

# INTERNATIONAL STANDARD

# NORME INTERNATIONALE

---

**Railway applications – Rolling stock – Power supply with onboard energy  
storage system –  
Part 1: Series hybrid system**

**Applications ferroviaires – Matériel roulant – Alimentation équipée d'un système  
embarqué de stockage de l'énergie –  
Partie 1: Système hybride série**



**THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED**  
**Copyright © 2016 IEC, Geneva, Switzerland**

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

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

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

Tel.: +41 22 919 02 11  
Fax: +41 22 919 03 00  
[info@iec.ch](mailto:info@iec.ch)  
[www.iec.ch](http://www.iec.ch)

#### **About the IEC**

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

#### **About IEC publications**

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

#### **IEC Catalogue - [webstore.iec.ch/catalogue](http://webstore.iec.ch/catalogue)**

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

#### **IEC publications search - [www.iec.ch/searchpub](http://www.iec.ch/searchpub)**

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

#### **IEC Just Published - [webstore.iec.ch/justpublished](http://webstore.iec.ch/justpublished)**

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

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

The world's leading online dictionary of electronic and electrical terms containing 20 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in 15 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

#### **IEC Glossary - [std.iec.ch/glossary](http://std.iec.ch/glossary)**

65 000 electrotechnical terminology entries in English and French extracted from the Terms and Definitions clause of IEC publications issued since 2002. Some entries have been collected from earlier publications of IEC TC 37, 77, 86 and CISPR.

#### **IEC Customer Service Centre - [webstore.iec.ch/csc](http://webstore.iec.ch/csc)**

If you wish to give us your feedback on this publication or need further assistance, please contact the Customer Service Centre: [csc@iec.ch](mailto:csc@iec.ch).

---

#### **A propos de l'IEC**

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

#### **A propos des publications IEC**

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

#### **Catalogue IEC - [webstore.iec.ch/catalogue](http://webstore.iec.ch/catalogue)**

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

#### **Recherche de publications IEC - [www.iec.ch/searchpub](http://www.iec.ch/searchpub)**

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

#### **IEC Just Published - [webstore.iec.ch/justpublished](http://webstore.iec.ch/justpublished)**

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

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

Le premier dictionnaire en ligne de termes électroniques et électriques. Il contient 20 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 15 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

#### **Glossaire IEC - [std.iec.ch/glossary](http://std.iec.ch/glossary)**

65 000 entrées terminologiques électrotechniques, en anglais et en français, extraites des articles Termes et Définitions des publications IEC parues depuis 2002. Plus certaines entrées antérieures extraites des publications des CE 37, 77, 86 et CISPR de l'IEC.

#### **Service Clients - [webstore.iec.ch/csc](http://webstore.iec.ch/csc)**

Si vous désirez nous donner des commentaires sur cette publication ou si vous avez des questions contactez-nous: [csc@iec.ch](mailto:csc@iec.ch).

# INTERNATIONAL STANDARD

# NORME INTERNATIONALE

---

**Railway applications – Rolling stock – Power supply with onboard energy storage system –  
Part 1: Series hybrid system**

**Applications ferroviaires – Matériel roulant – Alimentation équipée d'un système embarqué de stockage de l'énergie –  
Partie 1: Système hybride série**

INTERNATIONAL  
ELECTROTECHNICAL  
COMMISSION

COMMISSION  
ELECTROTECHNIQUE  
INTERNATIONALE

---

ICS 45.060

ISBN 978-2-8322-3453-2

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

## CONTENTS

FOREWORD.....	6
INTRODUCTION.....	8
1 Scope.....	10
2 Normative references.....	11
3 Terms, definitions and abbreviations .....	11
3.1 Terms and definitions .....	11
3.2 Abbreviations .....	14
4 Power source configuration of hybrid systems .....	15
4.1 General.....	15
4.1.1 Overview .....	15
4.1.2 System configuration requirements.....	15
4.1.3 Major operating modes of the series hybrid system.....	16
4.1.4 Typical configuration of the series hybrid systems.....	18
4.2 Application examples .....	19
4.2.1 Diesel electric vehicles.....	19
4.2.2 Fuel cell vehicles .....	20
4.2.3 DC contact line powered vehicles: parallel connection of ESS.....	21
4.2.4 DC contact line powered vehicles: series connection of ESS.....	23
4.3 Performance of the series hybrid systems.....	24
4.3.1 Improving efficiency .....	24
4.3.2 Boosting the motoring performance .....	25
4.3.3 Degraded mode operation .....	27
5 Environmental conditions .....	28
5.1 General.....	28
5.2 Altitude .....	28
5.3 Temperature .....	28
6 Functional and system requirements .....	29
6.1 Mechanical requirements.....	29
6.1.1 Mechanical stress .....	29
6.1.2 Protection against external mechanical influences .....	29
6.2 Control requirement .....	29
6.3 Electrical requirement .....	29
6.3.1 External charge and discharge function .....	29
6.3.2 Operating with energy storage system only.....	30
6.4 Disconnecting requirement.....	30
6.5 Degraded mode .....	30
6.6 Safety requirements .....	30
6.6.1 Protection against electrical hazards .....	30
6.6.2 Fire behaviour and protection.....	30
6.6.3 Protection against any other impacts .....	30
6.6.4 Short-circuit protection .....	30
6.7 Lifetime requirements.....	30
6.8 Additional requirement for noise emission of hybrid system.....	31
7 Kinds of tests .....	31
7.1 General.....	31

7.2	Type test.....	31
7.3	Optional test .....	32
7.4	Routine test .....	32
7.5	Test categories .....	32
7.6	Acceptance criteria.....	34
8	Combined tests .....	34
8.1	General.....	34
8.2	Test conditions.....	34
8.3	ESS control.....	34
8.3.1	ESS charge/discharge control function .....	34
8.3.2	External charge test .....	34
8.3.3	Disconnection test.....	34
8.3.4	Degraded mode test.....	35
8.3.5	SOC/SOE test.....	35
8.4	Output torque.....	35
8.4.1	Sweeping speed under full torque test .....	35
8.4.2	Output torque test with energy storage system only .....	35
8.5	System sequence test .....	35
8.6	Energy efficiency and consumption.....	36
8.6.1	General .....	36
8.6.2	Energy efficiency and consumption measurement .....	37
8.6.3	Determination of fuel consumption and exhaust gas emission (in case of engine or fuel cell) .....	38
8.7	Duration of vehicle operation by ESS.....	39
8.7.1	General .....	39
8.7.2	Duration measurement of ESS .....	39
8.8	Environmental test .....	39
8.8.1	General .....	39
8.8.2	Low-temperature operation test .....	39
8.8.3	High-temperature operation test .....	39
8.9	Short-circuit protection test.....	40
8.10	ESU endurance test .....	40
9	Vehicle test .....	40
9.1	General.....	40
9.2	ESS disconnection test.....	40
9.3	Vehicle sequence test .....	40
9.4	Drive system energy consumption measurement.....	41
9.5	Determination of fuel consumption and exhaust gas emission (in case of engine or fuel cell) .....	42
9.5.1	Determination of fuel consumption.....	42
9.5.2	Determination of the exhaust gas emission levels .....	42
9.6	Auxiliary circuit energy consumption measurement .....	42
9.7	Duration of vehicle operation by ESS.....	42
9.8	Determination of acoustic noise emission .....	42
Annex A (informative) State of charge (SOC) and state of energy (SOE) for batteries and capacitors .....		43
A.1	Content of capacity and energy .....	43
A.1.1	General .....	43
A.1.2	Theoretical energy .....	44

A.1.3	Rated energy .....	44
A.1.4	Usable energy .....	44
A.2	Content of SOC and SOE .....	45
A.2.1	General .....	45
A.2.2	Theoretical purpose .....	45
A.2.3	Common purpose .....	45
A.2.4	Effective or practical purpose .....	46
A.2.5	Coefficient of usage .....	46
Annex B (informative)	Energy related terms and definitions .....	48
B.1	General.....	48
B.2	Terms and definitions for regenerative indices .....	48
B.3	Energy-related performance indices of the series hybrid systems .....	49
B.3.1	General .....	49
B.3.2	Measuring locations .....	49
B.3.3	Class of primary power source .....	50
B.3.4	Energy consumption.....	51
B.3.5	Regenerative efficiency .....	53
Annex C (informative)	Laws and regulations for fire protection applicable for this standard .....	55
C.1	General.....	55
C.2	China.....	55
C.3	Europe.....	55
C.4	Japan .....	55
C.5	Russia .....	55
C.6	United states of America .....	55
Annex D (informative)	List of subclauses requiring agreement between the user and the manufacturer .....	56
Bibliography	.....	58
Figure 1	– Hierarchy of standards related to IEC 62864-1 .....	9
Figure 2	– Block diagram of a series hybrid system .....	16
Figure 3	– Example configuration of a series hybrid system in which all main circuit subsystems are connected to the common DC link .....	19
Figure 4	– Series hybrid system in diesel electric vehicles .....	20
Figure 5	– Series hybrid system in fuel cell vehicles .....	21
Figure 6	– Series hybrid system in contact line powered vehicles with parallel connection of energy storage .....	22
Figure 7	– Series hybrid system in contact line powered vehicles with series connection of energy storage .....	23
Figure 8	– Diesel electric propulsion system (without an ESS) .....	24
Figure 9	– Contact line powered propulsion system (without an ESS).....	25
Figure 10	– Boosting of the motoring performance by onboard ESS .....	27
Figure 11	– An example of degraded mode performance by onboard ESS.....	28
Figure A.1	– Difference of capacity and energy content .....	43
Figure B.1	– Example block diagram of a series hybrid system .....	50
Table 1	– Major operating modes of the series hybrid system .....	18

Table 2 – List of tests .....32

Table D.1 – List of subclauses requiring agreement between the user and the  
manufacturer .....56

## INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**RAILWAY APPLICATIONS – ROLLING STOCK –  
POWER SUPPLY WITH ONBOARD ENERGY STORAGE SYSTEM –**

**Part 1: Series hybrid system**

**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 62864-1 has been prepared by IEC technical committee 9: Electrical equipment and systems for railways.

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

FDIS	Report on voting
9/2154/FDIS	9/2176/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 parts in the IEC 62864 series, published under the general title *Railway applications – Rolling stock – Power supply with onboard energy storage system*, can be found on the IEC website.

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

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

## INTRODUCTION

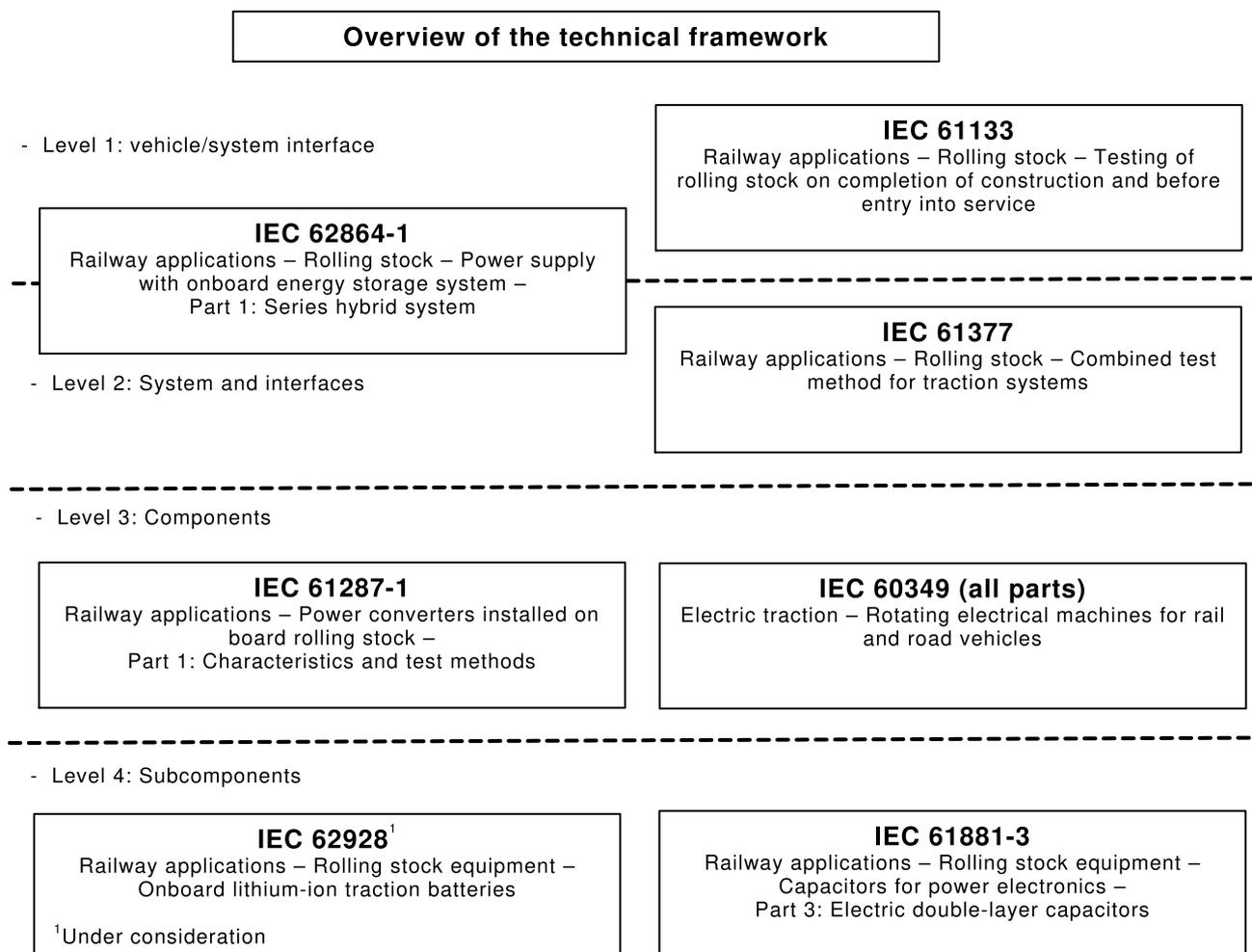
There is an increasing need for efficient use of energy due to the decrease in fossil fuel based energy sources as well as the need to reduce emissions (e.g. CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, PM, etc.) that contribute to global climate change. The railway system, which is essentially an energy-efficient transportation system, should also meet these requirements. In addition to saving energy, it is necessary to achieve a reduction in peak power, voltage stabilization and the ability to run without collecting power in scenic reserve areas, and the running capability to safely reach the next station in the event of electrical power failure onboard or at power supply system. To address these issues, hybrid systems are appearing in railway vehicles. These hybrid system vehicles are equipped with an energy storage system that allows effective use of regenerative energy. A hybrid system should be required to improve energy efficiency by actively controlling the power flow among the engine or power supply system, auxiliary power supply, traction and braking system, the energy storage system, etc.

The purpose of introducing hybrid systems includes:

- reducing energy consumption;
- improving vehicle performance;
- providing the ability to run with energy stored onboard; and
- improving environmental characteristics.

The aim of this standard is to establish the basic system configuration for series hybrid systems (electrically connected) and the tests to verify effective use of energy, as well as to provide railway operators and manufacturers with guidelines for manufacturing and evaluating hybrid systems.

The hierarchy of relevant standards related to hybrid systems are summarized in Figure 1. The standards listed in Figure 1 are not exhaustive.



IEC

**Figure 1 – Hierarchy of standards related to IEC 62864-1**

In this standard, the hybrid system has the following four levels of hierarchy:

- a) vehicle/system interface (level 1);
- b) systems and interfaces (level 2);
- c) components (level 3); and
- d) subcomponents (level 4).

Detailed descriptions of the levels are described in 7.1.

E.g. subcomponent (level 4) is a cell, module etc. (for a battery, a subcomponent is defined in IEC 62620).

# RAILWAY APPLICATIONS – ROLLING STOCK – POWER SUPPLY WITH ONBOARD ENERGY STORAGE SYSTEM –

## Part 1: Series hybrid system

### 1 Scope

This part of IEC 62864 applies to series hybrid systems (electrically connected) with onboard energy storage (hereinafter referred as hybrid system).

A hybrid system has two (or more) power sources including energy storage system (ESS) on board to achieve the following features by combining converter and motors and performing energy management control:

- improving energy and fuel efficiency, improving acceleration characteristics, increasing running distance and uninterrupted running in the event of the loss of the primary power source (PPS), by using an ESS in addition to the primary power source under conditions where the power and capacity of the power source including regenerative power are limited, thus alleviating those limitations;
- reducing fuel consumption, reducing emissions (e.g. CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, PM, etc.);
- reducing environmental impact (e.g. visible obstruction, noise, etc.).

By extension, systems that have only onboard ESS, without other PPSs, is also considered in this standard.

This standard intends to specify the following basic requirements, characteristics, functions and test methods for hybrid systems:

- energy management to control the power flow among primary power source, energy storage system and power converters;
- energy consumption, energy efficiency and regenerated energy;
- vehicle characteristics achieved by energy storage system;
- test methods of combined test; and
- test methods of completed vehicles based on factory (stationary) and field (running) tests.

NOTE Converter in this standard means combined equipment consisting of one or more converters (e.g. rectifier, inverter, chopper, etc.).

The interfaces between the following power sources are covered:

- external electric power supply system;
- onboard ESSs (including pure onboard energy storage);
- fuel cell, diesel electric generator; and
- other power sources.

As for the combination of inverters and motors, this standard applies to asynchronous motors or synchronous motors that are powered via voltage-source inverters.

Power source systems and combination of inverters and motors are not limited to the listed above, but this standard can also be applied to future systems.

This part of IEC 62864 covers electrically connected systems (series hybrid), and not systems that mechanically transmit the driving force (parallel hybrid).

## 2 Normative references

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

IEC 60050-811, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Chapter 811: Electric traction*

IEC 60349-2, *Electric traction – Rotating electrical machines for rail and road vehicles – Part 2: Electronic converter-fed alternating current motors*

IEC 60349-4, *Electric traction – Rotating electrical machines for rail and road vehicles – Part 4: Permanent magnet synchronous electrical machines connected to an electronic converter*

IEC 60529, *Degrees of protection provided by enclosures (IP Code)*

IEC 61133:2016, *Railway applications – Rolling stock – Testing of rolling stock on completion of construction and before entry into service*

IEC 61287-1, *Railway applications – Power converters installed on board rolling stock – Part 1: Characteristics and test methods*

IEC 61373, *Railway applications – Rolling stock equipment – Shock and vibration tests*

IEC 61377:2016, *Railway applications – Rolling stock – Combined test method for traction systems*

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

IEC 61991, *Railway applications – Rolling stock – Protective provisions against electrical hazards*

IEC 62262, *Degrees of protection provided by enclosures for electrical equipment against external mechanical impacts (IK code)*

IEC 62498-1:2010, *Railway applications – Environmental conditions for equipment – Part 1: Equipment on board rolling stock*

## 3 Terms, definitions and abbreviations

For the purposes of this document, the terms and definitions given in IEC 60050-811, as well as the following, apply.

### 3.1 Terms and definitions

#### 3.1.1 hybrid

system that combines two (or more) different types of components for a specific purpose

Note 1 to entry: An approach for using multiple motive power sources and one for using multiple electric power sources exist for rolling stock applications.

### 3.1.2

#### **parallel hybrid**

system for transmitting power from multiple motive power sources to the wheels

Note 1 to entry: The driving force from the engine and that from the motor are transferred to the wheels via the transmission system.

### 3.1.3

#### **hybrid**

#### **series hybrid**

system which drives a motor supplied via the power converter for combined operation of electric power from multiple power sources

Note 1 to entry: The wheels are driven by the driving force from the motor only.

### 3.1.4

#### **hybrid vehicle**

vehicle that can store energy in an onboard ESS and is driven by using the stored energy as well as electric power from a generator or overhead lines

### 3.1.5

#### **subsystem <of a series hybrid system>**

constituent of a series hybrid system

EXAMPLE Primary power source, energy storage system, traction equipment.

### 3.1.6

#### **component <of a series hybrid system>**

constituent of a subsystem in a series hybrid system

EXAMPLE Converter, motor, diesel electric generator, ESU.

### 3.1.7

#### **subcomponent <of a series hybrid system>**

constituent of a component in a series hybrid system

EXAMPLE Lithium ion battery, electric double-layer capacitor.

### 3.1.8

#### **energy consumption**

total energy consumption of the entire vehicle for a specified operation (duration, distance, speed, etc.)

### 3.1.9

#### **specific energy consumption**

energy consumption for a specific distance and weight

Note 1 to entry: The value is obtained by dividing the energy consumption by the distance and the vehicle weight or number of vehicles. This value can be expressed, e.g. in kWh/(t·km), kWh/(car·km), kWh/(person·km) or kWh/(seat·km), etc.

Note 2 to entry: If an onboard power source, e.g. diesel generator set or fuel cell, is used, the unit may be l/(t·km), l/(car·km), l/(person·km) or l/(seat·km), etc. depending on the type of fuel.

### 3.1.10

#### **power source**

equipment that supplies power to a traction unit and/or APS and/or ESSs via a converter

Note 1 to entry: Converters (such as chopper for fuel cell (FC.CH)) for power generation and converters (such as ESS chopper (ESS.CH)) for energy storage units/systems are considered as power sources, but traction converters and converters for APS are not considered as power sources.

### **3.1.11**

#### **primary power source**

##### **PPS**

subsystem in a series hybrid system the primary purpose of which is to supply electric energy to other subsystems in the series hybrid system by either consuming the fuel stored onboard or taking in energy from external sources

### **3.1.12**

#### **traction equipment**

subsystem in a series hybrid system the primary purpose of which is to consume electrical energy and to output tractive effort so that the railway vehicle is propelled

### **3.1.13**

#### **state of charge**

##### **SOC**

remaining capacity to be discharged, normally expressed as a percentage of full capacity as expressed in relevant standards

Note 1 to entry: Practical definitions of SOC are dependent upon chosen technologies. SOC is applicable to batteries. See Annex A.

### **3.1.14**

#### **state of energy**

##### **SOE**

remaining energy to be discharged, normally expressed as a percentage of full energy as expressed in relevant standards

Note 1 to entry: Practical definitions of SOE are dependent upon chosen technologies. SOE is applicable to both batteries and capacitors. See Annex A.

### **3.1.15**

#### **end of life**

##### **EOL**

point at which the ESU cannot fulfil the required functionality or operational pattern as initially agreed among the user and the manufacturers

### **3.1.16**

#### **beginning of life**

##### **BOL**

point at which the ESU has the rated capacity or energy fully available as minimum performance at manufacturer's delivery

### **3.1.17 Definition of capacity**

#### **3.1.17.1**

##### **capacity**

electrical charge that can be delivered from ESU

Note 1 to entry: In case of the battery the electrical charge is often expressed in ampere-hours (A·h).

Note 2 to entry: In case of the capacitor the electrical charge is often expressed in coulombs (C).

Note 3 to entry: Capacitance is measured in farads (F), which is charge ( $C$ ) divided by voltage ( $U$ ), and is different from capacity.

#### **3.1.17.2**

##### **theoretical capacity**

maximum capacity available without loss

### **3.1.17.3**

#### **rated capacity**

available capacity measured according to certain “rating” condition as expressed in relevant standard

Note 1 to entry: Refer to IEC 62928.

### **3.1.17.4**

#### **usable capacity**

capacity available to be discharged depending upon applications

### **3.1.18 Definition of energy**

#### **3.1.18.1**

##### **theoretical energy**

maximum energy available without loss stored in the ESU

#### **3.1.18.2**

##### **rated energy**

energy available measured according to certain “rating” condition as expressed in the relevant standard

Note 1 to entry: Practical definitions of rated energy storage capacity are dependent upon chosen technologies.

#### **3.1.18.3**

##### **usable energy**

energy available to be discharged depending upon applications

#### **3.1.19**

##### **operational pattern**

definition by the user and/or the manufacturers in order to fulfil the needs of operations including auxiliaries, e.g. duty cycle, auxiliary loads, safety margin of energy content, degraded mode, etc.

#### **3.1.20**

##### **energy storage unit**

##### **ESU**

physical equipment which is comprised of energy storage technologies such as batteries, EDLC, flywheel, etc.

Note 1 to entry: Refer to the relevant standards for components.

#### **3.1.21**

##### **battery**

ESU which is used primarily for traction purpose in this standard

Note 1 to entry: This document does not cover auxiliary batteries. Refer to IEC 62973.

#### **3.1.22**

##### **energy storage system**

##### **ESS**

physical system which consists of one or more ESUs and the other equipment required to connect to the DC link such as converters, control and monitoring systems, inductors, protection devices, cooling systems, etc.

### **3.2 Abbreviations**

APS Auxiliary power supply

AUX Auxiliaries

BOL Beginning of life

EDLC	Electric double-layer capacitor
EOL	End of life
ESU	Energy storage unit
ESS	Energy storage system
PPS	Primary power source
SOC	State of charge
SOE	State of energy

## **4 Power source configuration of hybrid systems**

### **4.1 General**

#### **4.1.1 Overview**

There can be a variety of system configurations for the series hybrid systems to which this part of IEC 62864 is applicable. In Clause 4, it is intended to give an overview of the possible configurations by presenting a number of examples. These examples, however, are not meant to impose constraints on the final system architecture.

#### **4.1.2 System configuration requirements**

As described in Clause 1, a series hybrid system shall have two or more power sources, including one ESS, and the traction equipment which serves as the primary power sink. The system may have a secondary power sink, such as a brake resistor, in case the power sources are either entirely or partly unreceptive of the power regenerated by the traction equipment during regenerative braking. These subsystems shall be connected electrically to enable exchange of power among them. In addition to these main circuit subsystems, the series hybrid system may have one or more auxiliary power supplies (APS). However, the connection between the APS and other subsystems in the series hybrid system may be either electrical, non-electrical or even non-existent, i.e. the APS is independent of the main circuit subsystems. If connected, the auxiliary loads shall be considered because of their significant impact on the energy consumption.

Figure 2 shows an example block diagram of a series hybrid system with five main subsystems, i.e. one primary power source (PPS), one ESS, one traction equipment, one APS and its loads, and one brake resistor as a secondary power sink. In Figure 2, the block Link transfers power among these main subsystems through itself.

As shown in Figure 2, the possible PPS configurations include, but are not limited to:

- the combination of a diesel engine with a generator and an electric power converter;
- fuel cells and an electric power converter;
- DC contact lines; or
- the AC contact lines and an electric power converter.

