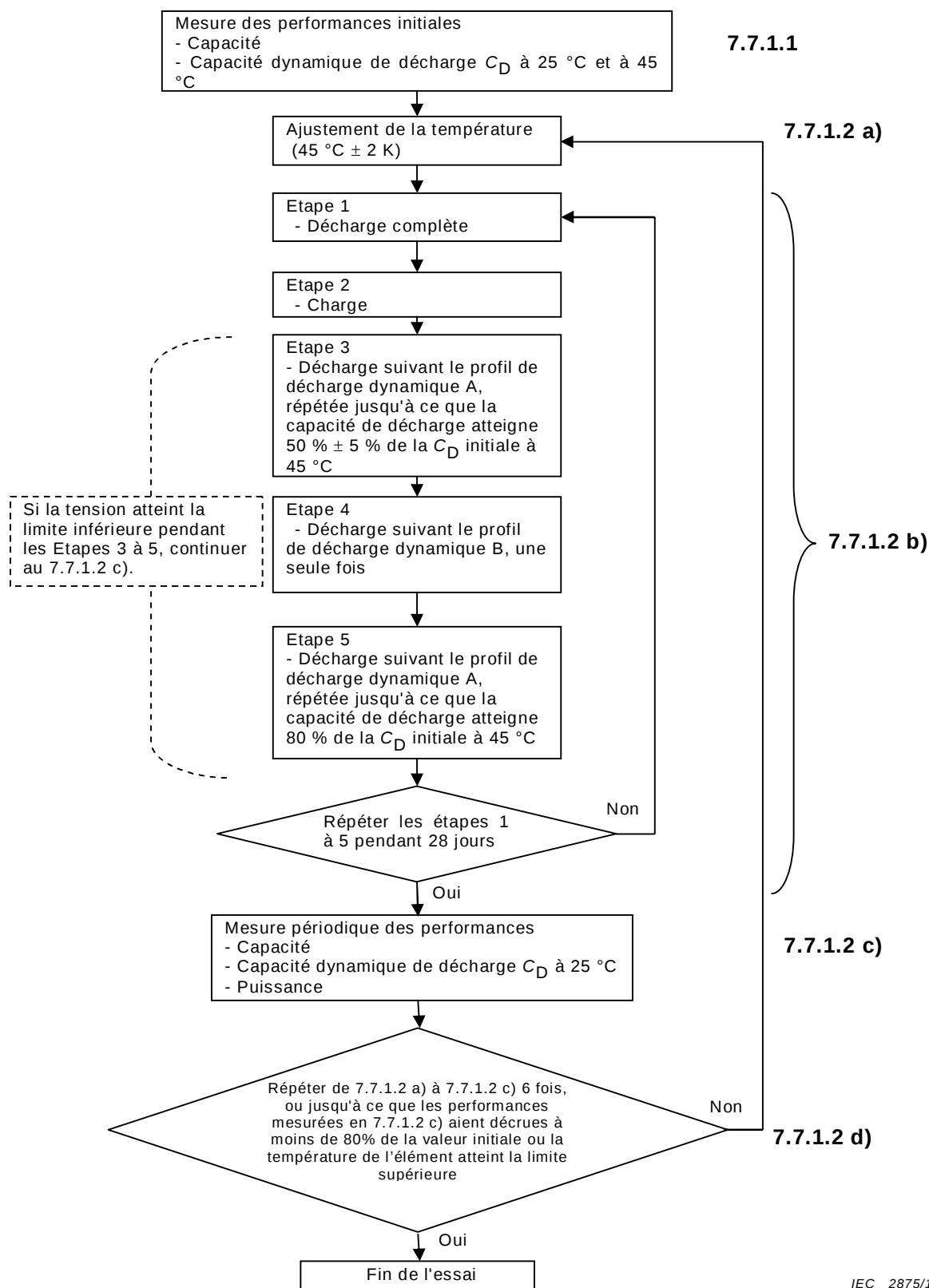
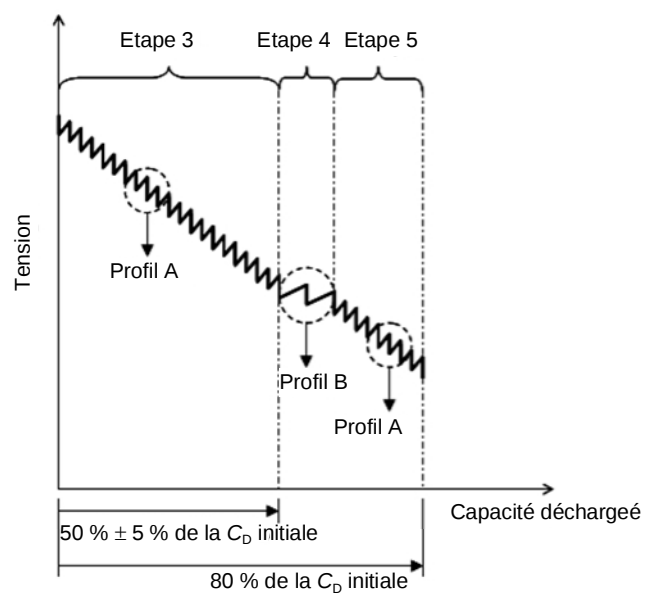