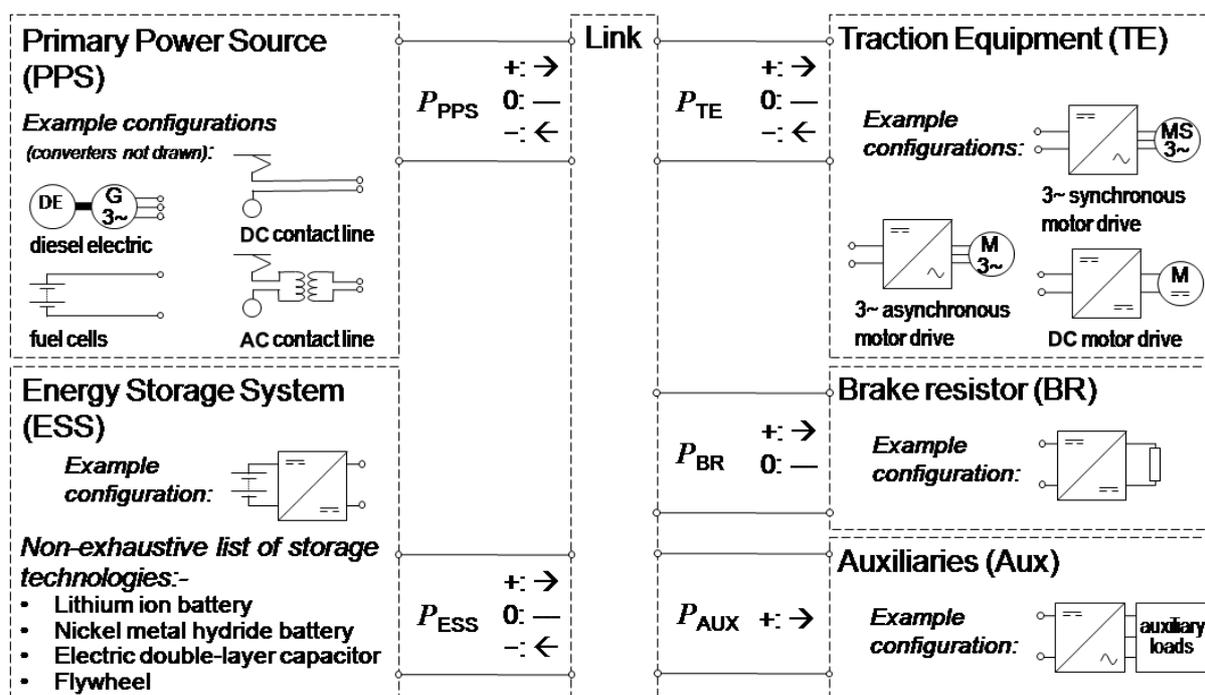
As shown in Figure 2, the storage technologies usable in the ESS include, but are not limited to:

- Lithium ion batteries;
- Nickel metal hydride batteries;
- Electric double-layer capacitor (EDLC); or
- flywheels.

As shown in Figure 2, the possible traction equipment configurations include, but are not limited to:

- four quadrant choppers and DC traction motors;
- voltage source inverters and AC asynchronous traction motors; or
- voltage source inverters and AC permanent magnet synchronous traction motors.

NOTE The word “power sink” in Clause 4 is used to denote subsystems in Figure 2 that receive power from the Link block. These subsystems are not always regarded as power sinks in more general terms; for example, the traction equipment generates tractive effort that physically accelerates the rail vehicle, and therefore it is sometimes regarded as the power source of that vehicle.



IEC

**Key**

- DE Diesel engine
- $P_{PPS}$  Power of primary power source (PPS)
- $P_{TE}$  Power of traction equipment (TE)
- $P_{ESS}$  Power of energy storage system (ESS)
- $P_{BR}$  Power of brake resistor (BR)
- $P_{AUX}$  Power of auxiliaries (AUX)

**Figure 2 – Block diagram of a series hybrid system**

**4.1.3 Major operating modes of the series hybrid system**

In Figure 2, there can be power flows between the Link block and the five main subsystems, namely:

- the PPS and the link block, denoted in Figure 2 as  $P_{PPS}$ ;
- the ESS and the link block, denoted in Figure 2 as  $P_{ESS}$ ;
- the link block and the traction equipment, denoted in Figure 2 as  $P_{TE}$ ;
- the link block and the brake resistor, denoted in Figure 2 as  $P_{BR}$ ; and
- the link block and the APS (auxiliaries), denoted in Figure 2 as  $P_{AUX}$ .

Among these,

- a), b) and c) are bidirectional, and their values  $P_{PPS}$ ,  $P_{ESS}$  and  $P_{TE}$  can be both positive and negative;
- d) is unidirectional, and its value  $P_{BR}$  cannot be negative, i.e. zero power is allowed;
- e) is also unidirectional, but unlike d), its value  $P_{AUX}$  is always positive and non-zero when the system is in operation.

In Figure 2, the possible signs (+, 0 and -) of these variables and the corresponding directions of the power flows are also shown. Note that the directions are defined so that the power flow from the power source subsystem to the link block and the power flow from the link block to the power sink subsystem become positive, e.g. when the hybrid vehicle is accelerating with power from PPS or ESS.

Using these notations, the major operating modes of the system can be classified by the signs of these variables as in Table 1.

Among the modes shown in Table 1, Mode II (pure power source mode) is the mode in which the PPS supplies all the power required by the traction equipment and can be used in all of the example system configurations shown in this clause. Similarly, Mode XIII (idling mode) is the mode in which the PPS supplies all the power required by the auxiliaries when the power required by the traction equipment is zero and can be used in all of the example system configurations shown in this clause. Also, Mode XIV (zero emission coasting mode) is the mode in which the ESS supplies all the power required by the auxiliaries when the power supplied by the PPS and the power required by the traction equipment are both zero; there may be a series hybrid system with the energy management strategy which uses only Modes X (regenerative braking to ESS and power source mode), XI (regenerative braking to ESS only mode) and XII (supplementary charging during braking mode) to charge the ESS and only Mode XIV (zero emission coasting mode) to discharge it.

**Table 1 – Major operating modes of the series hybrid system**

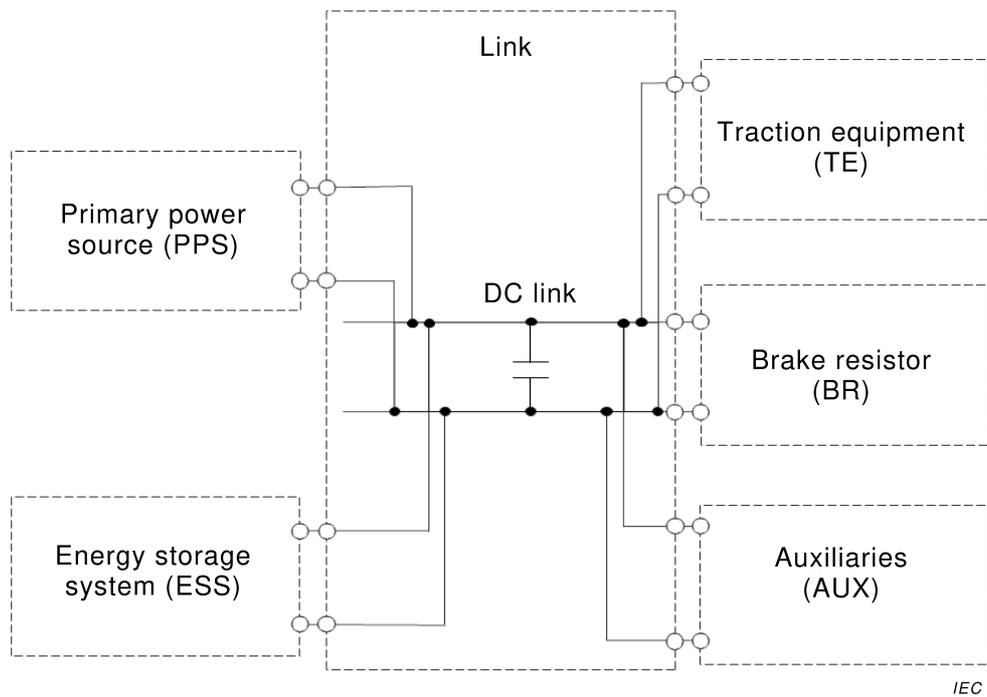
Mode	$P_{PPS}$	$P_{ESS}$	$P_{TE}$	$P_{AUX}$	$P_{BR}$	Description	Figure 4	Figure 5	Figure 6	Figure 7
I	+	–	+	+	0	Supplementary charging during motoring	Y	Y	Y	N
II	+	0	+	+	0	Pure power source	Y	Y	Y	Y
III	+	+	+	+	0	Boosting	Y	Y	Y	Y
IV	0	+	+	+	0	Zero emission/contact line free	Y	Y	Y	N
V	–	+	+	+	0	ESS to traction and grid	R	N	Y	N
VI	+	–	0	+	0	Power source charging ESS	Y	Y	Y	N
VII	–	+	0	+	0	ESS to grid mode	R	N	Y	N
VIII	–	+	–	+	0	ESS and regenerative braking to grid	R	N	Y	N
IX	–	0	–	+	0	Pure regenerative braking	Y	N	Y	Y
X	–	–	–	+	0	Regenerative braking to ESS and power source	Y	N	Y	Y
XI	0	–	–	+	0	Regenerative braking to ESS only	Y	Y	Y	N
XII	+	–	–	+	0	Supplementary charging during braking	Y	Y	Y	N
XIII	+	0	0	+	0	Idling	Y	Y	Y	Y
XIV	0	+	0	+	0	Zero emission coasting	Y	Y	Y	N
XV	–	–	–	+	+	Rheostatic braking with ESS charging and source feedback	Y	N	Y	Y
XVI	–	0	–	+	+	Rheostatic braking with source feedback	Y	N	Y	Y
XVII	0	–	–	+	+	Rheostatic braking with ESS charging	Y	Y	Y	N
XVIII	0	0	–	+	+	Pure rheostatic braking	Y	Y	Y	Y

Y: The mode is applicable for the configuration.  
 N: The mode is not applicable for the configuration.  
 R: The mode is rarely applicable for the configuration.

#### 4.1.4 Typical configuration of the series hybrid systems

Figure 2 shows the block diagram of the most commonly seen configuration in series hybrid systems. In this figure, the five main subsystems, namely the PPS, the ESS, the traction equipment, the auxiliaries and the brake resistor, are all connected to the common DC link. The configurations of the examples given in 4.2.1, 4.2.2 and 4.2.3 have the same structure as shown in Figure 3.

However, there may be other configurations which do not share the same structure as shown in Figure 3. One such example is given in 4.2.4.

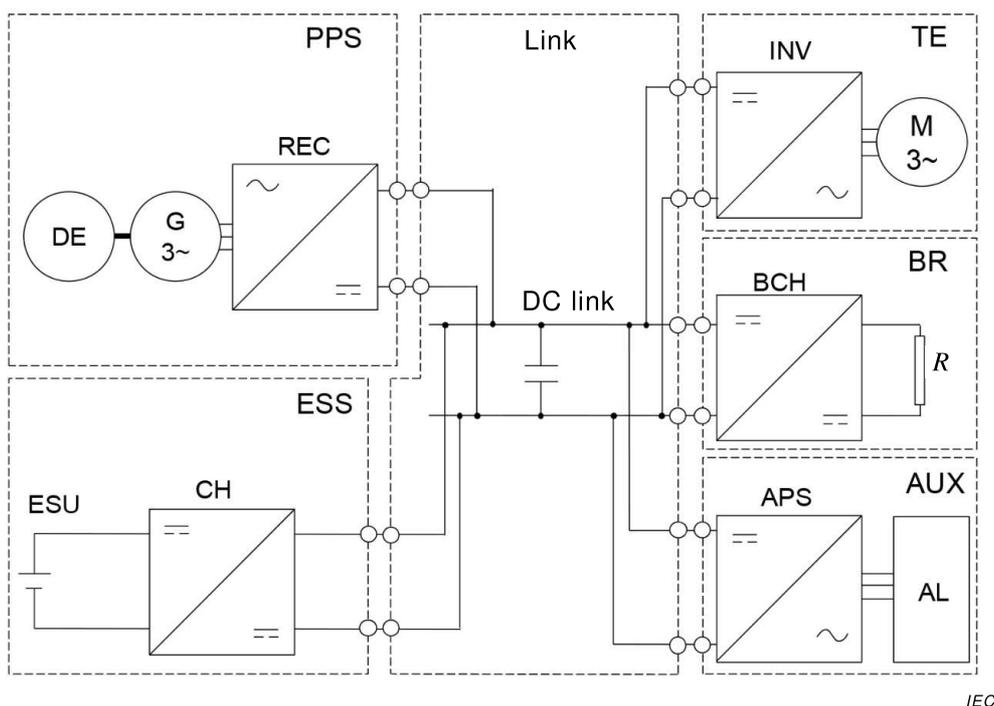


**Figure 3 – Example configuration of a series hybrid system in which all main circuit subsystems are connected to the common DC link**

## 4.2 Application examples

### 4.2.1 Diesel electric vehicles

Figure 4 shows an example configuration in which an ESS is integrated as part of the drive system of a diesel electric rail vehicle.



**Key**

PPS	Primary power source	ESS	Energy storage system	TE	Traction equipment
BR	Brake resistor	AUX	Auxiliaries		
DE	Diesel engine	REC	Rectifier	ESU	Energy storage unit
CH	Chopper (for ESS)	INV	Inverter (for TE)	BCH	Brake chopper (for BR)
R	Resistor	APS	Auxiliary power supply	AL	Auxiliary loads

**Figure 4 – Series hybrid system in diesel electric vehicles**

The ESS is charged by the energy recovered during regenerative braking (Mode XI in Table 1) or during partial or no-load operation if required (Modes I or VI in Table 1). The stored energy is then re-used during the next acceleration phase of the hybrid vehicle (Modes III or IV in Table 1) or otherwise determined by the energy management concept implemented for the specific application. During stops, the engine can be stopped automatically (idling stop) to reduce fuel consumption and noise emission by using the energy stored in the ESS for supplying the auxiliary loads.

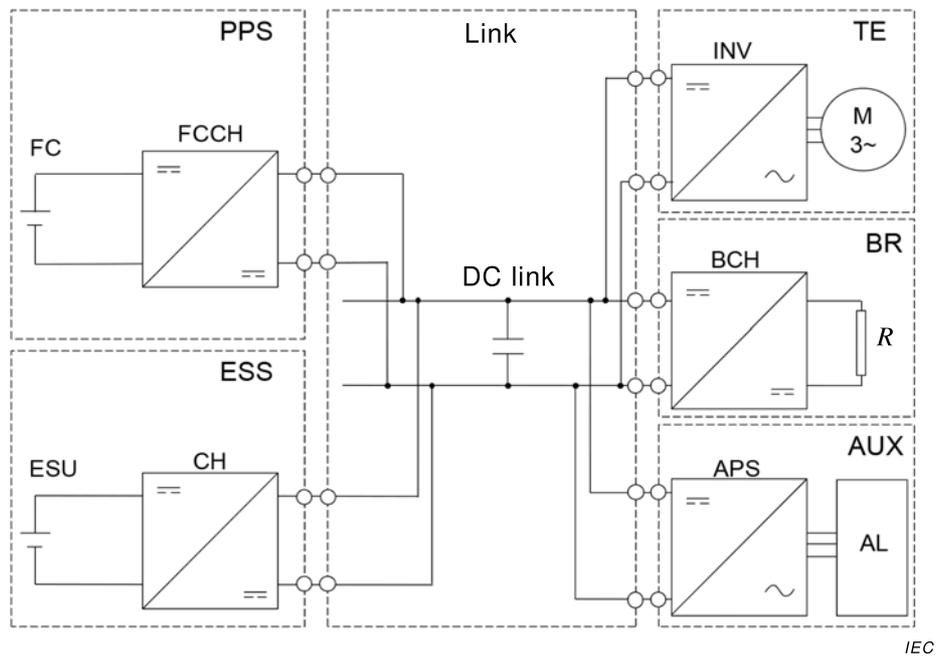
If the regenerated power is greater than the maximum ESS charge power, either the engine or exhaust braking (Modes IX or X in Table 1) or the brake resistor (Modes XV, XVI, XVII or XVIII in Table 1) can be used to dissipate excess power.

In this configuration, using Modes V, VII and VIII in Table 1 may be appropriate in relatively rare operating situations for different applications. In Modes V, while the ESS supplies power required by the traction equipment and the auxiliary loads, the diesel engine and generator set also receives power from the ESS to dissipate energy. In Mode VII, while the ESS supplies power required by the auxiliary loads, the diesel engine and generator set also receives power from the ESS to dissipate energy. In Mode VIII, while the traction equipment regenerates power, the ESS discharges power at the same time, and the diesel engine and generator set receives power from both the ESS and the traction equipment and dissipates energy.

**4.2.2 Fuel cell vehicles**

Figure 5 shows an example configuration in which an ESS is integrated as part of the drive system of a fuel cell based rail vehicle. Its energy management strategy is similar to that for

the diesel electric vehicles in 4.2.1; however, fuel cells generally have no ability to absorb power, and therefore Modes V, VII through X, XV and XVI in Table 1 are not applicable.



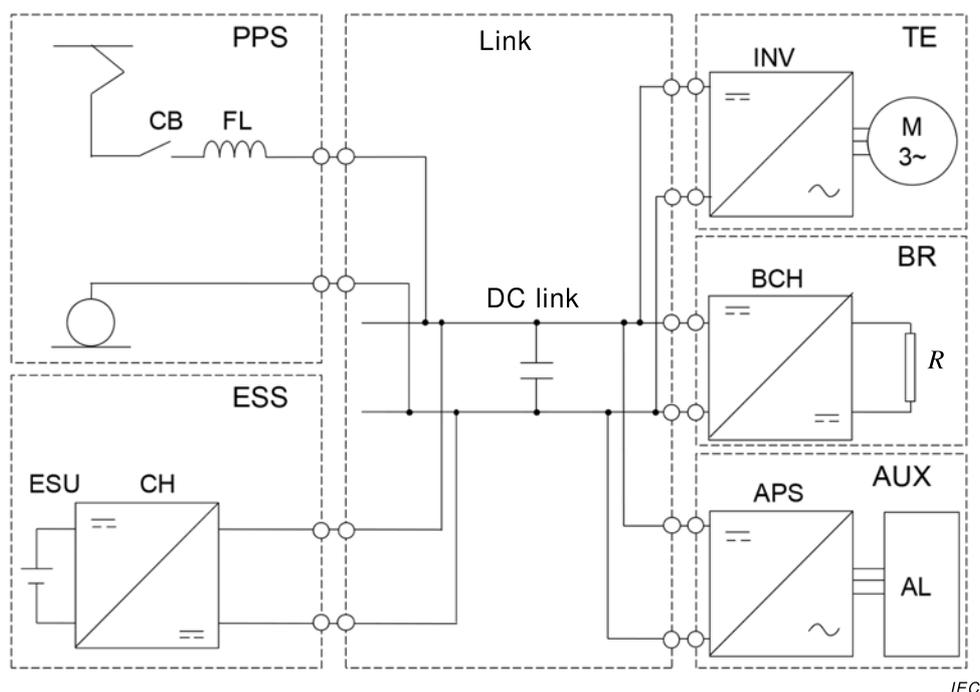
#### Key

PPS	Primary power source	ESS	Energy storage system	TE	Traction equipment
BR	Brake resistor	AUX	Auxiliaries		
FC	Fuel cells	FCCH	Chopper for fuel cells	ESU	Energy storage unit
CH	Chopper (for ESS)	INV	Inverter (for TE)	BCH	Brake chopper (for BR)
R	Resistor	APS	Auxiliary power supply	AL	Auxiliary loads

**Figure 5 – Series hybrid system in fuel cell vehicles**

#### 4.2.3 DC contact line powered vehicles: parallel connection of ESS

Figure 6 shows an example configuration in which an ESS is connected in parallel to the DC contact line.



**Key**

PPS	Primary power source	ESS	Energy storage system	TE	Traction equipment
BR	Brake resistor	AUX	Auxiliaries		
ESU	Energy storage unit	CH	Chopper (for ESS)	CB	Circuit breaker
FL	Filter inductor	INV	Inverter (for TE)	BCH	Brake chopper (for BR)
R	Resistor	APS	Auxiliary power supply	AL	Auxiliary loads

**Figure 6 – Series hybrid system in contact line powered vehicles with parallel connection of energy storage**

The ESS can be charged both during braking (Modes X, XI or XII in Table 1) and during other operating modes (accelerating, coasting, etc.) as required (Modes I or VI in Table 1). Using Modes X or XI, regenerative braking can be used even under the feeding system with insufficient receptivity of regenerated power. All the power from the traction equipment goes back to the feeding circuit if the feeding system is fully receptive of the regenerated power (Mode IX in Table 1). If the power regenerated from the traction equipment during braking is greater than the sum of maximum ESS charge power and the maximum regenerative power, the brake resistor can be used to dissipate excess power (Modes XV, XVI, XVII or XVIII in Table 1).

Similarly, the ESS can discharge the stored energy both during accelerating (Modes III, IV or V in Table 1) and during other operating modes (braking, coasting, etc.) as required (Modes VII or VIII in Table 1). Using Modes III or IV, the power input from the feeding system to the train during acceleration can be reduced without reducing the power consumed by the traction equipment, i.e. without influencing the accelerating performance.

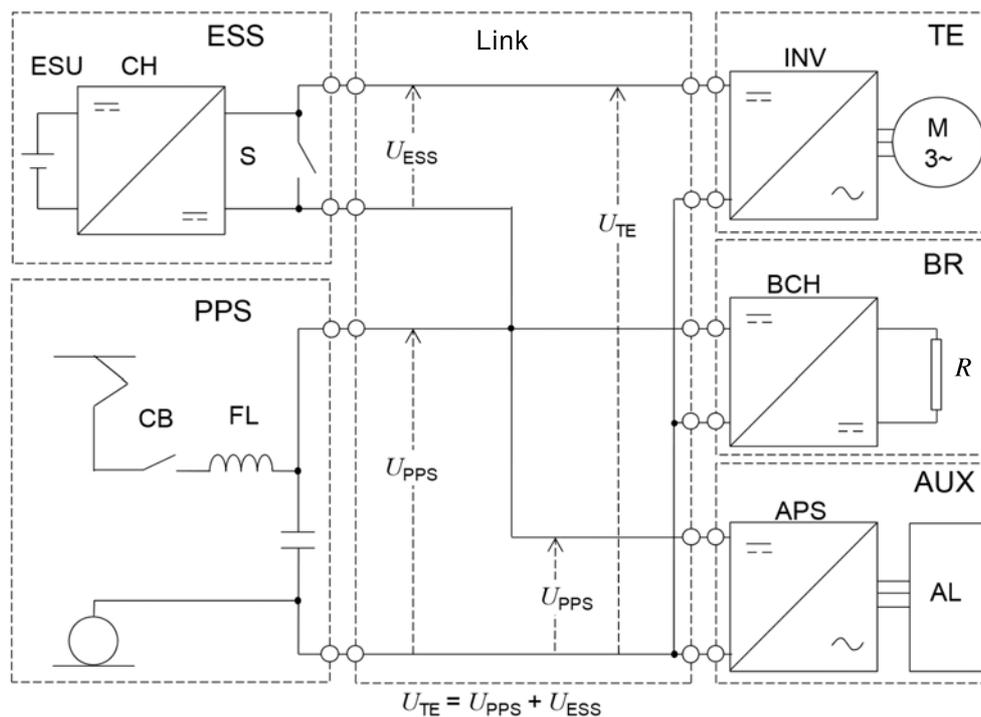
The choice of operating modes should be based on a well-designed strategy to maximise the overall system efficiency or to attain the desired performance characteristics, such as the stabilisation of line voltage or autonomous operation, etc. The power flow within the system and the SOE of the ESS should be continuously monitored and regulated.

This system can be easily expanded to railway vehicles with the capability to operate under multiple voltages, including AC fed vehicles, by adding appropriate converters or transformers in the PPS block of Figure 6. Also, there are examples in which a chopper exists in the PPS

block of the DC contact line powered vehicles and at the same time the chopper in the ESS block is replaced with circuit breakers.

#### 4.2.4 DC contact line powered vehicles: series connection of ESS

Figure 7 shows an example configuration in which an ESS is connected in series with the contact line.



IEC

#### Key

PPS	Primary power source	ESS	Energy storage system	TE	Traction equipment
BR	Brake resistor	AUX	Auxiliaries		
ESU	Energy storage unit	CH	Chopper (for ESS)	CB	Circuit breaker
FL	Filter inductor	INV	Inverter (for TE)	BCH	Brake chopper (for BR)
$R$	Resistor	APS	Auxiliary power supply	AL	Auxiliary loads
S	ESS bypass switch				
$U_{PPS}$	Primary power supply voltage, i.e. line voltage				
$U_{ESS}$	ESS output voltage				
$U_{TE}$	Traction equipment input voltage				

**Figure 7 – Series hybrid system in contact line powered vehicles with series connection of energy storage**

Unlike examples in Figure 4, Figure 5 and Figure 6, this configuration has no common DC link to which main subsystems are connected, and therefore cannot be considered to have the same structure as shown in Figure 3. Nevertheless, it has the structure as shown in Figure 2.

In this configuration, the ESS is series connected to the DC contact line so the voltage at the input of traction inverter  $U_{TE}$  becomes the sum of the ESS voltage  $U_{ESS}$  and the line voltage  $U_{PPS}$ . This configuration allows the  $U_{TE}$  to be higher than the  $U_{PPS}$ , which means the traction equipment can handle higher power for a given current without increasing the power regenerated from the hybrid vehicle back to the feeding system. Thus, the range of

regenerative brake is widened at higher vehicle speeds by increasing the motor voltage during braking.

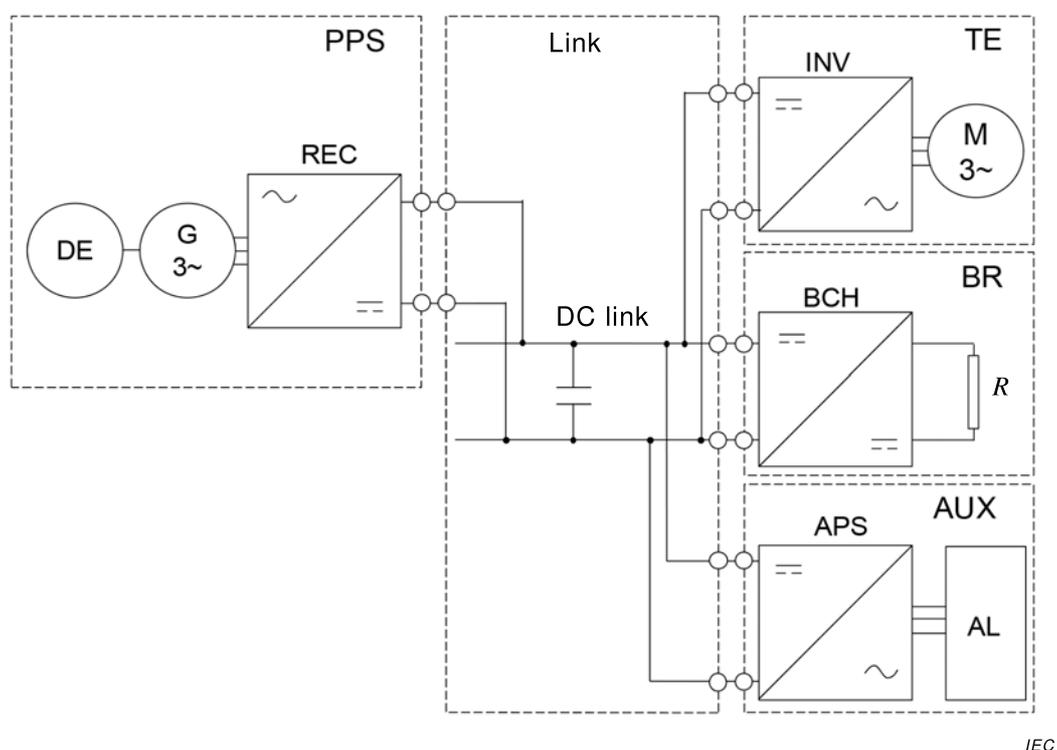
Assuming that  $U_{ESS}$  is non-negative, the ESS can be charged only during braking (Modes X and XV in Table 1), and the energy stored in the ESS can be discharged only during acceleration (Mode III in Table 1). Modes I, IV, V through VIII, XI, XII, XIV and XVII in Table 1 are not applicable.

### 4.3 Performance of the series hybrid systems

#### 4.3.1 Improving efficiency

The series hybrid system can be designed to be more efficient than the non-hybrid systems through the use of regenerative braking.

For example, in diesel-electric system, the configuration of which is shown in Figure 8, it is not possible to use regenerative braking. By adding an ESS to the system, as shown in Figure 4, regenerative braking becomes available.



**Key**

PPS	Primary power source	TE	Traction equipment		
BR	Brake resistor	AUX	Auxiliaries		
DE	Diesel engine	REC	Rectifier	INV	Inverter (for TE)
BCH	Brake chopper (for BR)	R	Resistor	APS	Auxiliary power supply
AL	Auxiliary loads				

**Figure 8 – Diesel electric propulsion system (without an ESS)**

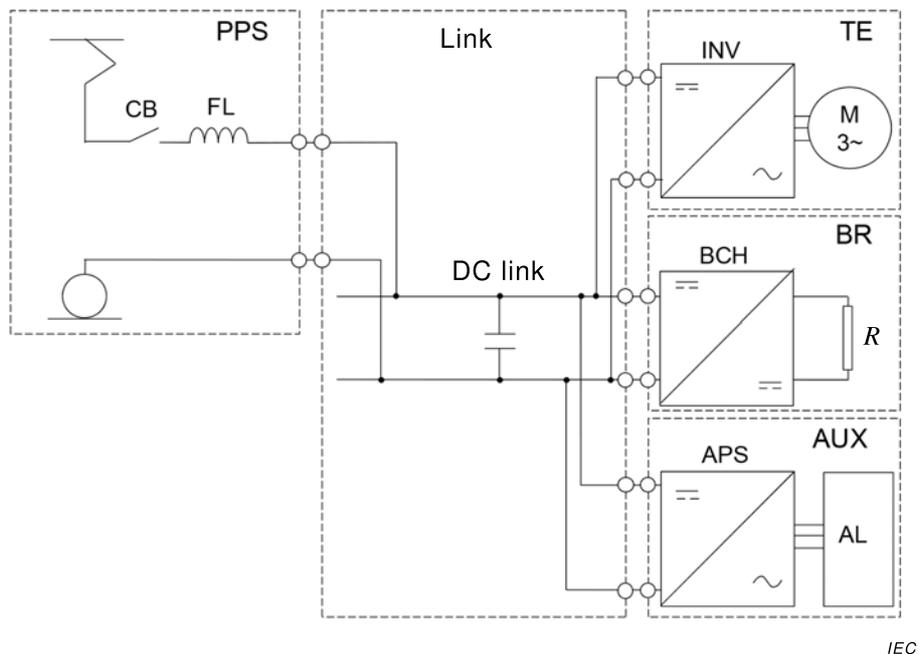
The onboard ESS can also enhance the availability of regenerative braking in the contact line powered vehicles. In such a system without an onboard ESS, the configuration of which is shown in Figure 9, it is not possible to use regenerative braking when the power feeding network is unreceptive of the power regenerated from the hybrid vehicle. By adding an ESS to

the system, as shown in Figure 6, regenerative braking can be used in such circumstances by letting the onboard ESS absorb the power regenerated from the traction equipment.

In addition to regenerative braking, the series hybrid system can be designed to be more efficient than the non-hybrid systems through the use of PPS in the more efficient operating conditions.

For example, the diesel engine and generator set is most efficient when it works at certain operating point (e.g. engine speed, power); however, in the conventional diesel-electric system, the configuration of which is shown in Figure 8, the engine-generator set is forced to output power at some sub-optimal operating points. By adding an ESS to the system, as shown in Figure 4, the engine-generator set can be controlled to remain at the most efficient operating point.

As described above, there are various configurations and modes. It is important to evaluate the energy related definitions appropriately. Details are shown in Annex B.



#### Key

PPS	Primary power source	TE	Traction equipment	BR	Brake resistor
AUX	Auxiliaries				
CB	Circuit breaker	FL	Filter inductor	INV	Inverter (for TE)
BCH	Brake chopper (for BR)	R	Resistor	APS	Auxiliary power supply
AL	Auxiliary loads				

**Figure 9 – Contact line powered propulsion system (without an ESS)**

#### 4.3.2 Boosting the motoring performance

When the power available from the PPS is limited in the series hybrid system, the ESS can be used to top up the power supplied to the traction equipment, thus boosting the motoring performance of the whole vehicle.

Figure 10 shows how boosting works. In the figure, it is assumed that:

- $P_{BR}$  is 0;
- $P_{AUX}$  is negligibly small; and

- $P_{TE} = P_{PPS} + P_{ESS}$

where  $P_{PPS}$ ,  $P_{ESS}$ ,  $P_{TE}$ ,  $P_{BR}$  and  $P_{AUX}$  are as defined in Figure 2.

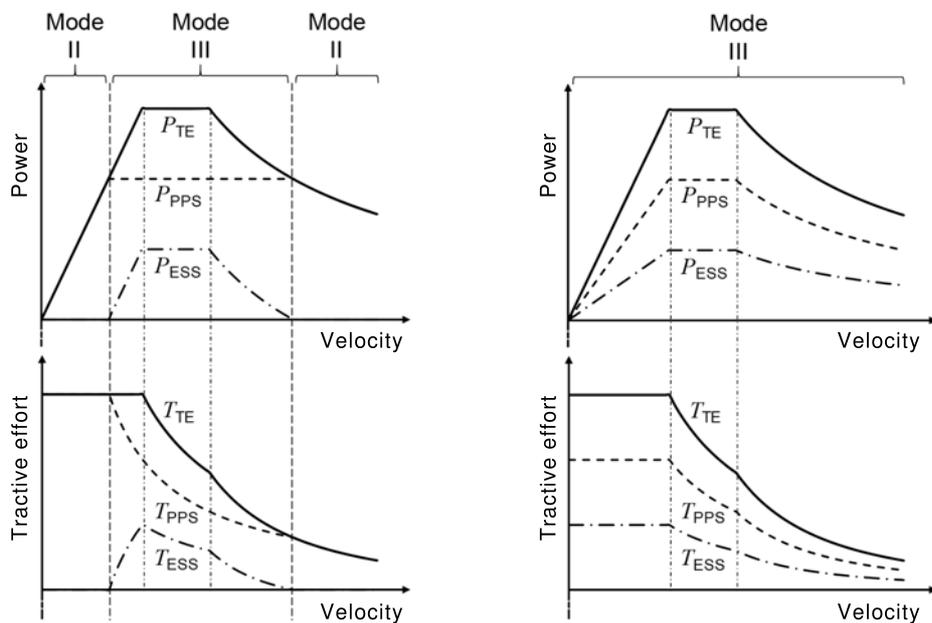
In the example shown in Figure 10 a), all the power required by the traction equipment (tractive power) is supplied by the PPS at low speed range (Mode II in Table 1). When the power exceeds the upper limit of the PPS in higher speed range, the ESS tops up the tractive power and boosts the tractive effort of the hybrid vehicle (Mode III in Table 1).

The following should be noted:

- The boosting is only available when there is enough energy remaining within the ESS. Therefore, a good energy management system is necessary for the system to be effective.
- Many different boosting control strategies can be devised for different purposes. Figure 10 b) through d) show examples of the possible cases, each of them resulting from a different strategy. In case b), the ratio of power from the PPS and the power from the ESS remains constant. Case c) is in contrast with case a), because in case c) ESS has the priority over PPS and supply all power at lower speed range; and in case d),  $P_{TE}$  is dependent on  $P_{PPS}$  and  $P_{ESS}$  unlike other cases in which  $P_{TE}$  is fixed. The choices of Modes in Table 1 are also different.

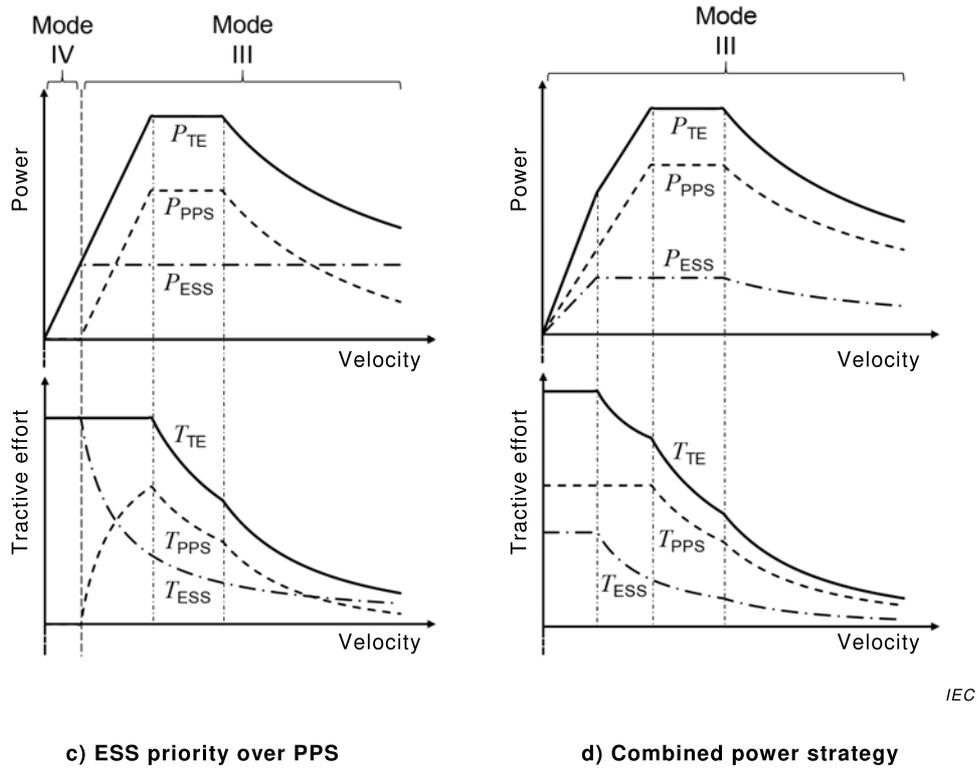
As described above, there are various configurations and modes. It is important to evaluate the energy related definitions appropriately. Details are shown in Annex B.

Not only accelerating performance, but also electric braking performance can be boosted similarly.



a) PPS priority over ESS

b) Proportional



IEC

**Key**

- |  |  |
|--|--|
| $P_{PPS}$ Power of primary power source (PPS)          | $P_{ESS}$ Power of energy storage system (ESS) |
| $P_{TE}$ Power of traction equipment (TE)              |  |
| $T_{PPS}$ Part of $T_{TE}$ contributed by PPS          | $T_{ESS}$ Part of $T_{TE}$ contributed by ESS  |
| $T_{TE}$ Tractive effort, $T_{ESS} + T_{PPS} = T_{TE}$ |  |

NOTE 1 For these examples the behavior of the power supply by ESS is assumed to be constant within a certain speed range, but can have different behaviour depending on ESS technologies.

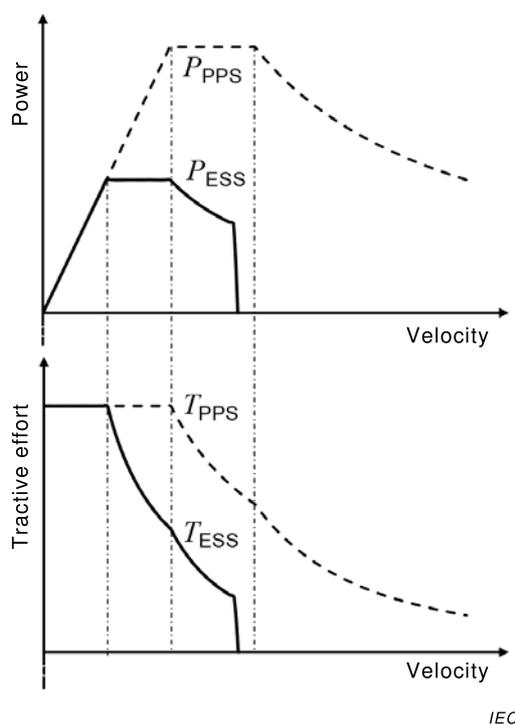
NOTE 2 For these examples SOC and/ or SOE of ESS are assumed to be sufficient to supply the power required for the operational pattern.

NOTE 3 The behavior of the power supply by ESS is assumed to be constant within speed range.

**Figure 10 – Boosting of the motoring performance by onboard ESS**

**4.3.3 Degraded mode operation**

In the series hybrid system, the vehicle can be designed to be able to move even when the PPS fails to function. In the example shown in Figure 11, if PPS fails, ESS is to output power to maintain the ability of the hybrid vehicle to move (shown as  $P_{ESS}$  and  $T_{ESS}$ , respectively). Generally, however, the energy and power available from the ESS are limited, and therefore the maximum power and maximum velocity are also limited in such degraded mode operation.



**Key**

$P_{PPS}$	Power of primary power source (PPS)	$P_{ESS}$	Power of energy storage system (ESS)
$T_{PPS}$	Part of $T_{TE}$ contributed by PPS	$T_{ESS}$	Part of $T_{TE}$ contributed by ESS

**Figure 11 – An example of degraded mode performance by onboard ESS**

**5 Environmental conditions**

**5.1 General**

The classes of service conditions described in IEC 62498-1:2010 shall be applied unless different classes are specified by the user. The user shall specify clearly in his specification the class to consider, otherwise class with suffix 1 shall be assumed.

In the event of other conditions applying these should be selected from IEC 60721-3-5 if appropriate.

**5.2 Altitude**

The altitude above sea-level, at which the equipment shall perform as specified, shall be as given in IEC 62498-1:2010, unless otherwise specified.

NOTE Altitude is relevant, in particular for air pressure level and its consequence on cooling systems and insulation.

**5.3 Temperature**

The class of ambient temperature, at which the vehicle, the hybrid system and its components will operate, shall be given according to IEC 62498-1:2010, Table 2 unless otherwise specified.

For lifetime calculations a temperature histogram should be provided by the user for the ambient air external to the vehicle. Otherwise the reference temperature TR1 according to IEC 62498-1:2010, Table 3 shall be applied.

A reference temperature is considered as being the permanent temperature for which the effects on material ageing are equivalent to those of the climatic temperature during the lifetime.

NOTE Thermal ageing is an exponential function of temperature (e.g. see IEC 60216-5 for insulating materials), i.e. the reference temperature is usually higher than the arithmetic mean temperature.

For altitude class AX (IEC 62498-1:2010), the dependency between altitude and temperature shall be provided by the user through a temperature histogram for each relevant altitude range (e.g. 0 m to 1 000 m and 1 000 m to 2 000 m).

Pre-heating or pre-cooling requirements for hybrid system components shall be agreed between the user and the manufacturer, if necessary.

## **6 Functional and system requirements**

### **6.1 Mechanical requirements**

#### **6.1.1 Mechanical stress**

##### **6.1.1.1 Shock and vibration**

The hybrid system, when supported at its designed fixings (including anti-vibration mounts when fitted), shall be able to withstand vibration and shock as stated in IEC 61373.

##### **6.1.1.2 Other accelerations**

When a vehicle is passing through a curve or is stopped on a curve, the allowable net acceleration components acting perpendicularly to the vertical axis of the vehicle shall not exceed the values given in IEC 61373. The hybrid system, including its auxiliary equipment, shall continue to perform as specified under transverse and longitudinal accelerations as specified in IEC 61373. These requirements shall be agreed between the user and the manufacturer.

##### **6.1.2 Protection against external mechanical influences**

The ingress protection category shall be defined according to IEC 60529 to fulfil the requirements for protection against direct contact and the conditions of installation environment.

### **6.2 Control requirement**

A hybrid system shall have the following minimum functions:

- power flow control;
- energy and power flow monitoring; and
- monitoring the state of ESU.

### **6.3 Electrical requirement**

#### **6.3.1 External charge and discharge function**

If required, the hybrid system shall be equipped with an external charge and discharge function. Specifications for the external charge and discharge function shall be agreed between the user and the manufacturer.

### **6.3.2 Operating with energy storage system only**

If required, when power from the PSS, i.e. diesel gen-set, overhead contact line or third rail, is not available, the vehicle shall be able to operate with the traction performance and auxiliary loads as specified by the user.

### **6.4 Disconnecting requirement**

Each ESU of the hybrid system shall be equipped with disconnecting devices to enable safe isolation or separation e.g. in the event of failure or maintenance purposes.

Each individual power source of the hybrid system should be equipped with disconnecting devices to enable safe separation of the power source from other subsystems.

### **6.5 Degraded mode**

The concept for the degraded mode shall be specified and agreed between the user and the manufacturer. In case a part or all of an individual power source (e.g. ESU/ESS, diesel engine, fuel cell, external power source) fails, the remaining part shall fulfil these requirements for the concept of the degraded mode.

### **6.6 Safety requirements**

#### **6.6.1 Protection against electrical hazards**

Protection against electrical hazards shall be considered for the driver, maintenance staff and passengers according to IEC 61991.

#### **6.6.2 Fire behaviour and protection**

Fire protection measures for fuel, ESU, etc. shall be specified by the user. Otherwise, see Annex C.

#### **6.6.3 Protection against any other impacts**

Protection against external mechanical impact shall be taken for the ESU according to IEC 62262.

Protection of environment, driver, maintenance staff and passenger against mechanical impact due to effects coming from the ESU, e.g. explosion, gas venting and/or releases, etc. shall be considered.

#### **6.6.4 Short-circuit protection**

The ESS shall be equipped with appropriate short-circuit protection.

The user shall define in the specification whether the parts of the hybrid system are short-circuit proof or not.

The test shall be performed as described in 8.9.

### **6.7 Lifetime requirements**

Lifetime determination should be considered for the ESU. The data by the component supplier can be used. For the lifetime modelling the operational pattern shall be considered. The lifetime determination and modelling of the ESU depends on its usage and agreement between the subsupplier/component supplier or the ESU supplier and the system supplier and the user if necessary.

For definition of end of life (EOL) the following examples are given:

- a) Component oriented for EDLC: Ageing causes decreasing capacitance and increasing internal resistance. Therefore, the manufacturer and the user can agree that “When the capacitance is below certain percentage ‘X’ of the initial capacitance or the internal resistance is ‘Y’ times higher than the initial resistance, then EOL is reached”. The values of ‘X’, ‘Y’ or other parameters should be agreed between the user and the manufacturer according to the project.
- b) Operational pattern oriented: Operational patterns should be supplied by system integrator or the user. The ESU supplier and/or the system integrator shall estimate the lifetime according to these patterns.

## 6.8 Additional requirement for noise emission of hybrid system

The measurement method refers to IEC 61133.

Where there is a specific noise emission requirement, emission shall be determined upon agreement between the user and the manufacturer.

## 7 Kinds of tests

### 7.1 General

Tests are classified in the following three categories:

- a) type tests;
- b) optional tests; and
- c) routine tests.

The routine tests for individual equipment that constitutes a system shall be performed in accordance with the relevant standards. Some minimum routine tests are specified.

The test locations are broken down as follows:

- a) vehicle/system interface (level 1): logic interface (to auxiliaries, overall vehicle control unit, to infrastructure and signalling interface, etc.) working together, hardware interfaces (cables, etc.);  
EXAMPLE Interfaces of hybrid system control unit, auxiliary and overall vehicle control unit.
- b) systems and interfaces (level 2): physical and control interfaces between the vehicle and the traction (propulsion) chain;  
EXAMPLE Interfaces of ESS/ESS, link, traction equipment, brake resistor and PPS and hybrid system control unit (either part of the control unit of the subsystem or dedicated unit which is applicable).
- c) components (level 3): ESU, converter, motors, etc. as shown in Figure 2;
- d) subcomponents (level 4): lithium ion battery, EDLC, etc within ESU.

See 7.5 and Table 2 therein.

### 7.2 Type test

A type test is conducted to verify the ratings, characteristics and performance of a new system. This type test shall be conducted on a system/interface (level 2) and vehicle/system interface (level 1) for each new design. The suppliers for subcomponent, component, system and/or vehicle are responsible for type tests for their appropriate level or scope of supply. Component and subcomponent tests (level 3 and 4) are expected to have been performed in advance according to the relevant component standards.

If the design or manufacturing process of equipment included in the combined system is changed after a type test is conducted on the system, the impact of the change on the

combined system shall be evaluated. The decision on whether to conduct the type test or conduct only part of that test is based on the agreement between the user and the manufacturer. If the manufacturer previously prepared a report on a type test that covers all test items for a similar system, the type test can be omitted upon agreement between the user and the manufacturer.

Simulation results based on reliable modelling (successfully verified with previous measurement) can be applied under agreement.

### 7.3 Optional test

Optional test can be performed to obtain additional information about the hybrid system. Optional test is not mandatory and shall be carried out only upon agreement between the user and the manufacturer. If no specific agreement is made between the user and the manufacturer, this test result shall not be treated as acceptance criteria for the system.

### 7.4 Routine test

Routine tests are carried out to verify that the system or vehicle is correctly assembled and that all components, system and/or vehicle functions properly and safely operating. Routine tests shall be performed by the manufacturer on each item of a given type. The manufacturer and the user may agree to adopt an alternative test procedure. This may permit reduced routine testing of all components, system and/or vehicle or may require the full routine tests on a portion of all components, system and/or vehicle chosen at random from those produced on the order.

Routine tests which are subject to agreement between the manufacturer and the user are to be carried out only if it is so stated in the specification.

### 7.5 Test categories

The test categories refer to Table 2.

The test locations are categorised as component tests, combined tests and vehicle tests.

Special requirements from the user shall be agreed between the user and the manufacturer.

The location of the tests listed in Table 2 can be discussed and agreed between the manufacturer and the user.

**Table 2 – List of tests (1 of 3)**

Test item	Location of the test	Type of tests	Level <sup>a</sup>	Clause/sub clause number
Combined test at test bench				
ESS charge/discharge control function	B	T	2	8.3.1
External charge test	B	O	2	8.3.2
Disconnection test	C or B	T	2.3	8.3.3
Degraded mode test	B	O	2	8.3.4
SOC/SOE test	B	O	2	8.3.5
Sweeping speed under full torque test	B	T	2	8.4.1
Output torque test with energy storage system only	B	T	2	8.4.2

**Table 2 (2 of 3)**

Test item	Location of the test	Type of tests	Level <sup>a</sup>	Clause/sub clause number
System sequence test	–	–	–	8.5
a) start up of the system	B	T	2	–
b) motoring operation including power limitation according to the protection conditions	B	T	2	–
c) regenerative operation including power limitation according to the protection conditions	B	T	2	–
d) disconnection of one or more ESS and/or ESU	B	T	2	–
e) reconnection of one or more ESS and/or ESU	B	T	2	–
f) disconnection of one or more PPS	B	T	2	–
g) reconnection of one or more PPS	B	T	2	–
h) shut down of the system	B	T	2	–
i) redundancy, degraded mode	B	T	2	–
Energy efficiency and consumption measurement	B	O	2	8.6.2
Determination of fuel consumption	B	O	2	8.6.3.1
Determination of the exhaust gas emission levels	B	O	2	8.6.3.2
Duration measurement of ESS	B	O	1	8.7.2
Low-temperature operation test	B or C	O	2 or 3	8.8.2
High-temperature operation test	B or C	O	2 or 3	8.8.3
Short-circuit protection test	B or C	O	2 or 3	8.9
ESU endurance test	C	O	4	8.10
Vehicle level				
ESS disconnection test	V	R	1	9.2
Vehicle sequence test	–	–	–	9.3
a) start up of the system	V	R	1	–
b) motoring operation	V	R	1	–
c) electric braking operation	V	R	1	–
d) disconnection of one or more ESS and/or ESU	V	R	1	–
e) reconnection of one or more ESS and/or ESU	V	R	1	–
f) disconnection of one or more PPS	V	R	1	–
g) reconnection of one or more PPS	V	R	1	–
h) shut down of the system	V	R	1	–
i) redundancy, degraded mode	V	R	1	–
Drive system energy consumption measurement	V	O	1	9.4
Determination of fuel consumption	V	O	1	9.5.1
Determination of the exhaust gas emission levels	V	O	1	9.5.2
Auxiliary circuit energy consumption measurement	V	O	1	9.6
Duration of vehicle operation by ESS	V	O	1	9.7
Determination of acoustic noise emission	V	O	1	9.8

**Table 2 (3 of 3)**

NOTE 1 It is preferable that the “optional” type tests in the table be conducted through agreement between the user and the manufacturer. An “optional” type test and an optional test are not in the same test category.