Figure B.1 – Séquence des essais de durée de vie relatifs à l'application BEV



IEC 2876/10

Figure B.2 – Concept de l'essai de durée de vie relatif à l'application BEV

Tableau B.1 – Séquence des essais de durée de vie relatifs à l'application HEV

		Procédure d'essai	Température
7.7.2.1		Mesure des performances initiales - Capacité - Puissance	Température ambiante
7.7.2.2 a)		Fixer la tension de commutation du profil à décharge prédominante au profil à charge prédominante	45 °C ± 2 K
7.7.2.2 b)		Fixer la tension de commutation du profil à charge prédominante au profil à décharge prédominante	
7.7.2.3 a)		Ajustement de la température à 45 °C ± 2 K	45 °C ± 2 K
7.7.2.3 b)		Ajustement du SOC à 80 %	
7.7.2.3 c)	Etape 1	Répéter le cycle du profil à décharge prédominante jusqu'à la tension de commutation fixée en 7.7.2.2 a)	
	Etape 2	Répéter le cycle du profil à charge prédominante jusqu'à la tension de commutation fixée en 7.7.2.2 b)	
	Etape 3	Répéter les étapes 1 et 2 pendant 22 h	
	Etape 4	Repos pendant 2 h	
		Répéter la procédure de l'étape 1 à l'étape 4.	
7.7.2.3 d)		Mesure périodique des performances - Capacité (tous les 14 jours) - Puissance (tous les 7 jours)	Température ambiante
7.7.2.3 e)		Arrêter l'essai lorsque l'une des conditions suivantes est satisfaite. Si aucune n'est satisfaite, revenir à 7.7.2.3 a). - Répéter 7.7.2.3 c) 6 mois - L'une des performances mesurée de 7.7.2.3 d) a décré à moins de 80 % de sa valeur initiale.	-

Bibliographie

CEI 62660-2, *Eléments d'accumulateurs Lithium-Ion pour la propulsion des véhicules routiers électriques – Partie 2: Essais de fiabilité et de traitement abusif*²

ISO 12405-1, *Véhicules routiers à propulsion électrique – Spécifications d'essai pour des blocs et systèmes de batterie de traction aux lithium-ion – Partie 1 : Applications haute puissance*³

ISO 12405-2, *Véhicules routiers à propulsion électrique – Spécifications d'essai pour des blocs et systèmes de batterie de traction aux lithium-ion – Applications haute énergie, et définissant les essais et les exigences relatives aux systèmes de batterie*⁴

² A publier.

³ A l'étude.

⁴ A l'étude.

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

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

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