NOTE 2 Abbreviation of location of test is as follows:

C: Component test

B: The test is made at the test bench during the combined test.

V: Vehicle

NOTE 3 Abbreviation of type of tests is as follows:

T: Type test

O: Optional test

R: Routine test

<sup>a</sup> For levels, see 7.1.

## 7.6 Acceptance criteria

Unless stated in Clause 8 and 9, acceptance criteria shall be as follows:

- for function it shall be verified that the system works properly as specified;
- for performance or characteristics test it shall be verified that the performance or characteristics complies with the specifications. The specifications shall be agreed between the user and the manufacturer.

## 8 Combined tests

### 8.1 General

For test items other than those specified in Clause 8, refer to IEC 61287-1, IEC 60349-2, IEC 60349-4, and IEC 61377.

### 8.2 Test conditions

Test conditions refer to IEC 61377.

### 8.3 ESS control

#### 8.3.1 ESS charge/discharge control function

Charging and discharging of the ESS at rated power shall be carried out according to the requirements agreed between the user and the manufacturer. Power flow, e.g. of the PPS, ESS and converters shall be monitored to verify appropriate control.

#### 8.3.2 External charge test

If the external charging function is equipped, time, current and voltage during the specified charging rate shall be measured. The starting temperature and cooling conditions are determined based on the agreement between the user and the manufacturer. However, the lower and upper limits of the charging rate are set within a range where constant-current charging is possible.

#### 8.3.3 Disconnection test

In the event of any power source failure, it shall be possible to disconnect the failed device without damage or causing safety concerns. Manual disconnection shall be tested if installed, e.g. for maintenance purpose.

#### **8.3.4 Degraded mode test**

If a degraded mode is specified, the vehicle shall have the capability to operate with no permanent damage or safety concerns to any component with partially or fully disconnected power source, e.g. ESU/ESS, diesel engine, fuel cell, or external power source.

The specific operating range under the degraded mode shall be determined upon agreement between the user and the manufacturer.

#### **8.3.5 SOC/SOE test**

SOC or SOE of ESS shall be determined at the beginning. The changes in SOC or SOE shall be monitored continuously throughout an assumed operational pattern by measuring time and energy in order to facilitate a charge or energy balance calculation and return the calculated SOC or SOE to the same level at the end of the normal operation (e.g. by charging from the engine output).

If repeated operational patterns are required, SOC or SOE at the beginning and at the end of operational pattern should be balanced with a post operation. The post operation may be performed by off-line charging/discharging, e.g. external/internal power source or catenary or overhead contact line or third rail.

Acceptance criteria of this test shall be agreed between the user and the manufacturer.

### **8.4 Output torque**

#### **8.4.1 Sweeping speed under full torque test**

For the series hybrid system the torque characteristics shall be verified according to the design. Contribution of each power source (PPS or ESS) should be measured.

Measurement is carried out according to IEC 61377:2016, Clause 7.

The test is performed by gradually increasing and decreasing the speed with the maximum torque command over the entire speed range in motoring and electric braking at motor “hot”. At this time, abnormal interruption of the system shall not occur. The speed change rate should be appropriate for each application and each system.

When the maximum motoring or brake control command is applied, the series hybrid system shall provide as much power as possible automatically and independently of the state of the ESS.

Full performance may not be available due to limitation of power/energy from the ESS and/or PPS.

The boosted or limited characteristics due to the ESS shall be measured.

#### **8.4.2 Output torque test with energy storage system only**

If operation is required with the ESS only, the specified output torque shall be achieved by the power from the ESS with the PPS disconnected.

### **8.5 System sequence test**

The purpose of the system sequence test is to check the combination of the devices works as intended in a sequence of operation, with no connection to operational pattern. The following sequence of operation shall be checked:

- a) start up of the system

Control power supply is switched on and necessary actions are carried out for the system to start up for operation;

- b) motoring operation including power limitation according to the protection conditions  
Motoring command is turned on, traction circuit is configured for motoring and starts motoring. Several kinds of tractive effort commands within specified speed range shall be tested.  
See IEC 61377:2016, Clause 7;
- c) regenerative operation including power limitation according to the protection conditions  
Braking command is turned on, traction circuit is configured for braking and starts braking. Several kinds of braking effort commands within the specified speed range shall be tested.  
See IEC 61377:2016, Clause 7;
- d) disconnection of one or more ESS and/or ESU  
One or more ESS and/or ESU are disconnected. This sequence shall be operated under the specified conditions. If this sequence is carried out when ESS/ESU or converter are working, ESS/ESU or converter shall be stopped safely before disconnection.  
See 8.3.3;
- e) reconnection of one or more ESS and/or ESU  
ESS and/or ESU disconnected in procedure d) can be reconnected. This sequence shall be operated under the specified conditions. After this, the reconnected ESS/ESU or converter shall start operation correctly and as specified;
- f) disconnection of one or more PPS  
One or more PPS are disconnected. This sequence shall be operated under the specified conditions. If this sequence is carried out when the converter is working, the converter shall be stopped safely before disconnection.  
See 8.3.3;
- g) reconnection of one or more PPS  
PPS disconnected in procedure f) can be reconnected. This sequence shall be operated under the specified conditions. After this, the reconnected PPS shall start operation correctly and as specified;
- h) shut down of the system  
After operation, the system can be turned off using the sequences of commands to switch off power circuit, control circuit, etc.;
- i) redundancy, degraded mode  
The test of redundancy and degraded modes shall be performed as specified. See 8.3.4.

No abnormal behaviour (e.g. over voltages, over currents, unintended system shutdown, etc.) shall be observed.

## **8.6 Energy efficiency and consumption**

### **8.6.1 General**

The system shall be operated in combination with an equivalent load and measurement shall be performed in accordance with IEC 61377:2016, 8.3.

The load condition may be different from an actual one due to limitations of the test facilities.

Tests shall be performed at stabilized conditions, e.g. thermal conditions of converter, motor, ESS, etc.

Simulation results based on reliable modelling (successfully verified with previous measurements) can be applied instead of a test under agreement between the user and the manufacturer.

For the measuring procedure refer to IEC 61377. Acceptance criteria specified in IEC 61377 excludes energy consumption of the ESS. Acceptance criteria of energy consumption including the ESS shall be agreed between the user and the manufacturer. The manufacturer is responsible for choosing the pertinent accuracy of the measuring equipment for devices described in Annex B, e.g., PPS (including fuel consumption), ESS.

This standard is applicable to bench test measurement and tests on completed vehicles for factory and field tests. Temporary measurement equipment may be used, which is different from on board energy measurement system for revenue service.

For methods and definitions of energy measurement on board trains in revenue service, IEC 62888 series may be referred to and used for field tests under agreement between the user and the manufacturer. E.g., root mean square can be used for calculation of accuracy of energy measurement equipment; voltage meter, current meter and power meter as defined in IEC 62888-2.

## **8.6.2 Energy efficiency and consumption measurement**

### **8.6.2.1 General**

Energy efficiency and consumption in a specified operation (duration, distance, speed, etc.) shall be measured.

To determine the energy efficiency and consumption, voltage and current on every subsystem in Figure 2 shall be measured simultaneously and integrated for the specified operation. If required, some components may also be measured upon agreement between the user and the manufacturer.

### **8.6.2.2 Preparation**

The initial level of energy in the ESS before starting the specified operation shall be determined.

### **8.6.2.3 Measuring equipment**

The accuracy of the measuring equipment shall be in conformance with IEC 61377:2016, 6.4.

### **8.6.2.4 Measurement locations**

The measurement methods shall minimize the power losses in terminals and wirings. The measurement locations are shown below.

#### **a) PPS**

Measurement is taken at the output terminal of the power source. Current and voltage sensors for DC or AC power supply can be used to determine the energy consumption of the PPS. Flow meters can be used for diesel or gas fuel consumption, if required.

#### **b) ESS**

Measurement is taken at the output terminal of the ESS.

#### **c) Traction equipment**

Measurement is taken at the input terminals.

#### **d) Brake resistor**

Measurement is taken at the input terminals of the brake resistors.

e) AUX

If major power for auxiliary circuits is supplied by the auxiliary converter, measurement is taken at the input terminals of the auxiliary converter.

f) Components of the subsystem

If required, measurement for the components may be carried out under agreement between the user and the manufacturer in order to determine the efficiency of such component of the subsystem, e.g. dedicated converter, transformer for AC contact line powered PPS, etc.

#### **8.6.2.5 Measurement**

The specified operation for the specified number of times to measure the energy for motoring and regenerative brake shall be repeated.

After testing, the stored energy in the ESS and the difference from the initial level shall be measured and calculated.

SOC/SOE at the beginning and at the end of each operational pattern (duty cycle) or at the end of all repeated duty cycles should be balanced with post operation. Post operation may be performed by off-line charging/discharging, e.g. external/internal power source, or catenary line.

The operational pattern and load conditions for the tests shall be agreed upon between the user and the manufacturer.

#### **8.6.2.6 Calculating the system energy consumption to ensure the profile**

At the end of the test the system energy consumption shall be calculated by subtracting the difference in energy stored in the ESS from the energy supplied by the power source. The system energy consumption incorporates traction equipment, braking resistor and auxiliaries.

Where there is an imbalance in the level of charge or energy in the ESS ( $\Delta$ SOC/ $\Delta$ SOE) the difference in charge or energy can be adjusted via energy consumption.

#### **8.6.2.7 Specific energy consumption calculation**

With respect to the energy consumption measured in 8.6.2.5, the specific energy consumption from the running distance and load that correspond to the relevant operational pattern shall be calculated.

### **8.6.3 Determination of fuel consumption and exhaust gas emission (in case of engine or fuel cell)**

#### **8.6.3.1 Determination of fuel consumption**

The fuel consumption for the specified operational patterns and load conditions shall be measured or calculated. The operational patterns and load conditions are determined based on the agreement between the user and the manufacturer.

Depending on the agreement between the user and the manufacturer, the fuel consumption is determined either by the actual fuel consumption measured in the fuel tank, or through the conversion of data obtained by monitoring the running state of the engine based on the fuel consumption data obtained from stationary tests conducted in advance.

#### **8.6.3.2 Determination of the exhaust gas emission levels**

The emissions of the exhaust gas shall be measured or calculated. Their components shall be analyzed.

Depending on the agreement between the user and the manufacturer, the gas emissions are determined either by the actual measurement or through the conversion of data obtained by monitoring the running state of the engine based on the gas emission data obtained from stationary tests conducted in advance.

## **8.7 Duration of vehicle operation by ESS**

### **8.7.1 General**

This test is carried out to verify the performance of the ESS to supply energy for required operation.

Simulation results based on reliable modelling (successfully verified with previous measurements) can be applied instead of the tests under agreement between the user and the manufacturer, e.g. due to certain limitation of test facilities.

### **8.7.2 Duration measurement of ESS**

With the PPS disconnected the specified operation (duration, distance, speed, etc.) shall be achieved using the power from the ESS.

With the PPS disconnected the running duration shall be checked when only the ESS is used.

This measurement is not required for systems that are not capable of running with power from an ESS only.

## **8.8 Environmental test**

### **8.8.1 General**

The system shall be operated in the range of specified temperature (low and high temperature). The main focus of this test is on ESU.

Component level tests or reliable test results of similar existing systems can be used upon agreement between the user and the manufacturer.

### **8.8.2 Low-temperature operation test**

After operation has started at the lower limit temperature of the specified temperature class (e.g., ambient temperature of  $-25^{\circ}\text{C}$  for T1; IEC 62498-1:2010, Table 2) for the ESU, the time needed to reach the state where the specified operational pattern can be supplied by the ESU shall be measured. Stabilized operating conditions concerning temperature such as heating, cooling, etc. for the ESU should be considered.

A partial subsystem test is acceptable if there is an agreement between the user and the manufacturer.

If there are restrictions due to the testing infrastructure, the test method shall be defined by agreement between the user and the manufacturer.

### **8.8.3 High-temperature operation test**

The specified operational pattern at the upper limit temperature (e.g.,  $50^{\circ}\text{C}$  in the equipment box for T1; IEC 62498-1:2010, Table 2) for the ESU shall be measured. Stabilized operating conditions concerning temperature such as heating, cooling, etc. for the ESU should be considered.

A partial subsystem test is acceptable if there is an agreement between the user and the manufacturer.

If there are restrictions due to the testing infrastructure, the test method shall be defined by agreement between the user and the manufacturer.

NOTE E.g. if the test is not performed at the specified maximum ambient temperature, temperature measurement results are corrected linearly (between 10 °C and 40 °C) or by thermal simulation model (e.g. considering changes in internal resistance) to extrapolate the results to maximum operating temperature.

### **8.9 Short-circuit protection test**

The specified terminals of the ESS shall be short-circuited according to the proper means as agreed between the manufacturer and the user.

It is permitted to perform this test by creating the fault condition in the off-state, before start-up of the system.

In the event of short-circuit, the ESS shall react according to the definitions in the protection concept of the hybrid system as agreed between the user and the manufacturer.

If there is restriction due to possibility of damage to the test bench facilities, the test method shall be defined by agreement between the user and the manufacturer.

### **8.10 ESU endurance test**

Endurance test shall be performed at subcomponent level according to the relevant standards:

- for EDLC, endurance cycling test shall be performed according to IEC 61881-3;
- for lithium-ion battery, endurance in cycles test is specified in IEC 62928.

Simulation results for endurance based on reliable modelling (successfully verified with previous measurements) can be applied under agreement between the user and the manufacturer, e.g. especially for the duty cycle of revenue operation.

## **9 Vehicle test**

### **9.1 General**

The tests to be conducted on hybrid vehicles as completed vehicles are shown below.

The tests, unless otherwise specified below, for testing completed vehicles refer to IEC 61133.

Simulation results based on reliable modelling (successfully verified with previous measurements) can be applied instead of the tests under agreement between the user and the manufacturer, e.g. due to certain limitations of test facilities.

### **9.2 ESS disconnection test**

The ESS shall be instantly and safely disconnected either automatically or manually in an emergency or in the event of a failure. Manual and/or automatic disconnection shall be tested if installed, e.g. for maintenance purpose.

NOTE This test is carried out as part of vehicle sequence test.

### **9.3 Vehicle sequence test**

The purpose of the vehicle sequence test is to check the completed vehicle works as intended in a sequence of operation. The following sequence of operation shall be checked:

- a) start up of the system

Control power supply is switched on and necessary actions are carried out for the vehicle to start up for operation;

b) motoring operation

Motoring command is turned on, traction circuit is configured for motoring and starts motoring. Several kinds of tractive effort commands within specified speed range, including power boosting (see Figure 10) and/ or power limitations (see Figure 11) if any, shall be tested.

See IEC 61133:2016, 9.2;

c) electric braking operation

Braking command is turned on, traction circuit is configured for braking and starts braking. Several kinds of braking effort commands within the specified speed range, including power boosting (see Figure 10) and/ or power limitations (see Figure 11) if any, shall be tested.

See IEC 61133:2016, 9.2;

d) disconnection of one or more ESS and/or ESU

One or more ESS and/or ESU are disconnected. This sequence shall be operated under the specified conditions. If this sequence is carried out when ESS/ESU or converter are working, ESS/ESU or converter shall be stopped safely before disconnection.

See 9.2;

e) reconnection of one or more ESS and/or ESU

ESS and/or ESU disconnected in procedure d) can be reconnected. This sequence shall be operated under the specified conditions. After reconnection, ESS/ESU or converter shall start operation correctly if failures are removed or the failed component/system is safely disconnected;

f) disconnection of one or more PPS

One or more PPS are disconnected. This sequence shall be operated under specified conditions. If this sequence is carried out when the converter is working, the converter shall be stopped safely before disconnection;

g) reconnection of one or more PPS

PPS disconnected in procedure f) can be reconnected. This sequence shall be operated under the specified conditions. After reconnection, the vehicle shall start operation correctly if failures are removed or the failed component/system is safely disconnected;

h) shut down of the system

After operation, the vehicle can be turned off by the commands according to sequences of switching off power circuit, control circuit, etc.;

i) redundancy, degraded mode

The test of redundancy and degraded modes shall be performed as specified.

No abnormal behaviour (e.g. over voltages, over currents, unintended system down, etc.) shall be observed.

#### 9.4 Drive system energy consumption measurement

The energy consumption shall be measured for the sections, operational patterns and load conditions specified by the user. The operational patterns and load conditions are determined based on the agreement between the user and the manufacturer.

The measurement method refers to 8.6.2.

NOTE Altitude of start and end positions is taken into account to evaluate the measured results.

## **9.5 Determination of fuel consumption and exhaust gas emission (in case of engine or fuel cell)**

### **9.5.1 Determination of fuel consumption**

Determination of the fuel consumption refers to 8.6.3.1, applicable to the vehicle level.

### **9.5.2 Determination of the exhaust gas emission levels**

Determination of the exhaust gas levels refers to 8.6.3.2, applicable to the vehicle level.

## **9.6 Auxiliary circuit energy consumption measurement**

The amount of energy consumption of the auxiliary circuit shall be measured because the auxiliaries (e.g. comfort auxiliaries) as a main consumer of energy can have significant influence on the operation of the hybrid system.

If the APS supplies all the power for the auxiliary circuits, measurement is taken at the input terminal of the APS.

If there are circuits other than the load on the APS, measure the energy consumption in each one.

## **9.7 Duration of vehicle operation by ESS**

Determination of duration for ESS refers to 8.7.2, applicable to the vehicle level.

## **9.8 Determination of acoustic noise emission**

The noise in the running and stationary states of the vehicle shall be determined.

The determination of acoustic noise emission refers to IEC 61133:2016, 9.17.

But considering intermittent operation of the engine and the radiator specific to the hybrid system, noise shall be determined in combination with start/stop of the PPS, e.g. diesel engine or radiator under certain kinds of conditions.

If necessary, noise measurement of component or subsystem at component test or at bench test may be performed upon agreement between the user and the manufacturer.

## Annex A (informative)

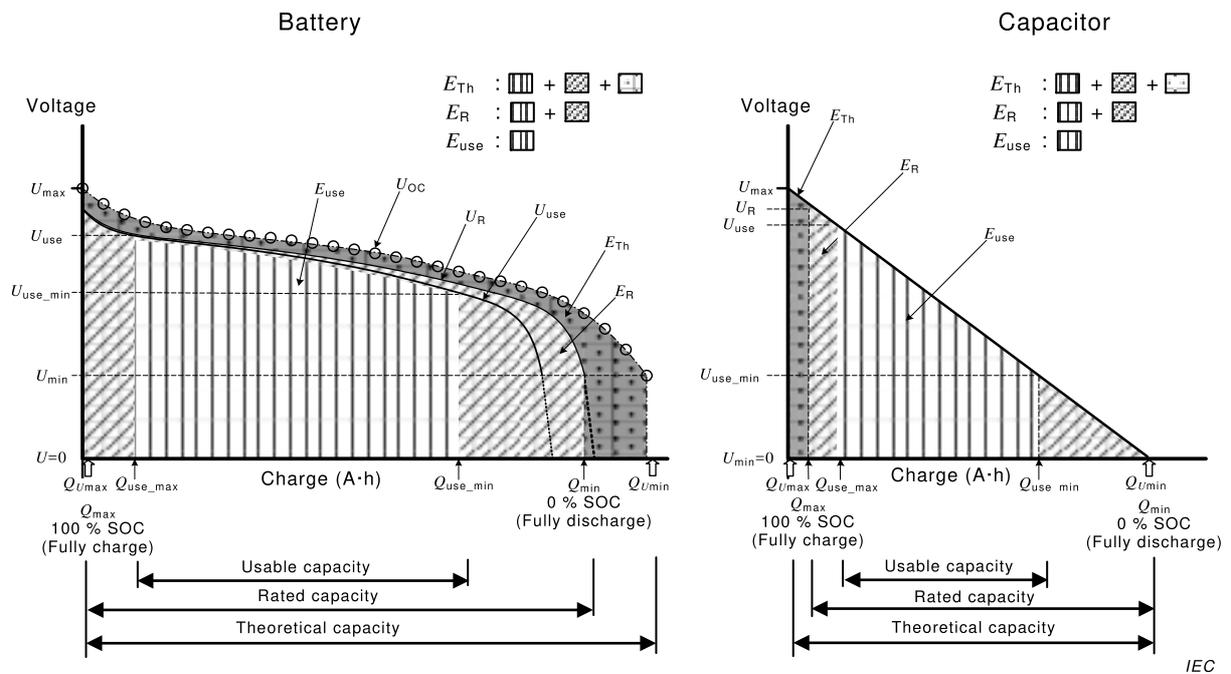
### State of charge (SOC) and state of energy (SOE) for batteries and capacitors

#### A.1 Content of capacity and energy

##### A.1.1 General

In this international standard, capacity and energy are defined in three distinct contexts: theoretical, rated, and usable. The primary purpose of Annex A is to detail and clarify the definitions or relations applied in the ESU with batteries and/or capacitors as the adopted storage technologies.

For example Figure A.1 illustrates the difference of each definition containing capacity and energy for the battery and the capacitor.



**Key**

$E_{Th}$	Theoretical energy	$E_R$	Rated energy	$E_{Use}$	Usable energy
$Q_{max}$	Maximum charge	$Q_{min}$	Minimum charge		
$Q_{U_{max}}$	Charge at the maximum voltage	$Q_{U_{min}}$	Charge at the minimum voltage		
$Q_{Use_{max}}$	Maximum usable charge	$Q_{Use_{min}}$	Minimum usable charge		
$U$	Voltage	$U_{OC}$	Voltage at the open circuit		
$U_R$	Rated voltage	$U_{max}$	Maximum voltage	$U_{min}$	Minimum voltage
$U_{Use}$	Maximum usable voltage	$U_{Use_{min}}$	Minimum usable voltage		

NOTE For batteries: for very small currents, the usable energy content is similar to the rated energy.

**Figure A.1 – Difference of capacity and energy content**

### A.1.2 Theoretical energy

Theoretical energy,  $E_{Th}$ , is defined in 3.1.18.1. It is the amount of energy at a very low value of discharging current (that can be discharged from the energy storage device without energy loss, for example, via joule or ohmic heating) representing the maximum amount of energy being stored in the ESU.

For the capacitor, the theoretical energy is based on the maximum voltage:

$$E_{Th} = \frac{1}{2} C U_{max}^2$$

where

$E_{Th}$  is the theoretical energy;

$C$  is the capacitance;

$U_{max}$  is the maximum voltage.

NOTE For measurement of capacitance, refer to IEC 61881-3.

For the capacitor technology, all electric charge can be removed or discharged from the electrode pair and the corresponding theoretical minimum voltage is therefore zero, i.e.,  $U_{min} = 0$ .

### A.1.3 Rated energy

Rated energy is defined in 3.1.18.2. It is the amount of energy that can be discharged from the ESU under the “rating” conditions.

For the battery, the rated energy is the integral of the product of constant current in discharge test and measured voltage (e.g.  $C_5$  rate).

For example, a lithium-Ion battery, refer to result of IEC 62928 for the rated energy and according to IEC 62620.

For the capacitor, the rated energy is practically based on the rated voltage:

$$E_R = \frac{1}{2} C U_R^2$$

where

$E_R$  is the rated energy;

$C$  is the capacitance;

$U_R$  is the rated voltage.

NOTE For EDLC  $E_R$  is not fully obtained due to loss of ESR.

### A.1.4 Usable energy

The usable energy is defined in 3.1.18.3. It is the usable portion of available energy within a pre-defined range of SOC or voltage limits. The maximum and minimum limits are parameters typically defined by the user or the manufacturer.

For example, parameters such as power, current or maximum and minimum voltage limit for the equipment used may be defined.

For the battery, the usable energy is the energy which can be used without limiting the duty cycle initially agreed between the user and the manufacturer.

For the capacitor, the usable energy is effectively the difference between energies at charged voltage and minimum usable voltage:

$$E_{\text{use}} = \frac{1}{2} C U_{\text{use}}^2 - \frac{1}{2} C U_{\text{use\_min}}^2$$

where

$E_{\text{use}}$  is the usable energy;

$C$  is the capacitance;

$U_{\text{use}}$  is the maximum usable voltage;

$U_{\text{use\_min}}$  is the minimum usable voltage.

NOTE For EDLC  $E_{\text{use}}$  is not fully obtained due to loss of ESR.

## A.2 Content of SOC and SOE

### A.2.1 General

As several definitions of capacity and energy exist, state of charge (SOC) and state of energy (SOE) as a combination of the contents of capacity and energy can also be defined as discussed herein.

An appropriate definition should be selected by the user for the intended purposes and applications.

In general, SOC is a relative ratio of the amount of capacity remaining in the ESU to the maximum amount available per definition (i.e., theoretical, rated, or usable). The quantity of SOC is typically expressed in decimals (0,0 to 1,0) or percentage (%). A SOC value of 1,0 or 100 % represents the fully charged state, whereas 0,0 or 0 % represents the fully discharged state. Similarly, SOE is a measure of relative energy available in the ESU, and also expressed in decimals or percentage.

### A.2.2 Theoretical purpose

For the theoretical purpose the following definitions are appropriate:

$$\text{SOC}_{\text{Th}} = \frac{CH_{\text{Th\_remaining}}}{CH_{\text{Th}}}$$

$$\text{SOE}_{\text{Th}} = \frac{E_{\text{Th\_remaining}}}{E_{\text{Th}}}$$

where

$CH_{\text{Th}}$  is the theoretical capacity, in Ah;

$CH_{\text{Th\_remaining}}$  is the remaining theoretical capacity, in Ah;

$E_{\text{Th}}$  is the theoretical energy, in Wh;

$E_{\text{Th\_remaining}}$  is the remaining theoretical energy, in Wh.

### A.2.3 Common purpose

For the common purpose the following definitions are appropriate:

$$\text{SOC} = \frac{CH_{R\_remaining}}{CH_R}$$

$$\text{SOE} = \frac{E_{R\_remaining}}{E_R}$$

where

- $CH_R$  is the rated capacity, in Ah;
- $CH_{R\_remaining}$  is the remaining rated capacity, in Ah;
- $E_R$  is the rated energy, in Wh;
- $E_{R\_remaining}$  is the remaining rated energy, in Wh.

#### A.2.4 Effective or practical purpose

For the effective or practical purpose the following definitions are appropriate:

$$\text{SOC}_{\text{Ef}} = \frac{CH_{\text{use\_remaining}}}{CH_{\text{use}}}$$

$$\text{SOE}_{\text{Ef}} = \frac{E_{\text{use\_remaining}}}{E_{\text{use}}}$$

where

- $CH_{\text{use}}$  is the usable capacity, in Ah;
- $CH_{\text{use\_remaining}}$  is the remaining usable capacity, in Ah;
- $E_{\text{use}}$  is the usable energy, in Wh;
- $E_{\text{use\_remaining}}$  is the remaining usable energy, Wh.

#### A.2.5 Coefficient of usage

For the coefficient of usage purpose the following definitions are appropriate, applicable for both beginning of life (BOL) and end of life (EOL).

$$\text{COU}_{\text{SOC}} = \frac{CH_{\text{use}}}{CH_R}$$

$$\text{COU}_{\text{SOE}} = \frac{E_{\text{use}}}{E_R}$$

where

- $CH_R$  is the rated capacity, in Ah;
- $CH_{\text{use}}$  is the usable capacity, in Ah;
- $E_R$  is the rated energy, in Wh;
- $E_{\text{use}}$  is the usable energy, in Wh.

NOTE Other combinations as ratios of different contents of capacity or energy can be used if needed.

$$\text{COU}_{\text{SOC\_R\_Th}} = \frac{CH_R}{CH_{\text{Th}}}$$

$$\text{COU}_{\text{SOE}_R_{\text{Th}}} = \frac{E_R}{E_{\text{Th}}}$$

$$\text{COU}_{\text{SOC}_{\text{use}}_{\text{Th}}} = \frac{CH_{\text{use}}}{CH_{\text{Th}}}$$

$$\text{COU}_{\text{SOE}_{\text{use}}_{\text{Th}}} = \frac{E_{\text{use}}}{E_{\text{Th}}}$$

## **Annex B** (informative)

### **Energy related terms and definitions**

#### **B.1 General**

This Annex describes energy related definitions, terms and detailed calculation methods.

It should be noted that different definitions are widely used for the same word “regenerative efficiency”. Take an example of system architecture shown in Figure 9 (contact line powered non-hybrid system). It is common to evaluate the regenerative performance of this system by measuring the power transmitted between the vehicle and the power supply network through the current collectors (e.g. pantographs or shoe gears). However, this generally means that the power flow may be positive, i.e. from the power supply network to the vehicle, when the traction equipment is regenerating power that is smaller than the power supplied to the auxiliary loads.

Therefore, even when the losses at the PPS subsystem of Figure 9 are ignored, the supplied, regenerated and consumed energy, the regeneration coefficient and many other performance indices of the vehicle can differ significantly from those defined for the traction equipment under this definition.

It should also be noted that the appropriate interpretation of energy indices are significantly different for individual configurations. For example, in the configuration of Figure 6, the regenerated energy to the PPS is basically returned to the power supply network. However, in Figure 4, it is absorbed by engine or exhaust braking, and therefore should be treated differently.

Therefore, the energy efficiency performance indices should be clearly defined and handled appropriately depending on the configuration of the system.

#### **B.2 Terms and definitions for regenerative indices**

##### **B.2.1**

##### **power source subsystem**

any constituent of a series hybrid system the primary activity of which is to supply power to other parts of the system

Note 1 to entry: An ESS can be viewed both as power source and power sink under different context.

##### **B.2.2**

##### **power sink subsystem**

any constituent of a series hybrid system the primary activity of which is to receive power from other parts of the system and consume it to fulfil any specific purpose

Note 1 to entry: See note to entry B.2.1.

##### **B.2.3**

##### **supplied energy**

<power source subsystem in a series hybrid system> amount of energy transmitted from the power source subsystem to other parts of the system during a specified operational pattern

<power sink subsystem in a series hybrid system> amount of energy transmitted from other parts of the system to the power sink subsystem during a specified operational pattern

<railway vehicle using contact lines> amount of energy transmitted from the contact lines to the vehicle during a specified operational pattern

**B.2.4****regenerated energy**

<power source subsystem in a series hybrid system> amount of energy transmitted from other parts of the system to the power source subsystem during a specified operational pattern

<power sink subsystem in a series hybrid system> amount of energy transmitted from the power sink subsystem to other parts of the system during a specified operational pattern

<railway vehicle using contact lines> amount of energy transmitted from the vehicle to the contact line during a specified operational pattern

**B.2.5****consumed energy**

amount of energy obtained by subtracting regenerated energy from supplied energy

**B.2.6****regenerative efficiency**

ratio of regenerated energy to supplied energy

**B.3 Energy-related performance indices of the series hybrid systems****B.3.1 General**

In evaluating the energy efficiency of the series hybrid systems, the most important performance index is the energy consumption, as defined in 3.1.8.

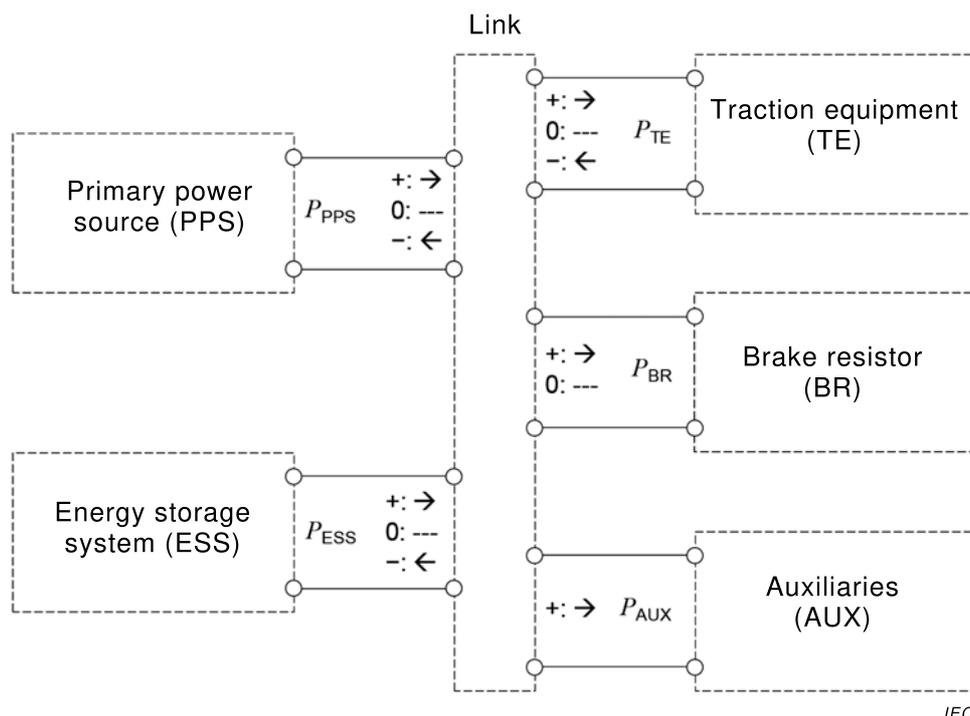
Other performance indices, such as supplied, regenerated and/or consumed energy of each subsystem in the series hybrid system and/or of the whole series hybrid system, regenerative efficiency, of the traction equipment and/or of the whole series hybrid system, etc. can be used and should be considered where appropriate.

The possible objectives of the indices defined in this annex include, but are not limited to the investigation into the contribution of each of the subsystems in a hybrid system to energy saving.

**B.3.2 Measuring locations**

In the calculation of indices described in this annex, it is necessary to measure power flows between the link block and the subsystems in the hybrid system. In the example configuration of Figure B.1, these power flows are shown as  $P_{PPS}$ ,  $P_{ESS}$ ,  $P_{TE}$ ,  $P_{BR}$  and  $P_{AUX}$ .

NOTE Inevitably, there are losses in the link block of Figure B.1. However, these losses are generally small and therefore ignored in the following parts of this annex.



**Key**

- $P_{PPS}$  Power of primary power source (PPS)
- $P_{TE}$  Power of traction equipment (TE)
- $P_{ESS}$  Power of energy storage system (ESS)
- $P_{BR}$  Power of brake resistor (BR)
- $P_{AUX}$  Power of auxiliaries (AUX)

**Figure B.1 – Example block diagram of a series hybrid system**

In addition to these, it is necessary to measure the following:

- for the vehicle powered by the contact line, the electric power taken in by the vehicle through current collectors; and
- for the vehicle powered by the PPS that consumes fuel or gas, the consumption of fuel or gas by flow meters.

As stated in 8.6.2.4, measurements shall be taken at the terminals linking each subsystem and the link block in Figure B.1.

**B.3.3 Class of primary power source**

For the convenience of the description in this annex, the primary power sources in the hybrid system can be classified into the following two classes:

- Class 0: the primary power source that either:
  - has no ability to absorb regenerative power; or
  - can absorb and dissipate regenerative power but has no ability to reuse the returned energy.
- Class 1: the primary power source that can absorb regenerative power and reuse the returned energy effectively.

Out of the examples in Clause 4, diesel-electric PPS and fuel-cell PPS are categorized in Class 0, and contact line PPS is categorized in Class 1.

### B.3.4 Energy consumption

#### B.3.4.1 Energy consumption by traction equipment

The supplied, regenerated and consumed energy of the traction equipment in Figure B.1 can be expressed by the following equations:

$$E_{S,TE} = \int_{t=T_S}^{T_E} \max(P_{TE}(t), 0) dt \quad (B.1)$$

$$E_{R,TE} = \int_{t=T_S}^{T_E} \max(-P_{TE}(t), 0) dt \quad (B.2)$$

$$E_{C,TE} = E_{S,TE} - E_{R,TE} \quad (B.3)$$

where  $E_{S,TE}$ ,  $E_{R,TE}$  and  $E_{C,TE}$  are supplied, regenerated and consumed energy of the traction equipment,  $t$  is time,  $P_{TE}(t)$  is  $P_{TE}$  as denoted in Figure 3 at time  $t$ ,  $T_S$  and  $T_E$  are the start and end times of the operational pattern given as the condition of evaluation, and  $\max(a, b)$  equals to  $a$  if  $a > b$  and  $b$  otherwise. Similar definitions can be done to the supplied, regenerated and consumed energy of other subsystems in the series hybrid system, or the series hybrid system as a whole (especially the series hybrid systems for contact line powered vehicles).

#### B.3.4.2 Energy consumption at current collectors

For contact line powered railway vehicles (including vehicles without hybrid systems), the supplied and returned energy at the current collectors (e.g. pantographs if the contact line is the overhead line) can be expressed by the following equations:

$$E_{S,CC} = \int_{t=T_S}^{T_E} \max(P_{CC}(t), 0) dt \quad (B.4)$$

$$E_{R,CC} = \int_{t=T_S}^{T_E} \max(-P_{CC}(t), 0) dt \quad (B.5)$$

$$E_{C,CC} = E_{S,CC} - E_{R,CC} \quad (B.6)$$

where  $t$ ,  $T_S$ ,  $T_E$  and  $\max(a, b)$  are same as in B.3.4.1,  $E_{S,CC}$ ,  $E_{R,CC}$  and  $E_{C,CC}$  are supplied, regenerated and consumed energy at the current collector, and  $P_{CC}(t)$  is the power input at the current collector (when  $P_{CC} < 0$  then the power is flowing back from the vehicle to the contact line) at time  $t$ .

It should be noted that the sign (+, 0 or -) of the power supplied to the traction equipment  $P_{TE}$  and the sign of  $P_{CC}$  do not always coincide, even for non-hybrid vehicles.

In evaluating this, if there is an onboard ESS, its SOC and/or the SOE shall be equal at times  $t = T_S$  and  $t = T_E$ , as specified in 8.6.2.5.

### B.3.4.3 Electric energy consumption of the hybrid system

The supplied and returned electric energy of the primary power source in the hybrid system can be expressed by the following equations:

$$E_{S,PPS} = \int_{t=T_S}^{T_E} \max(P_{PPS}(t),0)dt \quad (B.7)$$

$$E_{R,PPS} = \int_{t=T_S}^{T_E} \max(-P_{PPS}(t),0)dt \quad (B.8)$$

$$E_{C,PPS} = E_{S,PPS} - E_{R,PPS} \quad (B.9)$$

where  $t$ ,  $T_S$ ,  $T_E$  and  $\max(a, b)$  are same as in B.3.4.1,  $E_{S,PPS}$ ,  $E_{R,PPS}$  and  $E_{C,PPS}$  are supplied, regenerated and consumed electric energy at the primary power source, and  $P_{PPS}(t)$  is  $P_{PPS}$  as denoted in Figure B.1 at time  $t$ .

In evaluating this, if there is an onboard ESS, its SOC and/or the SOE shall be equal at times  $t = T_S$  and  $t = T_E$ , as specified in 8.6.2.5.

If the primary power source is Class 1 according to the definition in B.3.3, then the electric energy consumption of the hybrid system is equal to  $E_{C,PPS}$  defined in equation (B.9).

If the primary power source is Class 0 according to the definition in B.3.3, then the electric energy consumption of the hybrid system is equal to  $E_{S,PPS}$  defined in equation (B.7).

### B.3.4.4 Losses in the ESS

Considering an ESS as the power sink subsystem, its supplied, regenerated and consumed energy can be expressed by the following equations:

$$E_{S,ESS} = \int_{t=T_S}^{T_E} \max(-P_{ESS}(t),0)dt \quad (B.10)$$

$$E_{R,ESS} = \int_{t=T_S}^{T_E} \max(P_{ESS}(t),0)dt \quad (B.11)$$

$$E_{C,ESS} = E_{S,ESS} - E_{R,ESS} \quad (B.12)$$

where  $t$ ,  $T_S$ ,  $T_E$  and  $\max(a, b)$  are the same as in B.3.4.1,  $E_{S,ESS}$ ,  $E_{R,ESS}$  and  $E_{C,ESS}$  are the supplied, regenerated and consumed energy of the ESS, and  $P_{ESS}(t)$  is the  $P_{ESS}$  as denoted in Figure B.1 at time  $t$ . The  $E_{C,ESS}$  as defined here shows the losses within the ESS during the given operational pattern.

In evaluating this, the SOC and/or the SOE of the ESS shall be equal at times  $t = T_S$  and  $t = T_E$ , as specified in 8.6.2.5.

### B.3.5 Regenerative efficiency

#### B.3.5.1 General

The appropriate definition of regenerative efficiency of a hybrid system as a whole depends on its configuration.

Regenerative efficiency may become greater than 100 % depending on the operational pattern, e.g. when the vehicle is descending the slope.

#### B.3.5.2 Regenerative efficiency of the traction equipment

The regenerative efficiency of the traction equipment  $RE_{TE}$  in % can be expressed by the following equation:

$$RE_{TE} = \frac{E_{R,TE}}{E_{S,TE}} \times 100 \quad (\text{B.13})$$

where  $E_{S,TE}$  and  $E_{R,TE}$  are as defined in B.3.4.1.

#### B.3.5.3 Regenerative efficiency of the contact line powered vehicle

The regenerative efficiency of the contact line powered vehicle (including non-hybrid vehicles)  $RE_{CC}$  in % can be expressed by the following equation:

$$RE_{CC} = \frac{E_{R,CC}}{E_{S,CC}} \times 100 \quad (\text{B.14})$$

where  $E_{S,CC}$  and  $E_{R,CC}$  are as defined in B.3.4.4.

It should be noted that the  $RE_{CC}$  of the hybrid vehicle (vehicle with onboard ESS) is generally lower than that of the non-hybrid vehicle (vehicle without onboard ESS) running under the same operational pattern.

NOTE In evaluating this, if there is an onboard ESS, its SOC and/or the SOE is considered to be balanced as described above.

#### B.3.5.4 Regenerative efficiency of the hybrid system

The generic definition of regenerative efficiency can be given as follows, using the concept of the Class of primary power source defined in B.3.3.

For hybrid systems powered by Class 1 PPS, their regenerative efficiency  $RE_1$  in % can be given as follows:

$$RE_1 = \frac{E_{R,TE} - E_{S,BR}}{E_{S,TE}} \times 100 \quad (\text{B.15})$$

where  $E_{S,TE}$  and  $E_{R,TE}$  are as defined in B.3.4.1, and  $E_{S,BR}$  is as defined in the following equation:

$$E_{S,BR} = \int_{t=T_S}^{T_E} P_{BR}(t) dt \quad (\text{B.16})$$

For hybrid systems powered by Class 0 PPS, their regenerative efficiency  $RE_0$  in % can be given as follows:

$$RE_0 = \frac{E_{R,TE} - E_{R,PPS} - E_{S,BR}}{E_{S,TE}} \times 100 \quad (\text{B.17})$$

where  $E_{S,TE}$  and  $E_{R,TE}$  are as defined in B.3.4.1,  $E_{S,BR}$  is as defined above in Equation (B.16), and  $E_{R,PPS}$  is as defined in B.3.4.3.

NOTE In evaluating this, if there is an onboard ESS, its SOC and/or the SOE is considered to be balanced as described above.

## **Annex C** (informative)

### **Laws and regulations for fire protection applicable for this standard**

#### **C.1 General**

Laws and regulations for fire protection in some countries are listed as below.

The list is for information only.

#### **C.2 China**

GB 6771-2000, *Regulations relating to fire preventive and fighting measures for electric locomotives*

#### **C.3 Europe**

EN 45545, *Railway applications — Fire protection on railway vehicles*

#### **C.4 Japan**

Ministerial Ordinance and its approved specification of Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism

*Chapter 8. Rolling Stock*

*Section 5. Fire Prevention Measures for Rolling Stock, Article 83 – Article 85.*

*Section 6. Rolling Stock Facilities for One Man Operation, Article 86*

*Chapter 10. Train Operation*

*Section 2. Train Operation, Article 108.*

#### **C.5 Russia**

VNPB – 03, *Passenger Cars. Fire Safety Requirements, GOST*

#### **C.6 United states of America**

NFPA 130, *Standard for Fixed Guideway Transit and Passenger Rail Systems*

**Annex D**  
(informative)

**List of subclauses requiring agreement  
between the user and the manufacturer**

The agreements needed between the user and the manufacturer in this standard are listed in Table D.1.

In this standard four levels of the test are specified. Depending on the level, the user may be the purchaser.

**Table D.1 – List of subclauses requiring agreement  
between the user and the manufacturer (1 of 2)**

<b>Subclause</b>	<b>Title</b>	<b>Comment</b>
3.1.15	End of life	Required functionality or operational pattern
5.3	Temperature	Requirements of pre-heating or pre-cooling
6.1.1.2	Other accelerations	Requirements under transverse and longitudinal accelerations
6.3.1	External charge and discharge function	Specifications for the external charge and discharge function
6.5	Degraded mode	Concept for the degraded mode
6.7	Lifetime requirements	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Lifetime determination and modelling of the ESU</li> <li>– EOL for EDLC and parameters</li> </ul>
6.8	Additional requirement for noise emission of hybrid system	Specific noise emission requirement
7.2	Type test	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Decision on whether to conduct the type test or conduct only part of that test</li> <li>– Omitting the type test</li> <li>– Applying simulation results</li> </ul>
7.3	Optional test	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Optional test</li> <li>– Acceptance criteria for the system</li> </ul>
7.4	Routine test	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Routine tests</li> <li>– Adoption of an alternative test procedure</li> </ul>
7.5	Test categories	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Special requirements</li> <li>– Location of the tests</li> <li>– Conducting optional" type tests</li> </ul>
7.6	Acceptance criteria	Specifications
8.3.1	ESS charge/discharge control function	Requirements of charging and discharging of the ESS
8.3.2	External charge test	Starting temperature and cooling conditions
8.3.4	Degraded mode test	Specific operating range under the degraded mode
8.3.5	SOC/SOE test	Acceptance criteria
8.6.1	General	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Applying simulation results</li> <li>– Acceptance criteria of energy consumption including the ESS</li> <li>– Using IEC 62888 series for field tests</li> </ul>

**Table D.1** (2 of 2)

<b>Subclause</b>	<b>Title</b>	<b>Comment</b>
8.6.2.1	General	Measurements of some components
8.6.2.4	Measurement locations	Measurement for the components
8.6.2.5	Measurement	Operational pattern and load conditions
8.6.3.1	Determination of fuel consumption	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Operational patterns and load conditions</li> <li>– Actual fuel consumption measured in the fuel tank, or through the conversion of data obtained by monitoring</li> </ul>
8.6.3.2	Determination of the exhaust gas emission levels	Actual measurement or through the conversion of data
8.7.1	General	Applying simulation results
8.8.1	General	Using of component level tests or reliable test results of the existing system
8.8.2	Low-temperature operation test	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Partial subsystem test</li> <li>– Test method due to restrictions of the testing infrastructure</li> </ul>
8.8.3	High-temperature operation test	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Partial subsystem test</li> <li>– Test method due to restrictions of the testing infrastructure</li> </ul>
8.9	Short-circuit protection test	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Proper means of short-circuiting</li> <li>– Protection concept</li> <li>– Test method due to possibility of damage to the test bench facilities</li> </ul>
8.10	ESU endurance test	Applying simulation results
9.1	General	Applying simulation results
9.4	Drive system energy consumption measurement	Operational patterns and load conditions
9.8	Determination of acoustic noise emission	Noise measurement of component or subsystem at component test or at bench test
A.1.4	Usable energy	Duty cycle

## Bibliography

IEC 60076-10, *Power transformers – Part 10: Determination of sound levels*

IEC 60077-1, *Railway applications – Electric equipment for rolling stock – Part 1: General service conditions and general rules*

IEC 60216-5, *Electrical insulating materials – Thermal endurance properties – Part 5: Determination of relative thermal endurance index (RTE) of an insulating material*<sup>1</sup>

IEC 60254-1:2005, *Lead-acid traction batteries – Part 1: General requirements and methods of test*

IEC 60254-2:2008, *Lead-acid traction batteries – Part 2: Dimensions of cells and terminals and marking of polarity on cells*

IEC 60310, *Railway applications – Traction transformers and inductors on board rolling stock*

IEC 60571, *Railway applications – Electronic equipment used on rolling stock*

IEC 60721-3-5, *Classification of environmental conditions – Part 3: Classification of groups of environmental parameters and their severities – Section 5: Ground vehicle installations*

IEC 60850, *Railway applications – Supply voltages of traction systems*

IEC 62236-3-1, *Railway applications – Electromagnetic compatibility – Part 3-1: Rolling stock – Train and complete vehicle*

IEC 62236-3-2, *Railway applications – Electromagnetic compatibility – Part 3-2: Rolling stock – Apparatus*

IEC 62278, *Railway applications – Specification and demonstration of reliability, availability, maintainability and safety (RAMS)*

IEC 62497-1, *Railway applications – Insulation coordination – Part 1: Basic requirements – Clearances and creepage distances for all electrical and electronic equipment*

IEC 62619, *Secondary cells and batteries containing alkaline or other non-acid electrolytes – Safety requirements for secondary lithium cells and batteries, for use in industrial applications*<sup>2</sup>

IEC 62620, *Secondary cells and batteries containing alkaline or other non-acid electrolytes – Secondary lithium cells and batteries for use in industrial applications*

IEC 62888 (all parts), *Railway applications – Energy measurement on board trains*<sup>3</sup>

IEC 62888-2, *Railway applications – Energy measurement on board trains – Part 2: Energy measuring*<sup>4</sup>

---

<sup>1</sup> This publication was withdrawn.

<sup>2</sup> Under consideration.

<sup>3</sup> Under consideration.

<sup>4</sup> Under consideration.

IEC 62928, *Railway applications – Rolling stock equipment – Onboard lithium-ion traction batteries*<sup>5</sup>

IEC 62973, *Railway applications – Batteries for auxiliary power supply systems*<sup>6</sup>

ISO 6469-3:2001, *Electric road vehicles – Safety specifications – Part 3: Protection of persons against electric hazards*

ISO 12405-1:2011, *Electrically propelled road vehicles – Test specification for lithium-ion traction battery packs and systems – Part 1: High-power applications*

ISO 23274:2007, *Hybrid-electric road vehicles – Exhaust emissions and fuel consumption measurements – Non-externally chargeable vehicles*

ISO 23828:2013, *Fuel cell road vehicles – Energy consumption measurement – Vehicles fuelled with compressed hydrogen*

EN 1986-2:2001, *Electrically propelled road vehicles – Measurement of energy performances – Part 2: Thermal electric hybrid vehicles*

EN 45545 (all parts), *Railway applications – Fire protection on railway vehicles*

EN 50547:2013, *Railway applications – Batteries for auxiliary power supply systems*

CLC/TS 50591:2013, *Specification and verification of energy consumption for railway rolling stock*

---

<sup>5</sup> Under consideration.

<sup>6</sup> Under consideration.

## SOMMAIRE

AVANT-PROPOS.....	64
INTRODUCTION.....	66
1 Domaine d'application.....	68
2 Références normatives .....	69
3 Termes, définitions et abréviations.....	70
3.1 Termes et définitions.....	70
3.2 Abréviations.....	73
4 Configuration de la source d'énergie des systèmes hybrides.....	73
4.1 Généralités .....	73
4.1.1 Vue d'ensemble .....	73
4.1.2 Exigences relatives à la configuration système .....	74
4.1.3 Modes de fonctionnement principaux du système hybride série.....	76
4.1.4 Configuration type des systèmes hybrides série.....	78
4.2 Exemples d'applications .....	78
4.2.1 Véhicules diesel électriques .....	78
4.2.2 Véhicules à pile à combustible .....	80
4.2.3 Véhicules alimentés par une ligne de contact à courant continu: raccordement en parallèle de l'ESS.....	80
4.2.4 Véhicules alimentés par une ligne de contact à courant continu: raccordement en série de l'ESS.....	82
4.3 Performances des systèmes hybrides série .....	83
4.3.1 Amélioration de l'efficacité.....	83
4.3.2 Amplification des performances de traction.....	85
4.3.3 Exploitation en mode dégradé .....	87
5 Conditions d'environnement.....	88
5.1 Généralités .....	88
5.2 Altitude .....	88
5.3 Température .....	88
6 Exigences fonctionnelles et système .....	89
6.1 Exigences mécaniques.....	89
6.1.1 Contrainte mécanique .....	89
6.1.2 Protection contre les influences environnementales externes.....	89
6.2 Exigence de régulation.....	89
6.3 Exigence électrique.....	90
6.3.1 Fonction de charge et décharge externe.....	90
6.3.2 Exploitation avec le système de stockage de l'énergie seul.....	90
6.4 Exigence de déconnexion.....	90
6.5 Mode dégradé.....	90
6.6 Exigences de sécurité .....	90
6.6.1 Protection contre les dangers électriques .....	90
6.6.2 Comportement au feu et protection contre les incendies .....	90
6.6.3 Protection contre les autres impacts .....	90
6.6.4 Protection contre les courts-circuits.....	90
6.7 Exigences relatives à la durée de vie.....	91
6.8 Exigence supplémentaire relative aux émissions sonores dans le cas d'un système hybride.....	91

7	Types d'essais.....	91
7.1	Généralités .....	91
7.2	Essai de type .....	92
7.3	Essai facultatif .....	92
7.4	Essai individuel de série.....	92
7.5	Catégories d'essais .....	92
7.6	Critères d'acceptation.....	94
8	Essais combinés.....	95
8.1	Généralités .....	95
8.2	Conditions d'essai .....	95
8.3	Régulation de l'ESS .....	95
8.3.1	Fonction de régulation de charge/décharge de l'ESS .....	95
8.3.2	Essai de charge externe.....	95
8.3.3	Essai de déconnexion .....	95
8.3.4	Essai en mode dégradé.....	95
8.3.5	Essai de détermination du SOC/SOE.....	95
8.4	Couple de sortie.....	96
8.4.1	Essai de balayage de vitesse sous couple à pleine charge.....	96
8.4.2	Essai de couple de sortie avec le système de stockage de l'énergie seul .....	96
8.5	Essai de séquence du système.....	96
8.6	Efficacité énergétique et consommation d'énergie .....	97
8.6.1	Généralités .....	97
8.6.2	Mesure de l'efficacité énergétique et de la consommation d'énergie .....	98
8.6.3	Détermination de la consommation de combustible et des niveaux d'émission de gaz d'échappement (dans le cas d'un moteur thermique ou d'une pile à combustible) .....	99
8.7	Durée de marche du véhicule sur l'ESS .....	100
8.7.1	Généralités .....	100
8.7.2	Mesure de durée de l'ESS.....	100
8.8	Essai d'environnement .....	100
8.8.1	Généralités .....	100
8.8.2	Essai d'exploitation à basse température .....	100
8.8.3	Essai d'exploitation à haute température .....	100
8.9	Essai de protection contre les courts-circuits .....	101
8.10	Essai d'endurance de l'ESU.....	101
9	Essai du véhicule .....	101
9.1	Généralités .....	101
9.2	Essai de déconnexion de l'ESS .....	101
9.3	Essai de séquence du véhicule.....	102
9.4	Mesure de la consommation d'énergie du système de propulsion .....	103
9.5	Détermination de la consommation de combustible et des niveaux d'émission de gaz d'échappement (dans le cas d'un moteur thermique ou d'une pile à combustible).....	103
9.5.1	Détermination de la consommation de combustible .....	103
9.5.2	Détermination des niveaux d'émission de gaz d'échappement.....	103
9.6	Mesure de la consommation d'énergie du circuit auxiliaire.....	103
9.7	Durée de marche du véhicule sur l'ESS .....	103
9.8	Détermination des émissions acoustiques.....	103
Annexe A (informative) État de charge (SOC) et état d'énergie (SOE) pour les batteries et les condensateurs.....		104

A.1	Teneur en capacité et en énergie .....	104
A.1.1	Généralités .....	104
A.1.2	Énergie théorique.....	105
A.1.3	Énergie assignée .....	105
A.1.4	Énergie utilisable .....	105
A.2	Teneur en SOC et en SOE .....	106
A.2.1	Généralités .....	106
A.2.2	Contexte théorique.....	106
A.2.3	Contexte courant.....	107
A.2.4	Contexte effectif ou pratique.....	107
A.2.5	Coefficient d'utilisation .....	107
Annexe B (informative)	Termes et définitions relatifs à l'énergie.....	109
B.1	Généralités .....	109
B.2	Termes et définitions relatifs aux indices de récupération.....	109
B.3	Indices de performances énergétiques des systèmes hybrides série.....	110
B.3.1	Généralités .....	110
B.3.2	Emplacements de mesure .....	110
B.3.3	Classe de la source d'alimentation primaire .....	111
B.3.4	Consommation d'énergie .....	112
B.3.5	Efficacité de récupération.....	114
Annexe C (informative)	Lois et réglementations en matière de protection contre les incendies applicables à la présente norme .....	116
C.1	Généralités .....	116
C.2	Chine.....	116
C.3	Europe.....	116
C.4	Japon .....	116
C.5	Russie .....	116
C.6	États-Unis d'Amérique.....	116
Annexe D (informative)	Liste des paragraphes soumis à un accord entre l'exploitant et le constructeur.....	117
Bibliographie	.....	119
Figure 1	– Hiérarchie des normes associées à l'IEC 62864-1 .....	67
Figure 2	– Diagramme fonctionnel d'un système hybride série .....	76
Figure 3	– Exemple de configuration d'un système hybride série où tous les sous-composants du circuit principal sont connectés à la liaison en courant continu commune.....	78
Figure 4	– Système hybride série équipant des véhicules diesel électrique .....	79
Figure 5	– Système hybride série équipant des véhicules à pile à combustible .....	80
Figure 6	– Système hybride série équipant des véhicules alimentés par une ligne de contact avec raccordement en parallèle de l'ESS.....	81
Figure 7	– Système hybride série équipant des véhicules alimentés par une ligne de contact avec raccordement en série de l'ESS .....	82
Figure 8	– Système de propulsion diesel électrique (sans ESS) .....	84
Figure 9	– Système de propulsion alimenté par une ligne de contact (sans ESS).....	85
Figure 10	– Amplification des performances de traction grâce à l'ESS embarqué .....	87
Figure 11	– Exemple de performances en mode dégradé par l'ESS embarqué .....	88
Figure A.1	– Différence de teneur en capacité et en énergie .....	104

Figure B.1 – Exemple de diagramme fonctionnel d'un système hybride série.....	111
Tableau 1 – Modes de fonctionnement principaux du système hybride série.....	77
Tableau 2 – Liste des essais.....	93
Tableau D.1 – Liste des paragraphes soumis à un accord entre l'exploitant et le constructeur .....	117

# COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

## APPLICATIONS FERROVIAIRES – MATÉRIEL ROULANT – ALIMENTATION ÉQUIPÉE D'UN SYSTÈME EMBARQUÉ DE STOCKAGE DE L'ÉNERGIE –

### Partie 1: Système hybride série

#### AVANT-PROPOS

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

La Norme internationale IEC 62864-1 a été établie par le comité d'études 9 de l'IEC: Matériels et systèmes électriques ferroviaires.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
9/2154/FDIS	9/2176/RVD

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

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

Une liste de toutes les parties de la série IEC 62864, publiées sous le titre général *Applications ferroviaires – Matériel roulant – Alimentation équipée d'un système embarqué de stockage de l'énergie*, peut être consultée sur le site web de l'IEC.

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

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

## INTRODUCTION

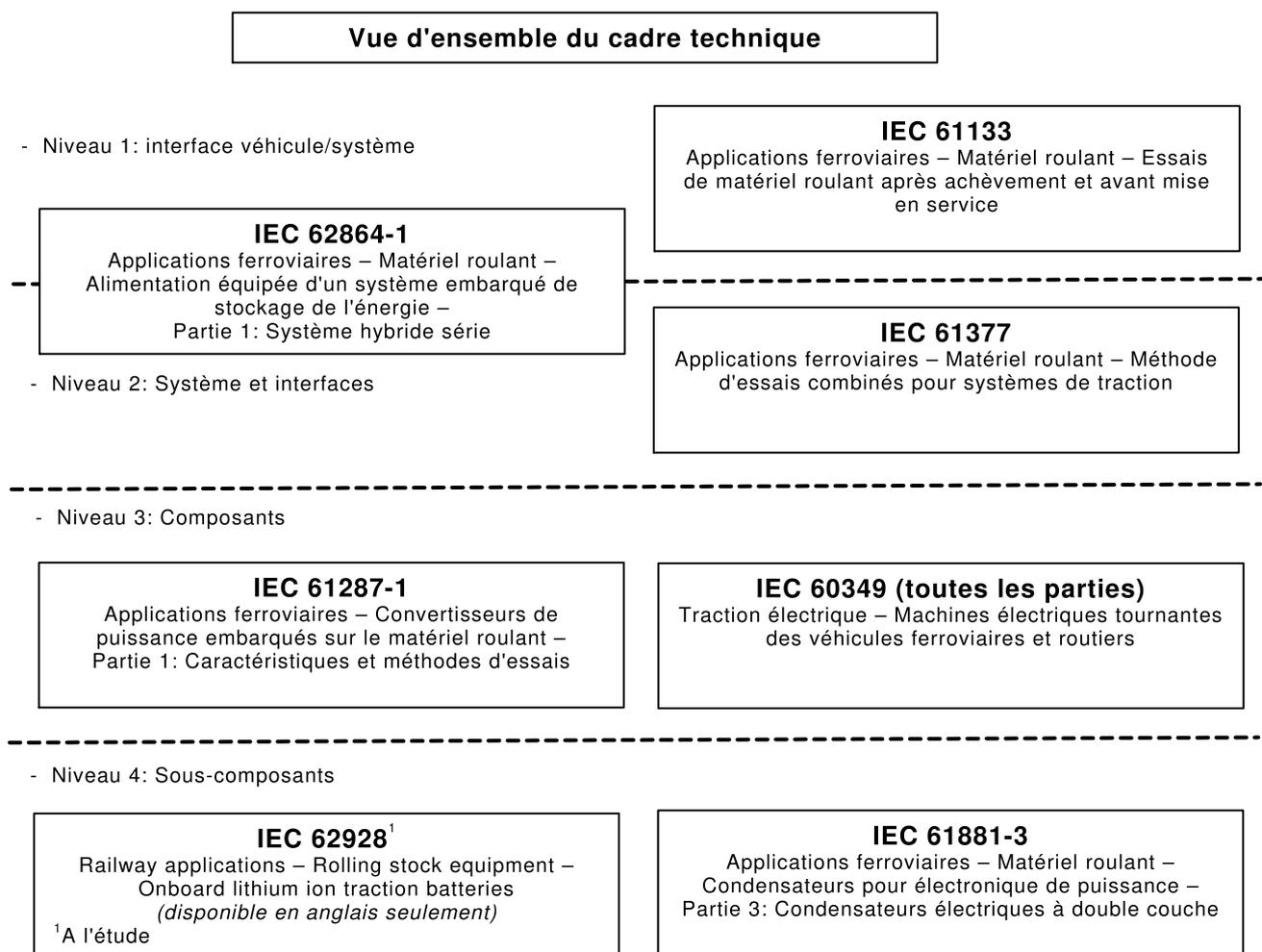
Face à la diminution des sources d'énergie à base de combustibles fossiles, il existe un besoin croissant en faveur d'une utilisation efficace de l'énergie et d'une réduction des émissions (p. ex.: CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, PM, etc.) qui contribuent au changement climatique à l'échelle mondiale. Il convient que le réseau de chemins de fer, qui est essentiellement un réseau de transport écoénergétique, satisfasse également à ces exigences. Outre les économies d'énergie, il est nécessaire de réduire la puissance de crête, de stabiliser la tension et de pouvoir circuler sans puiser de la puissance dans les zones à environnement visuel protégé, mais également de pouvoir circuler de manière à atteindre la prochaine station en toute sécurité dans l'éventualité d'une panne d'alimentation électrique à bord du véhicule ou au niveau du système d'alimentation. Pour répondre à ces problèmes, des systèmes hybrides sont en train de faire leur apparition dans les véhicules ferroviaires. Ces véhicules hybrides sont équipés d'un système de stockage de l'énergie qui permet une utilisation efficace de l'énergie de récupération. Il convient qu'un système hybride doive améliorer l'efficacité énergétique en procédant à une régulation active du flux de puissance au sein du moteur thermique ou du système d'alimentation, du système auxiliaire d'alimentation, de traction et de freinage, du système de stockage de l'énergie, etc.

L'introduction de systèmes hybrides a notamment pour objet:

- la diminution de la consommation d'énergie;
- l'amélioration des performances des véhicules;
- l'aptitude du véhicule à circuler en utilisant l'énergie stockée embarquée; et
- l'amélioration des caractéristiques d'environnement.

L'objectif de la présente norme est d'établir la configuration fondamentale du système pour les systèmes hybrides série (raccordés électriquement) et les essais visant à vérifier l'utilisation efficace de l'énergie, mais également à fournir aux exploitants et constructeurs ferroviaires les lignes directrices relatives à la fabrication et à l'évaluation des systèmes hybrides.

La hiérarchie des normes applicables aux systèmes hybrides est résumée à la Figure 1. Les normes répertoriées dans la Figure 1 ne sont pas exhaustives.



IEC

**Figure 1 – Hiérarchie des normes associées à l'IEC 62864-1**

Dans la présente norme, le système hybride possède les quatre niveaux de hiérarchie suivants:

- a) l'interface véhicule/système (niveau 1);
- b) les systèmes et interfaces (niveau 2);
- c) les composants (niveau 3); et
- d) les sous-composants (niveau 4).

Les niveaux sont décrits de manière approfondie en 7.1.

Par exemple, le sous-composant (niveau 4) est un élément, un module, etc. (pour la batterie, le sous-composant est défini dans l'IEC 62620).

# APPLICATIONS FERROVIAIRES – MATÉRIEL ROULANT – ALIMENTATION ÉQUIPÉE D'UN SYSTÈME EMBARQUÉ DE STOCKAGE DE L'ÉNERGIE –

## Partie 1: Système hybride série

### 1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 62864 s'applique aux systèmes hybrides série (raccordés électriquement) équipés d'un système embarqué de stockage de l'énergie (ci-après dénommé le système hybride).

Un système hybride comporte au moins deux sources d'énergie, dont un système embarqué de stockage de l'énergie (ESS), afin de réunir les caractéristiques suivantes en combinant un convertisseur et des moteurs et en procédant à une régulation de la gestion d'énergie:

- amélioration de l'efficacité énergétique et du rendement du combustible, amélioration des caractéristiques d'accélération, amélioration de la distance de marche et marche ininterrompue en cas de perte de la source d'alimentation primaire (PPS), en utilisant un ESS en plus de la source d'alimentation primaire dans des conditions où la puissance et la capacité de la source d'énergie (notamment l'énergie de récupération) sont limitées, ce qui permet ainsi de réduire le plus possible ces limitations;
- réduction de la consommation de combustible, réduction des émissions (p. ex.: CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, PM, etc.);
- diminution de l'impact sur l'environnement (p. ex.: obstruction visuelle, bruit, etc.).

Par extension, les systèmes ne comportant qu'un ESS embarqué, sans autres PPS, sont également pris en compte dans la présente norme.

La présente norme vise à spécifier la liste suivante d'exigences fondamentales, de caractéristiques, de fonctions et de méthodes d'essai relatives aux systèmes hybrides:

- la gestion de l'énergie afin de réguler le flux de puissance au sein de la source d'alimentation primaire, du système de stockage de l'énergie et des convertisseurs de puissance;
- la consommation d'énergie, l'efficacité énergétique et l'énergie régénérée;
- les caractéristiques du véhicule obtenues par le système de stockage de l'énergie;
- les méthodes d'essai pour l'essai combiné; et
- les méthodes d'essai des véhicules après achèvement (véhicules montés) selon des essais réalisés en usine (stationnaires) et sur le terrain (en marche).

NOTE Dans la présente norme, le convertisseur signifie l'équipement combiné constitué d'un ou de plusieurs convertisseurs (p. ex.: redresseur, onduleur, hacheur, etc.).

Les interfaces entre les sources d'énergie suivantes sont couvertes:

- le système d'alimentation électrique externe;
- les ESS embarqués (y compris le stockage embarqué de l'énergie pur);
- la pile à combustible, la génératrice diesel électrique; et
- les autres sources d'énergie.

En ce qui concerne la combinaison d'onduleurs et de moteurs, la présente norme s'applique aux moteurs synchrones ou asynchrones qui sont alimentés par des onduleurs à source de tension.

Les systèmes à source d'énergie et la combinaison d'onduleurs et de moteurs ne se limitent pas aux éléments mentionnés ci-avant, mais la présente norme peut également s'appliquer aux systèmes futurs.

La présente partie de l'IEC 62864 couvre les systèmes raccordés électriquement (hybrides série), mais pas les systèmes qui transmettent la force motrice de manière mécanique (hybrides parallèles).

## 2 Références normatives

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

IEC 60050-811, *Vocabulaire Électrotechnique International (VEI) – Chapitre 811: Traction électrique*

IEC 60349-2, *Traction électrique – Machines électriques tournantes des véhicules ferroviaires et routiers – Partie 2: Moteurs à courant alternatif alimentés par convertisseurs électroniques*

IEC 60349-4, *Traction électrique – Machines électriques tournantes des véhicules ferroviaires et routiers – Partie 4: Machines électriques synchrones à aimants permanents connectées à un convertisseur électronique*

IEC 60529, *Degrés de protection procurés par les enveloppes (Code IP)*

IEC 61133:2016, *Applications ferroviaires – Matériel roulant – Essais de matériel roulant après achèvement et avant mise en service*

IEC 61287-1, *Applications ferroviaires – Convertisseurs de puissance embarqués sur le matériel roulant – Partie 1: Caractéristiques et méthodes d'essais*

IEC 61373, *Applications ferroviaires – Matériel roulant – Essais de chocs et vibrations*

IEC 61377:2016, *Applications ferroviaires – Matériel roulant – Méthode d'essais combinés pour systèmes de traction*

IEC 61881-3, *Applications ferroviaires – Matériel roulant – Condensateurs pour électronique de puissance – Partie 3: Condensateurs électriques à double couche*

IEC 61991, *Applications ferroviaires – Matériel roulant – Dispositions de protection contre les dangers électriques*

IEC 62262, *Degrés de protection procurés par les enveloppes de matériels électriques contre les impacts mécaniques externes (Code IK)*

IEC 62498-1:2010, *Applications ferroviaires – Conditions d'environnement pour le matériel – Partie 1: Équipement embarqué du matériel roulant*

### 3 Termes, définitions et abréviations

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions donnés dans l'IEC 60050-811, ainsi que les suivants s'appliquent.

#### 3.1 Termes et définitions

##### 3.1.1

##### **hybride**

système qui combine au moins deux types différents de composants à des fins spécifiques

Note 1 à l'article: Il existe une approche pour les applications sur matériel roulant concernant l'utilisation de plusieurs sources d'énergie motrice et de plusieurs sources de puissance électrique.

##### 3.1.2

##### **hybride parallèle**

système qui transmet la puissance de plusieurs sources d'énergie motrice aux roues

Note 1 à l'article: La force motrice provenant du moteur thermique et du moteur électrique est transférée aux roues par l'intermédiaire du système de transmission.

##### 3.1.3

##### **hybride**

##### **hybride série**

système qui entraîne le moteur fourni par l'intermédiaire du convertisseur de puissance aux fins de fonctionnement combiné de la puissance électrique provenant de plusieurs sources d'énergie

Note 1 à l'article: Les roues sont entraînées par la force motrice du moteur électrique seul.

##### 3.1.4

##### **véhicule hybride**

##### **véhicule à motorisation hybride**

véhicule qui peut stocker l'énergie dans un système de stockage embarqué de l'énergie (ESS) et qui est entraîné grâce à l'utilisation de l'énergie stockée et de la puissance électrique produite par une génératrice ou des lignes aériennes

##### 3.1.5

##### **sous-système <d'un système hybride série>**

élément d'un système hybride série

EXEMPLE Source d'alimentation primaire, système de stockage de l'énergie, équipement de traction.

##### 3.1.6

##### **composant <d'un système hybride série>**

élément d'un sous-système dans un système hybride série

EXEMPLE Convertisseur, moteur électrique, génératrice diesel électrique, unité de stockage de l'énergie (ESU).

##### 3.1.7

##### **sous-composant <d'un système hybride série>**

élément d'un composant dans un système hybride série

EXEMPLE Batterie lithium-ion, condensateur électrique à double couche.

##### 3.1.8

##### **consommation d'énergie**

consommation d'énergie totale de l'ensemble du véhicule pour une opération spécifiée (durée, distance, vitesse, etc.)

### 3.1.9

#### **consommation d'énergie spécifique**

consommation d'énergie pour une distance et un poids spécifiques

Note 1 à l'article: La valeur est obtenue en divisant la consommation d'énergie par la distance et le poids ou le nombre de véhicules. Cette valeur peut être exprimée, par exemple en kWh/(t·km), kWh/(voiture·km), kWh/(personne·km) ou kWh/(siège·km), etc.

Note 2 à l'article: Si une source d'énergie embarquée (p. ex.: génératrice à moteur diesel ou pile à combustible) est utilisée, l'unité peut être l/t·km, l/voiture·km, l/personne·km ou l/siège·km, etc. selon le type de combustible.

### 3.1.10

#### **source d'énergie**

équipement qui délivre de la puissance à une unité de traction et/ou une alimentation auxiliaire (APS) et/ou des systèmes de stockage de l'énergie (ESS) par l'intermédiaire d'un convertisseur

Note 1 à l'article: Les convertisseurs (tels que le hacheur d'une pile à combustible (FC.CH)) destinés à la production de puissance et les convertisseurs (tels que le hacheur d'un système de stockage de l'énergie (ESS.CH)) destinés aux unités/systèmes de stockage de l'énergie sont considérés comme des sources d'énergie, mais les convertisseurs de traction et les convertisseurs pour l'alimentation auxiliaire ne sont pas considérés comme des sources d'énergie.

### 3.1.11

#### **source d'alimentation primaire**

##### **PPS**

sous-système d'un système hybride série dont la fonction principale est d'alimenter en énergie électrique les autres sous-systèmes du système hybride série soit en consommant le combustible embarqué, soit en puisant l'énergie à partir de sources externes

Note 1 à l'article: L'abréviation "PPS" est dérivée du terme anglais développé correspondant "Primary Power Source".

### 3.1.12

#### **équipement de traction**

sous-système d'un système hybride série dont la fonction principale est de consommer l'énergie électrique et de produire un effort de traction afin de propulser le véhicule ferroviaire

### 3.1.13

#### **état de charge**

##### **SOC**

capacité de charge disponible, normalement exprimée en pourcentage de la capacité totale telle qu'elle est exprimée dans les normes applicables

Note 1 à l'article: Les définitions pratiques du terme "état de charge" dépendent des technologies retenues. Il s'applique aux batteries. Se reporter à l'Annexe A.

Note 2 à l'article: L'abréviation "SOC" est dérivée du terme anglais développé correspondant "State Of Charge".

### 3.1.14

#### **état d'énergie**

##### **SOE**

capacité d'énergie disponible, normalement exprimée en pourcentage de l'énergie totale telle qu'elle est exprimée dans les normes applicables

Note 1 à l'article: Les définitions pratiques du terme "état d'énergie" dépendent des technologies retenues. Il s'applique aux batteries et aux condensateurs. Se reporter à l'Annexe A.

Note 2 à l'article: L'abréviation "SOE" est dérivée du terme anglais développé correspondant "State Of Energy".

### **3.1.15**

#### **fin de vie**

##### **EOL**

point où l'unité de stockage de l'énergie (ESU) ne peut pas satisfaire à la fonctionnalité ou au schéma opérationnel exigé, initialement convenu entre l'exploitant et les constructeurs

Note 1 à l'article: L'abréviation "EOL" est dérivée du terme anglais développé correspondant "End Of Life".

### **3.1.16**

#### **début de vie**

##### **BOL**

point où l'unité de stockage de l'énergie (ESU) possède la capacité assignée ou l'énergie entièrement disponible au titre des performances minimales à la livraison par le constructeur

Note 1 à l'article: L'abréviation "BOL" est dérivée du terme anglais développé correspondant "Beginning Of Life".

### **3.1.17 Définition de la capacité**

#### **3.1.17.1**

##### **capacité**

charge électrique pouvant être délivrée par l'unité de stockage de l'énergie (ESU)

Note 1 à l'article: Dans le cas d'une batterie, la charge électrique est souvent exprimée en ampères-heure (A·h).

Note 2 à l'article: Dans le cas d'un condensateur, la charge électrique est souvent exprimée en coulombs (C).

Note 3 à l'article: La capacitance est mesurée en farads (F), qui correspond à la charge (C) divisée par la tension (U), et est différente de la capacité.

#### **3.1.17.2**

##### **capacité théorique**

capacité maximale disponible sans pertes

#### **3.1.17.3**

##### **capacité assignée**

capacité disponible mesurée selon une certaine condition de "régime assigné" telle qu'elle est exprimée dans la norme applicable

Note 1 à l'article: Se reporter à l'IEC 62928.

#### **3.1.17.4**

##### **capacité utilisable**

capacité restante disponible en fonction des applications

### **3.1.18 Définition de l'énergie**

#### **3.1.18.1**

##### **énergie théorique**

énergie maximale disponible sans pertes, stockée dans l'unité de stockage de l'énergie (ESU)

#### **3.1.18.2**

##### **énergie assignée**

énergie disponible mesurée selon une certaine condition de "régime assigné" telle qu'elle est exprimée dans la norme applicable

Note 1 à l'article: Les définitions pratiques du terme "énergie assignée" dépendent des technologies retenues.

#### **3.1.18.3**

##### **énergie utilisable**

énergie restante disponible en fonction des applications

**3.1.19****schéma opérationnel**

définition par l'exploitant et/ou les constructeurs visant à satisfaire aux besoins des opérations incluant les auxiliaires (p. ex.: cycle de service, charges auxiliaires, marge de sécurité de la teneur en énergie, mode dégradé, etc.)

**3.1.20****unité de stockage de l'énergie****ESU**

équipement physique constitué de technologies de stockage de l'énergie telles que des batteries, un condensateur électrique à double couche, un volant d'inertie, etc.

Note 1 à l'article: L'abréviation "ESU" est dérivée du terme anglais développé correspondant "Energy Storage Unit".

Note 2 à l'article: Se reporter aux normes applicables relatives aux différents composants.

**3.1.21****batterie**

unité de stockage de l'énergie (ESU), utilisée principalement à des fins de traction dans la présente norme

Note 1 à l'article: Le présent document ne couvre pas les batteries auxiliaires. Se reporter à l'IEC 62973.

**3.1.22****système de stockage de l'énergie****ESS**

système physique constitué d'une ou de plusieurs unités de stockage de l'énergie (ESU), ainsi que d'autres équipements exigés pour le raccordement à la liaison à courant continu (p. ex.: convertisseurs, systèmes de commande et de surveillance, bobines d'inductance, appareils de protection, systèmes de refroidissement, etc.)

Note 1 à l'article: L'abréviation "ESS" est dérivée du terme anglais développé correspondant "Energy Storage System".

**3.2 Abréviations**

APS (Auxiliary Power Supply)	Alimentation auxiliaire
AUX	Auxiliaires
BOL (Beginning Of Life)	Début de vie
EDLC (Electric Double-Layer Capacitor)	Condensateur électrique à double couche
EOL (End Of Life)	Fin de vie
ESU (Energy Storage Unit)	Unité de stockage de l'énergie
ESS (Energy Storage System)	Système de stockage de l'énergie
PPS (Primary Power Source)	Source d'alimentation primaire
SOC (State Of Charge)	Etat de charge
SOE (State Of Energy)	Etat d'énergie

**4 Configuration de la source d'énergie des systèmes hybrides****4.1 Généralités****4.1.1 Vue d'ensemble**

Il peut exister une variété de configurations système pour les systèmes hybrides série auxquels s'applique la présente partie de l'IEC 62864. L'Article 4 vise à donner une vue d'ensemble des configurations possibles en présentant un certain nombre d'exemples.

Néanmoins, ces exemples n'entendent pas imposer des contraintes à l'architecture système finale.

#### 4.1.2 Exigences relatives à la configuration système

Comme décrit à l'Article 1, un système hybride série doit posséder au moins deux sources d'énergie (dont un ESS), ainsi que l'équipement de traction qui constitue le collecteur d'énergie primaire. Le système peut comporter un collecteur d'énergie secondaire (tel qu'une résistance de freinage) dans l'éventualité où les sources d'énergie ne sont pas entièrement réceptives à la puissance régénérée par l'équipement de traction durant le freinage par récupération. Ces sous-systèmes doivent être raccordés électriquement pour permettre l'échange de puissance entre eux. Outre ces sous-systèmes du circuit principal, le système hybride série peut comporter une ou plusieurs alimentations auxiliaires (APS). Néanmoins, le raccordement entre les APS et les autres systèmes hybrides série peut être de nature électrique, non électrique, voire inexistante, autrement dit l'APS est indépendante des sous-systèmes du circuit principal. Si des charges auxiliaires sont raccordées, elles doivent être prises en compte du fait de leur impact significatif sur la consommation d'énergie.

La Figure 2 représente un exemple de diagramme fonctionnel d'un système hybride série comportant cinq sous-systèmes principaux, notamment une source d'alimentation primaire (PPS), un ESS, un équipement de traction, une APS et ses charges ainsi qu'une résistance de freinage servant de collecteur de puissance secondaire. A la Figure 2, le bloc Liaison transfère l'énergie entre ces sous-systèmes principaux par son intermédiaire.

Comme le montre la Figure 2, les configurations possibles de la PPS incluent, mais sans s'y limiter:

- l'association d'un moteur diesel à une génératrice et un convertisseur de puissance électrique;
- des piles à combustible et un convertisseur de puissance électrique;
- des lignes de contact en courant continu; ou
- des lignes de contact en courant alternatif et un convertisseur de puissance électrique.

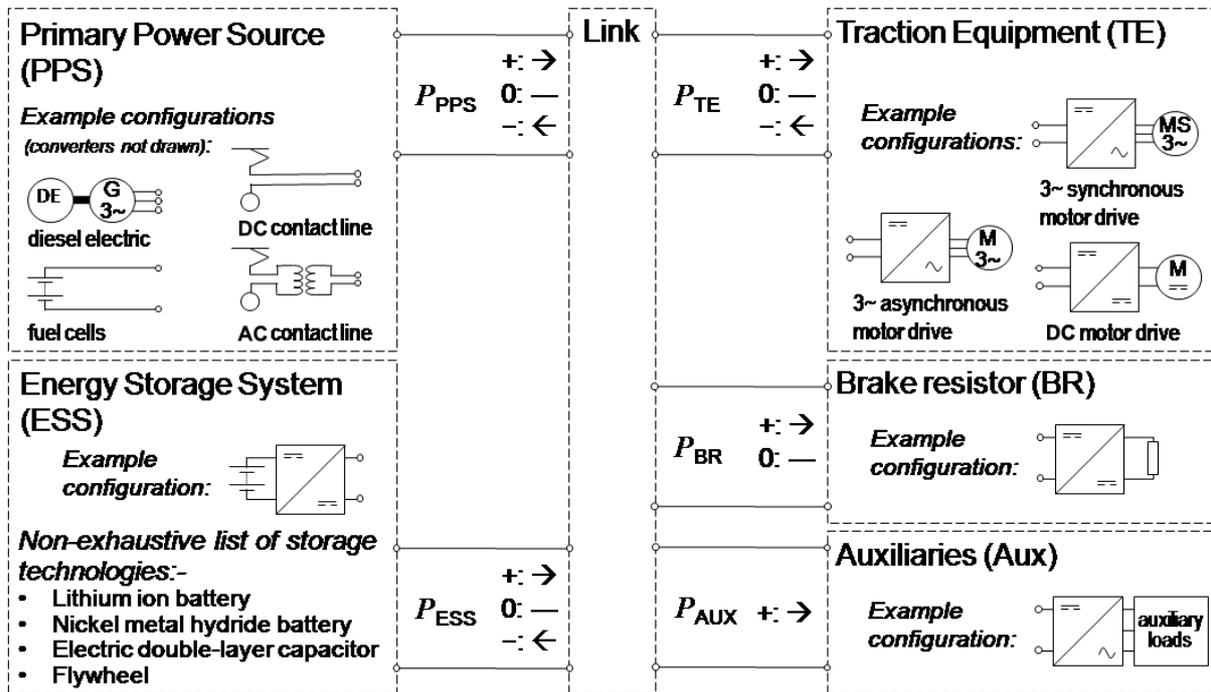
Comme le montre la Figure 2, les technologies de stockage utilisables dans l'ESS incluent, mais sans s'y limiter:

- les batteries lithium-ion;
- les batteries nickel-métal hydrure;
- les condensateurs électriques à double couche (EDLC); ou
- les volants d'inertie.

Comme le montre la Figure 2, les configurations possibles de l'équipement de traction incluent, mais sans s'y limiter:

- les hacheurs à quatre quadrants et les moteurs de traction à courant continu;
- les onduleurs à source de tension et les moteurs de traction asynchrones à courant alternatif; ou
- les onduleurs à source de tension et les moteurs de traction synchrones à aimant permanent et à courant alternatif.

NOTE Le terme "collecteur d'énergie" à l'Article 4 est utilisé pour désigner les sous-systèmes de la Figure 2 qui reçoivent de la puissance du bloc Liaison. Ces sous-systèmes ne sont pas toujours considérés comme des collecteurs d'énergie dans un sens plus général; par exemple, l'équipement de traction produit un effort de traction qui accélère physiquement le véhicule ferroviaire et est parfois considéré comme la source d'énergie de ce véhicule.



IEC

**Légende**

- DE Moteur diesel
- $P_{PPS}$  Puissance de la source d'alimentation primaire (PPS)
- $P_{TE}$  Puissance de l'équipement de traction (TE)
- $P_{ESS}$  Puissance du système de stockage de l'énergie (ESS)
- $P_{BR}$  Puissance de la résistance de freinage (BR)
- $P_{AUX}$  Puissance des auxiliaires (AUX)

Anglais	Français
Primary power source (PPS)	Source d'alimentation primaire (PPS)
Example configurations: (converters not drawn)	Exemples de configurations: (convertisseurs non représentés)
DE diesel electric	DE diesel électrique
DC contact line	ligne de contact en courant continu
fuel cells	piles à combustible
AC contact line	ligne de contact en courant alternatif
Energy storage system (ESS)	Système de stockage de l'énergie (ESS)
Example configuration:	Exemple de configuration:
Non-exhaustive list of storage technologies:	Liste non exhaustive de technologies de stockage:
Lithium ion battery	Batterie lithium-ion
Nickel metal hydride battery	Batterie nickel-métal hydrure
Electric double-layer capacitor	Condensateur électrique à double couche
Flywheel	Volant d'inertie
Link	Liaison
Traction equipment (TE)	Équipement de traction (TE)

Anglais	Français
Example configurations:	Exemples de configurations:
3~ synchronous motor drive	transmission par moteur synchrone triphasé
3~ asynchronous motor drive	transmission par moteur asynchrone triphasé
DC motor drive	transmission par moteur à courant continu
Brake resistor (BR)	Résistance de freinage (BR)
Example configuration:	Exemple de configuration:
Auxiliaries (AUX):	Auxiliaires (AUX):
Example configuration:	Exemple de configuration:
auxiliary loads	charges auxiliaires

**Figure 2 – Diagramme fonctionnel d'un système hybride série**

#### 4.1.3 Modes de fonctionnement principaux du système hybride série

A la Figure 2, il peut exister des flux de puissance entre le bloc Liaison et les cinq sous-systèmes principaux, à savoir:

- entre la PPS et le bloc Liaison, représenté à la Figure 2 en tant que  $P_{PPS}$ ;
- entre l'ESS et le bloc Liaison, représenté à la Figure 2 en tant que  $P_{ESS}$ ;
- entre le bloc Liaison et l'équipement de traction, représenté à la Figure 2 en tant que  $P_{TE}$ ;
- entre le bloc Liaison et la résistance de freinage, représenté à la Figure 2 en tant que  $P_{BR}$ ;  
et
- entre le bloc Liaison et l'APS (auxiliaires), représenté à la Figure 2 en tant que  $P_{AUX}$ .

Parmi cela,

- les flux a), b) et c) sont bidirectionnels, et leurs valeurs  $P_{PPS}$ ,  $P_{ESS}$  et  $P_{TE}$  peuvent soit positives, soit négatives;
- le flux d) est unidirectionnel, et sa valeur  $P_{BR}$  ne peut pas être négative, autrement dit une puissance nulle est admise;
- le flux e) est également unidirectionnel, mais, contrairement au flux d), sa valeur  $P_{AUX}$  est toujours positive et non nulle lorsque le système est en fonctionnement.

A la Figure 2, les signes possibles (+, 0 et -) de ces variables et les directions correspondantes des flux de puissance sont également représentés. Noter que les directions sont définies de manière à ce que le flux de puissance allant du sous-système de source de puissance au bloc Liaison et le flux allant du bloc Liaison au sous-système collecteur de puissance deviennent positifs, par exemple lorsque le véhicule hybride accélère grâce à la puissance du PPS ou de l'ESS.

A l'aide de ces notations, les principaux modes d'exploitation du système peuvent être classifiés en fonction des signes de ces variables (voir Tableau 1).

Parmi les modes présentés au Tableau 1, le Mode II (mode source d'alimentation pur) correspond au mode où la PPS fournit toute la puissance exigée par l'équipement de traction et peut être utilisé dans tous les exemples de configurations système décrits dans le présent article. D'une manière similaire, le Mode XIII (mode ralenti) correspond au mode où la PPS fournit toute la puissance exigée par les auxiliaires lorsque la puissance exigée par l'équipement de traction est nulle et peut être utilisé dans tous les exemples de configurations système décrits dans le présent article. Par ailleurs, le Mode XIV (mode marche sur l'erre zéro émission) correspond au mode où l'ESS fournit toute la puissance exigée par les auxiliaires lorsque la puissance fournie par la PPS et la puissance exigée par l'équipement de traction sont nulles; il peut exister un système hybride série dont la stratégie de gestion de l'énergie utilise seulement les Modes X (mode freinage par récupération vers l'ESS et la

source d'énergie), XI (mode freinage par récupération vers l'ESS seul) et XII (mode charge supplémentaire durant le freinage) pour charger l'ESS et seulement le Mode XIV (mode marche sur l'erre zéro émission) pour le décharger.

**Tableau 1 – Modes de fonctionnement principaux du système hybride série (1 de 2)**

Mode	$P_{PPS}$	$P_{ESS}$	$P_{TE}$	$P_{AUX}$	$P_{BR}$	Description	Figure 4	Figure 5	Figure 6	Figure 7
I	+	-	+	+	0	Mode charge supplémentaire durant la traction	Y	Y	Y	N
II	+	0	+	+	0	Mode source d'alimentation pur	Y	Y	Y	Y
III	+	+	+	+	0	Mode amplification	Y	Y	Y	Y
IV	0	+	+	+	0	Mode zéro émission/sans ligne de contact	Y	Y	Y	N
V	-	+	+	+	0	Mode ESS vers la traction et le réseau	R	N	Y	N
VI	+	-	0	+	0	Mode charge de l'ESS par la source d'énergie	Y	Y	Y	N
VII	-	+	0	+	0	Mode ESS vers le réseau	R	N	Y	N
VIII	-	+	-	+	0	Mode ESS et freinage par récupération vers le réseau	R	N	Y	N
IX	-	0	-	+	0	Mode freinage par récupération pur	Y	N	Y	Y
X	-	-	-	+	0	Mode freinage par récupération vers l'ESS et la source d'énergie	Y	N	Y	Y
XI	0	-	-	+	0	Mode freinage par récupération vers l'ESS seul	Y	Y	Y	N
XII	+	-	-	+	0	Mode charge supplémentaire durant le freinage	Y	Y	Y	N
XIII	+	0	0	+	0	Mode ralenti	Y	Y	Y	Y
XIV	0	+	0	+	0	Mode marche sur l'erre zéro émission	Y	Y	Y	N
XV	-	-	-	+	+	Mode freinage sur résistance avec charge de l'ESS et retour à la source	Y	N	Y	Y
XVI	-	0	-	+	+	Mode freinage sur résistance avec retour à la source	Y	N	Y	Y
XVII	0	-	-	+	+	Mode freinage sur résistance avec charge de l'ESS	Y	Y	Y	N
XVIII	0	0	-	+	+	Mode freinage sur résistance pur	Y	Y	Y	Y

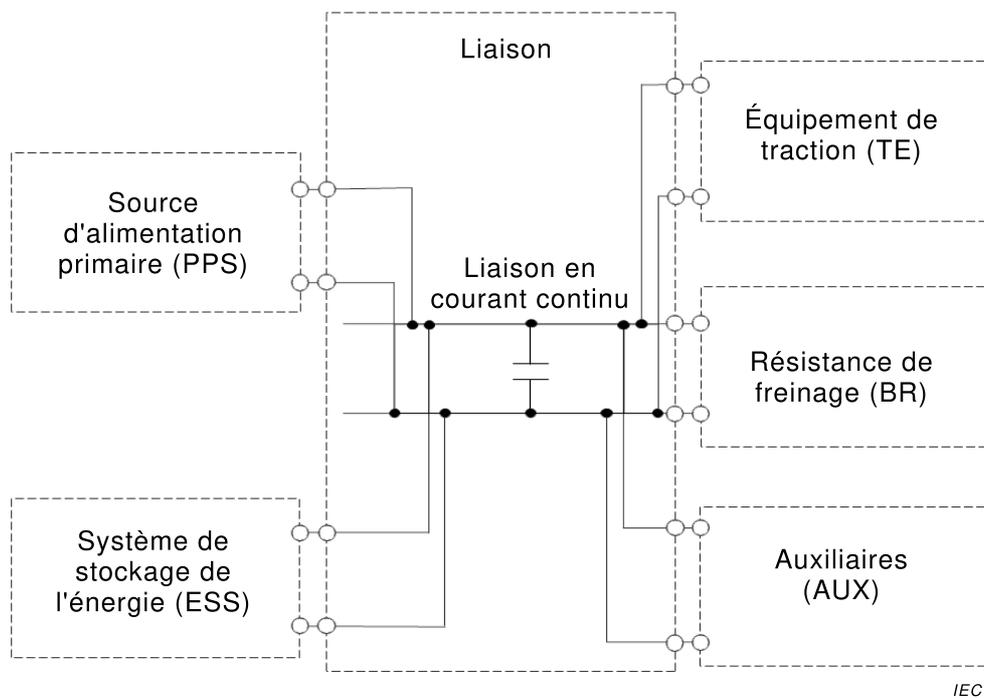
**Tableau 1 (2 de 2)**

Y: Le mode est applicable à la configuration.  
 N: Le mode n'est pas applicable à la configuration.  
 R: Le mode est rarement applicable à la configuration.

**4.1.4 Configuration type des systèmes hybrides série**

La Figure 2 présente le diagramme fonctionnel de la configuration la plus répandue dans les systèmes hybrides série. Dans cette figure, les cinq sous-systèmes principaux, à savoir la PPS, l'ESS, l'équipement de traction, les auxiliaires et la résistance de freinage, sont tous raccordés à la liaison en courant continu commune. Les configurations des exemples donnés en 4.2.1, en 4.2.2 et en 4.2.3 ont la même structure que celle représentée à la Figure 3.

Néanmoins, il peut exister d'autres configurations qui ne partagent pas la même structure que celle représentée à la Figure 3. Un exemple est donné en 4.2.4.

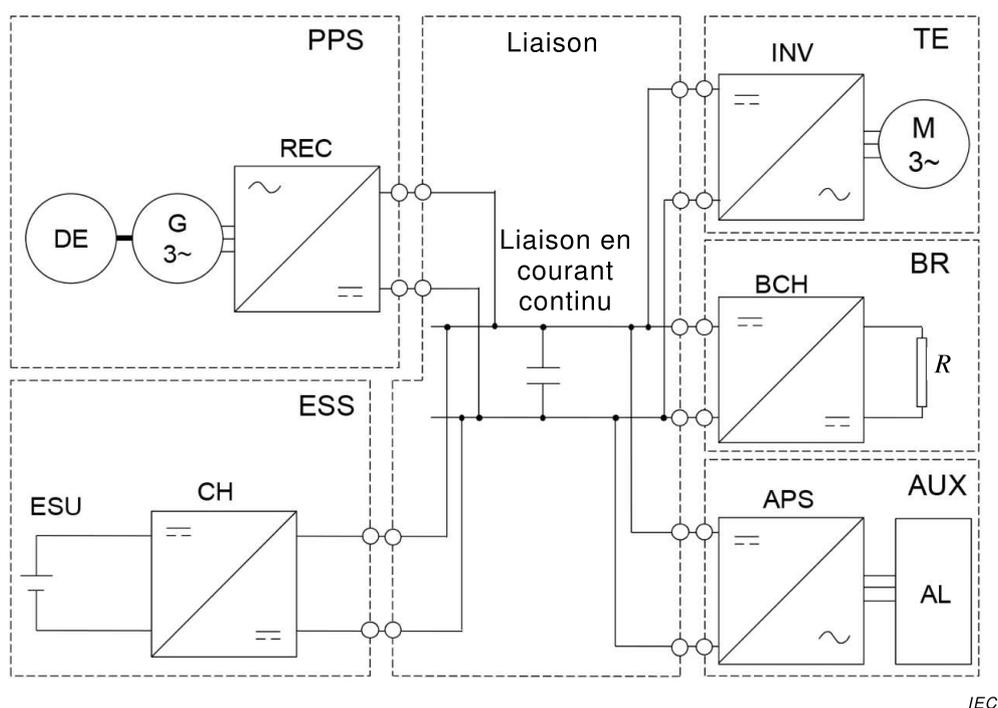


**Figure 3 – Exemple de configuration d'un système hybride série où tous les sous-composants du circuit principal sont connectés à la liaison en courant continu commune**

**4.2 Exemples d'applications**

**4.2.1 Véhicules diesel électriques**

La Figure 4 présente un exemple de configuration où un ESS est intégré au système de propulsion d'un véhicule ferroviaire diesel électrique.



IEC

**Légende**

PPS	Source d'alimentation primaire	ESS	Système de stockage de l'énergie	TE	Équipement de traction
BR	Résistance de freinage	AUX	Auxiliaires	ESU	Unité de stockage de l'énergie
DE	Moteur diesel	REC	Redresseur	BCH	Hacheur de freinage (pour la BR)
CH	Hacheur (pour l'ESS)	INV	Onduleur (pour le TE)	AL	Charges auxiliaires
R	Résistance auxiliaire	APS	Alimentation auxiliaire		

**Figure 4 – Système hybride série équipant des véhicules diesel électrique**

L'ESS est chargé par l'énergie régénérée durant le freinage par récupération (Mode XI du Tableau 1) ou durant les modes d'exploitation partielle ou à vide si cela est exigé (Mode I ou VI du Tableau 1). L'énergie stockée est ensuite réutilisée lors de la phase d'accélération suivante du véhicule hybride (Mode III ou IV du Tableau 1) ou selon ce qu'a déterminé le concept de gestion de l'énergie mis en œuvre pour l'application spécifique. Pendant les arrêts, le moteur thermique peut être arrêté automatiquement (arrêt au ralenti) afin de diminuer la consommation de combustible et les émissions sonores en utilisant l'énergie stockée dans l'ESS pour alimenter les charges auxiliaires.

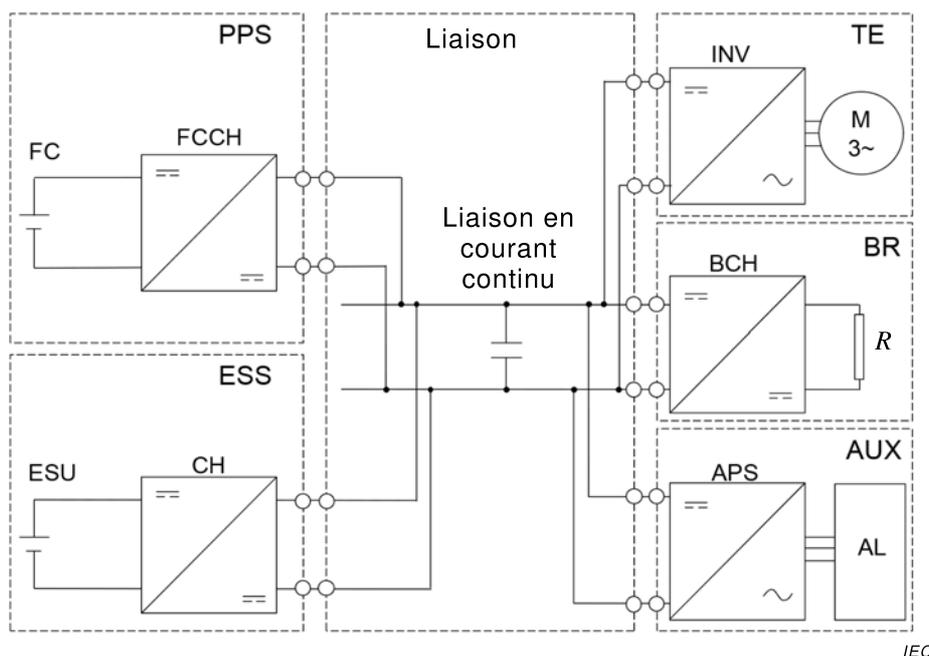
Si la puissance régénérée est supérieure à la puissance de charge maximale de l'ESS, le frein moteur ou le frein sur échappement (Mode IX ou X du Tableau 1) ou la résistance de freinage (Mode XV, XVI, XVII ou XVIII du Tableau 1) peut être utilisé pour dissiper la puissance excédentaire.

Dans cette configuration, l'utilisation des Modes V, VII et VIII du Tableau 1 peut convenir dans des situations d'exploitation relativement rares pour différentes applications. Dans le Mode V, lorsque l'ESS fournit la puissance exigée par l'équipement de traction et les charges auxiliaires, le groupe moteur-générateur diesel reçoit également de la puissance en provenance de l'ESS afin de dissiper l'énergie. Dans le Mode VII, lorsque l'ESS fournit la puissance exigée par les charges auxiliaires, le groupe moteur-générateur diesel reçoit également de la puissance en provenance de l'ESS afin de dissiper l'énergie. Dans le Mode VIII, lorsque l'équipement de traction régénère de la puissance, l'ESS décharge de la

puissance en même temps, et le groupe moteur-générateur diesel reçoit de la puissance en provenance de l'ESS et de l'équipement de traction afin de dissiper l'énergie.

#### 4.2.2 Véhicules à pile à combustible

La Figure 5 présente un exemple de configuration où un ESS est intégré au système de propulsion d'un véhicule ferroviaire à pile à combustible. Sa stratégie de gestion de l'énergie est similaire à celle des véhicules diesel électriques en 4.2.1; néanmoins, les piles à combustible ne peuvent généralement pas absorber de la puissance, ce qui fait que les Modes V, VII à X, XV et XVI du Tableau 1 ne sont pas applicables.



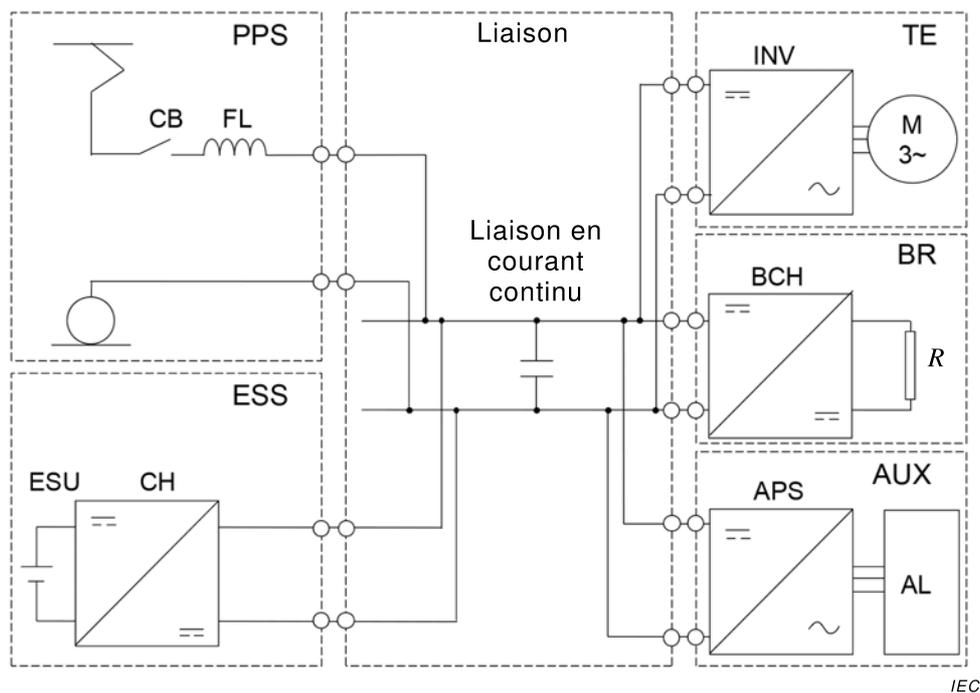
#### Légende

PPS	Source d'alimentation primaire	ESS	Système de stockage de l'énergie	TE	Équipement de traction
BR	Résistance de freinage	AUX	Auxiliaires	ESU	Unité de stockage de l'énergie
FC	Piles à combustible	FCCH	Hacheur de piles à combustible	BCH	Hacheur de freinage (pour la BR)
CH	Hacheur (pour l'ESS)	INV	Onduleur (pour le TE)	AL	Charges auxiliaires
R	Résistance auxiliaire	APS	Alimentation auxiliaire		

Figure 5 – Système hybride série équipant des véhicules à pile à combustible

#### 4.2.3 Véhicules alimentés par une ligne de contact à courant continu: raccordement en parallèle de l'ESS

La Figure 6 présente un exemple de configuration où un ESS est raccordé en parallèle à la ligne de contact à courant continu.

**Légende**

PPS	Source d'alimentation primaire	ESS	Système de stockage de l'énergie	TE	Équipement de traction
BR	Résistance de freinage	AUX	Auxiliaires	CB	Disjoncteur
ESU	Unité de stockage de l'énergie	CH	Hacheur (pour l'ESS)	BCH	Hacheur de freinage (pour la BR)
FL	Inductance de filtrage	INV	Onduleur (pour le TE)	AL	Charges auxiliaires
R	Résistance auxiliaire	APS	Alimentation auxiliaire		

**Figure 6 – Système hybride série équipant des véhicules alimentés par une ligne de contact avec raccordement en parallèle de l'ESS**

L'ESS peut être chargé à la fois durant le freinage (Mode X, XI ou XII du Tableau 1) et durant les autres modes d'exploitation (accélération, marche sur l'erre, etc.) si cela est exigé (Mode I ou VI du Tableau 1). Avec l'utilisation du Mode X ou XI, le freinage par récupération peut être utilisé même en cas de réceptivité insuffisante de la puissance régénérée par le système d'alimentation. Toute la puissance de l'équipement de traction retourne dans le circuit d'alimentation si le système d'alimentation est complètement réceptif à la puissance régénérée (Mode IX du Tableau 1). Si la puissance régénérée par l'équipement de traction durant le freinage est supérieure à la somme de la puissance de charge maximale de l'ESS et de la puissance de récupération, la résistance de freinage peut être utilisée pour dissiper la puissance excédentaire (Mode XV, XVI, XVII ou XVIII du Tableau 1).

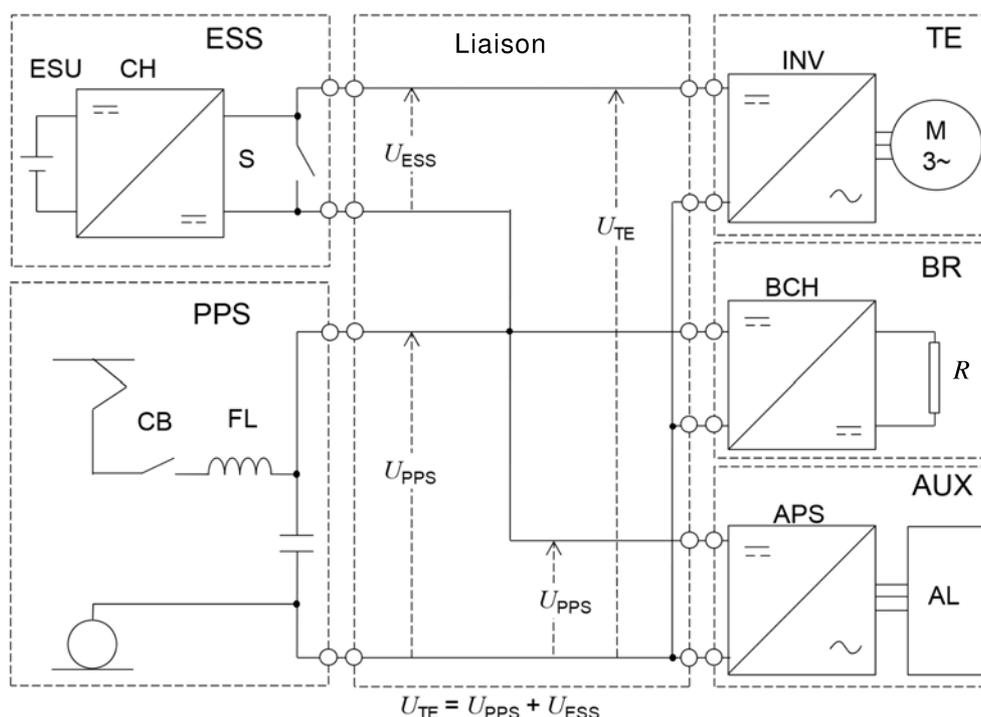
D'une manière similaire, l'ESS peut décharger l'énergie stockée à la fois durant l'accélération (Mode III, IV ou V du Tableau 1) et durant les autres modes d'exploitation (freinage, marche sur l'erre, etc.) si cela est exigé (Mode VII ou VIII du Tableau 1). Avec l'utilisation du Mode III ou IV, la fourniture de puissance depuis le système d'alimentation vers le train durant l'accélération peut être réduite sans diminuer la puissance consommée par l'équipement de traction, autrement dit sans influencer les performances d'accélération.

Il convient de fonder le choix des modes d'exploitation sur une stratégie bien conçue afin de maximiser l'efficacité globale du système ou d'atteindre les caractéristiques de performances souhaitées, telles que la stabilisation de la tension de ligne ou l'exploitation autonome, etc. Il convient également de surveiller et réguler en continu le flux de puissance au sein du système, ainsi que le SOE de l'ESS.

Ce système peut être facilement étendu aux véhicules ferroviaires capables de fonctionner à plusieurs tensions, notamment les véhicules alimentés en courant alternatif, en ajoutant les convertisseurs ou transformateurs adéquats dans le bloc PPS de la Figure 6. Par ailleurs, il existe des exemples qui comportent un hacheur dans le bloc PPS des véhicules alimentés par une ligne de contact à courant continu et où le hacheur du bloc ESS est remplacé par des disjoncteurs.

#### 4.2.4 Véhicules alimentés par une ligne de contact à courant continu: raccordement en série de l'ESS

La Figure 7 présente un exemple de configuration où un ESS est raccordé en série à la ligne de contact à courant continu.



#### Légende

PPS	Source d'alimentation primaire	ESS	Système de stockage de l'énergie	TE	Équipement de traction
BR	Résistance de freinage	AUX	Auxiliaires		
ESU	Unité de stockage de l'énergie	CH	Hacheur (pour l'ESS)	CB	Disjoncteur
FL	Inductance de filtrage	INV	Onduleur (pour le TE)	BCH	Hacheur de freinage (pour la BR)
R	Résistance auxiliaire	APS	Alimentation auxiliaire	AL	Charges auxiliaires
S	Interrupteur de dérivation ESS				
$U_{PPS}$	Tension d'alimentation primaire (tension de ligne)				
$U_{ESS}$	Tension de sortie ESS				
$U_{TE}$	Tension d'entrée de l'équipement de traction				

**Figure 7 – Système hybride série équipant des véhicules alimentés par une ligne de contact avec raccordement en série de l'ESS**

Contrairement aux exemples de la Figure 4, de la Figure 5 et de la Figure 6, cette configuration ne comporte pas de liaison en courant continu commune à laquelle sont

raccordés les sous-systèmes principaux et ne peut donc pas être considérée comme ayant la même structure que celle représentée à la Figure 3. Néanmoins, elle possède la structure représentée à la Figure 2.

Dans cette configuration, l'ESS est raccordé en série à la ligne de contact à courant continu de sorte que la tension à l'entrée de l'onduleur de l'équipement de traction  $U_{TE}$  devient la somme de la tension de l'ESS  $U_{ESS}$  et de la tension de ligne  $U_{PPS}$ . Cette configuration permet à la tension  $U_{TE}$  d'être supérieure à la tension  $U_{PPS}$ , ce qui signifie que l'équipement de traction peut gérer une puissance supérieure pour un courant donné sans augmenter la puissance régénérée par le véhicule hybride restituée au système d'alimentation. Ainsi, la plage du frein par récupération est élargie aux vitesses de véhicule supérieures en augmentant la tension du moteur électrique durant le freinage.

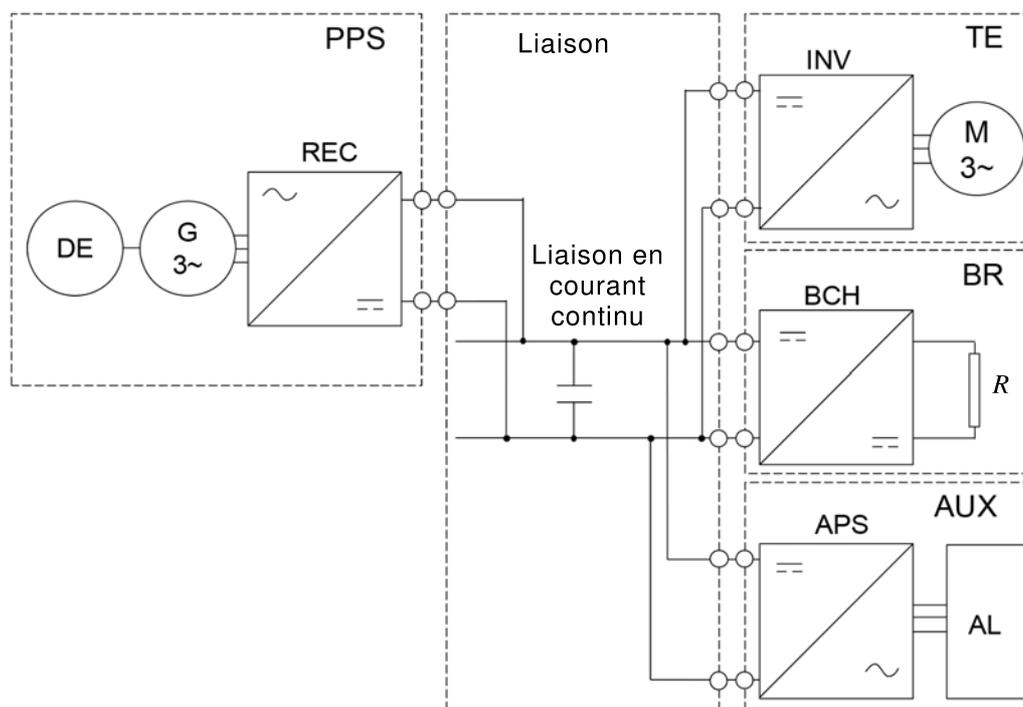
En prenant pour hypothèse que la valeur  $U_{ESS}$  n'est pas négative, l'ESS peut être chargé seulement durant le freinage (Modes X et XV du Tableau 1), et l'énergie stockée dans l'ESS peut être déchargée seulement durant l'accélération (Mode III du Tableau 1). Les Modes I, IV, V à VIII, XI, XII, XIV et XVII du Tableau 1 ne sont pas applicables.

### **4.3 Performances des systèmes hybrides série**

#### **4.3.1 Amélioration de l'efficacité**

Le système hybride série peut être conçu afin d'être plus efficace que les systèmes non hybrides grâce à l'utilisation du freinage par récupération.

Par exemple, dans les systèmes diesel électriques dont la configuration est présentée à la Figure 8, le freinage par récupération ne peut pas être utilisé. En ajoutant un ESS au système (voir Figure 4), le freinage par récupération est disponible.



IEC

**Légende**

PPS	Source d'alimentation primaire	TE	Équipement de traction
BR	Résistance de freinage	AUX	Auxiliaires
DE	Moteur diesel	REC	Redresseur
BCH	Hacheur de freinage (pour la BR)	R	Résistance auxiliaire
AL	Charges auxiliaires	INV	Onduleur (pour le TE)
		APS	Alimentation auxiliaire

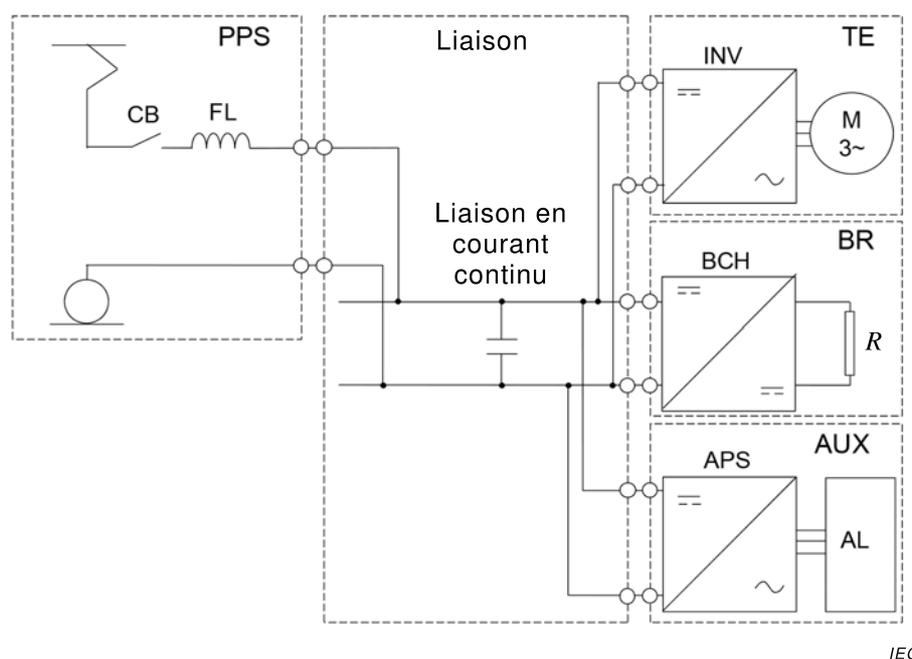
**Figure 8 – Système de propulsion diesel électrique (sans ESS)**

L'ESS embarqué peut également améliorer la disponibilité du freinage par récupération dans les véhicules alimentés par une ligne de contact. Dans un tel système sans ESS embarqué dont la configuration est représentée à la Figure 9, le freinage par récupération ne peut pas être utilisé lorsque le réseau d'alimentation en énergie n'est pas réceptif à la puissance régénérée par le véhicule hybride. En ajoutant un ESS au système (voir Figure 6), le freinage par récupération peut être utilisé dans ces circonstances en laissant l'ESS embarqué absorber la puissance régénérée par l'équipement de traction.

Outre le freinage par récupération, le système hybride série peut être conçu afin d'être plus efficace que les systèmes non hybrides grâce à l'utilisation de la PPS dans les conditions de fonctionnement les plus efficaces.

Par exemple, le groupe moteur-générateur diesel est le plus efficace lorsqu'il fonctionne à un certain point d'exploitation (p. ex.: régime moteur, puissance); toutefois, dans le système diesel électrique conventionnel dont la configuration est représentée à la Figure 8, le groupe moteur-générateur est forcé de produire de la puissance à des points d'exploitation sous-optimaux spécifiques. En ajoutant un ESS au système (voir Figure 4), le groupe moteur-générateur peut être régulé de manière à rester au point d'exploitation le plus efficace.

Comme décrit ci-dessus, les configurations et modes sont variés. Il est important d'évaluer les définitions relatives à l'énergie de manière adéquate. Elles sont décrites à l'Annexe B.



#### Légende

PPS	Source d'alimentation primaire	TE	Équipement de traction	BR	Résistance de freinage
AUX	Auxiliaires				
CB	Disjoncteur	FL	Inductance de filtrage	INV	Onduleur (pour le TE)
BCH	Hacheur de freinage (pour la BR)	R	Résistance auxiliaire	APS	Alimentation auxiliaire
AL	Charges auxiliaires				

**Figure 9 – Système de propulsion alimenté par une ligne de contact (sans ESS)**

#### 4.3.2 Amplification des performances de traction

Lorsque la puissance disponible à la PPS est limitée dans le système hybride série, l'ESS peut être utilisé dans le but d'amplifier la puissance fournie par l'équipement de traction, ce qui permet d'améliorer les performances de traction de l'ensemble du véhicule.

La Figure 10 montre comment fonctionne l'amplification. Dans cette figure, l'hypothèse retenue est que:

- $P_{BR}$  est égal à 0;
- $P_{AUX}$  est négligeable; et
- $P_{TE} = P_{PPS} + P_{ESS}$

où  $P_{PPS}$ ,  $P_{ESS}$ ,  $P_{TE}$ ,  $P_{BR}$  et  $P_{AUX}$  sont tels que définis à la Figure 2.

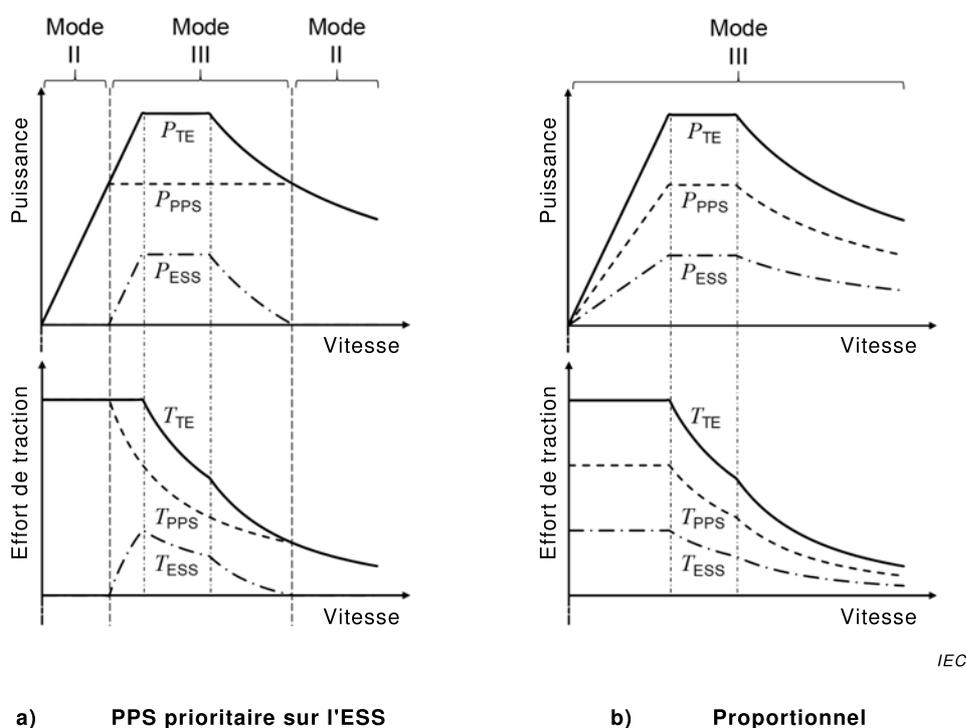
Dans l'exemple de la Figure 10 a), toute la puissance exigée par l'équipement de traction (puissance de traction) est fournie par la PPS dans la plage de vitesses basses (Mode II du Tableau 1). Lorsque la puissance dépasse la limite supérieure de la PPS dans la plage de vitesses hautes, l'ESS amplifie la puissance de traction et amplifie l'effort de traction du véhicule hybride (Mode III du Tableau 1).

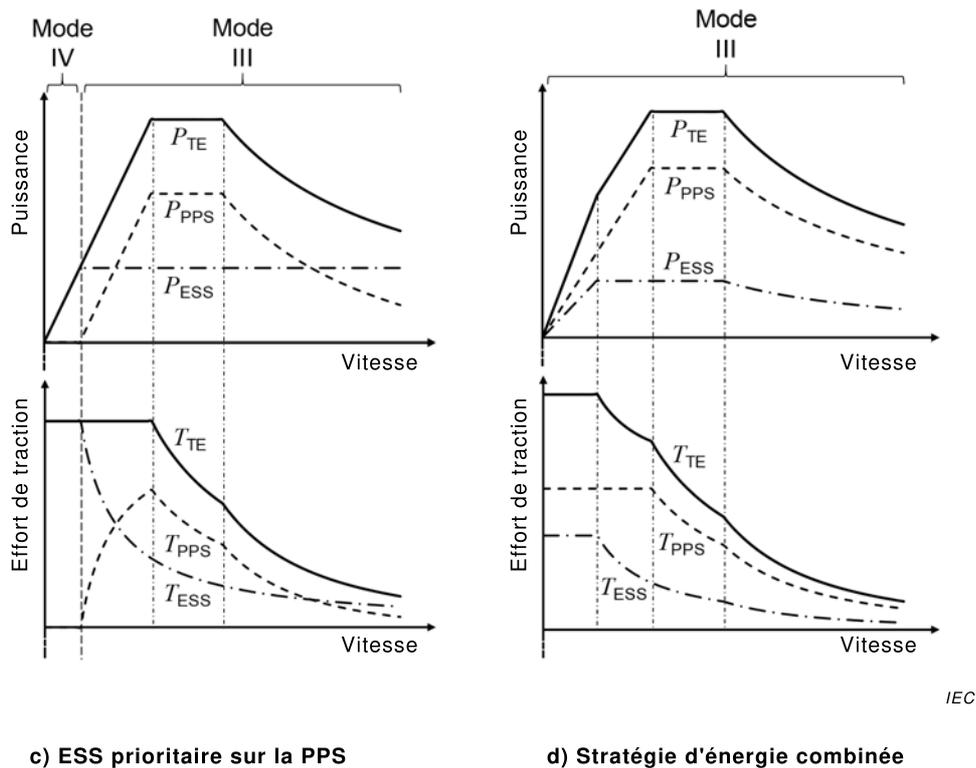
Il convient de tenir compte des points suivants:

- L'amplification n'est disponible que lorsqu'il existe suffisamment d'énergie disponible au sein de l'ESS. Par conséquent, un bon système de gestion de l'énergie est nécessaire pour que le système soit efficace.
- Différentes stratégies de régulation de l'amplification peuvent être conçues selon le contexte. La Figure 10 b) à d) montre des exemples des cas possibles, chacun d'entre eux résultant d'une stratégie différente. Dans le cas b), le rapport entre la puissance de la PPS et la puissance de l'ESS reste constant. Le cas c) contraste avec le cas a), car dans le cas c) l'ESS a la priorité par rapport à la PPS et fournit toute la puissance dans la plage de vitesses basses; et dans le cas d),  $P_{TE}$  dépend des valeurs  $P_{PPS}$  et  $P_{ESS}$  contrairement aux autres cas où  $P_{TE}$  est fixe. Les choix de modes du Tableau 1 sont également différents.

Comme décrit ci-dessus, les configurations et modes sont variés. Il est important d'évaluer les définitions relatives à l'énergie de manière adéquate. Elles sont décrites à l'Annexe B.

Cette méthode permet non seulement d'améliorer les performances d'accélération, mais également les performances de freinage électrique.



**Légende**

$P_{PPS}$  Puissance de la source d'alimentation primaire (PPS)

$P_{TE}$  Puissance de l'équipement de traction (TE)

$T_{PPS}$  Partie de  $T_{TE}$  fournie par la PPS

$T_{TE}$  Effort de traction,  $T_{ESS} + T_{PPS} = T_{TE}$

$P_{ESS}$  Puissance du système de stockage de l'énergie (ESS)

$T_{ESS}$  Partie de  $T_{TE}$  fournie par l'ESS

NOTE 1 Pour ces exemples, le comportement de la fourniture de puissance par l'ESS est par hypothèse constant dans une certaine plage de vitesses, mais peut être différent selon les technologies ESS.

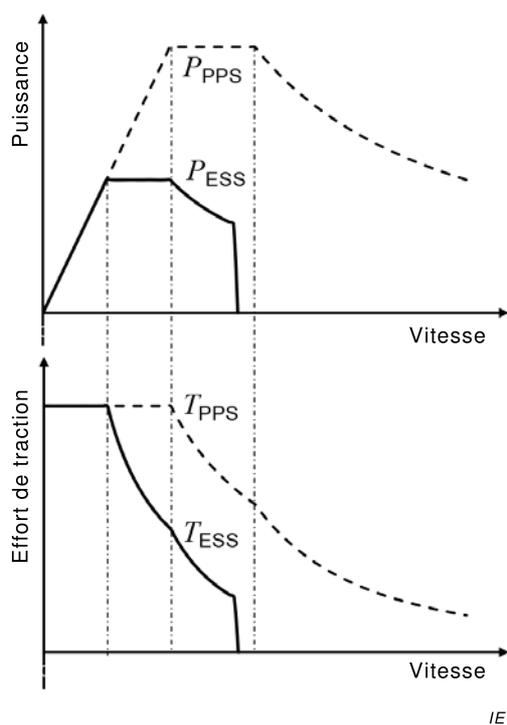
NOTE 2 Pour ces exemples, le SOC et/ou le SOE de l'ESS sont par hypothèse suffisants pour fournir la puissance exigée par rapport au schéma opérationnel.

NOTE 3 Le comportement de la fourniture de puissance par l'ESS est par hypothèse constant dans la plage de vitesses.

**Figure 10 – Amplification des performances de traction grâce à l'ESS embarqué**

### 4.3.3 Exploitation en mode dégradé

Dans le système hybride série, le véhicule peut être conçu afin de continuer à avancer même en cas de défaut de fonctionnement de la PPS. Dans l'exemple de la Figure 11, en cas de défaillance de la PPS, l'ESS doit produire de la puissance pour que le véhicule hybride puisse continuer à avancer ( $P_{ESS}$  et  $T_{ESS}$ , respectivement). Généralement, cependant, l'énergie et la puissance disponibles au niveau de l'ESS sont limitées, d'où une limitation de la puissance et de la vitesse maximales dans le cadre d'une telle exploitation en mode dégradé.



**Légende**

$P_{PPS}$	Puissance de la source d'alimentation primaire (PPS)	$P_{ESS}$	Puissance du système de stockage de l'énergie (ESS)
$T_{PPS}$	Partie de $T_{TE}$ fournie par la PPS	$T_{ESS}$	Partie de $T_{TE}$ fournie par l'ESS

**Figure 11 – Exemple de performances en mode dégradé par l'ESS embarqué**

**5 Conditions d'environnement**

**5.1 Généralités**

Les classes de conditions de service décrites dans l'IEC 62498-1:2010 doivent être appliquées, à moins que des classes différentes ne soient spécifiées par l'exploitant. L'exploitant doit indiquer clairement dans sa spécification la classe à prendre en compte, dans le cas contraire la classe ayant le suffixe 1 doit être prise pour hypothèse.

Dans le cas où d'autres conditions s'appliqueraient, il convient de les choisir à partir de l'IEC 60721-3-5 s'il y a lieu.

**5.2 Altitude**

L'altitude au-dessus du niveau de la mer, à laquelle doit fonctionner l'équipement de la manière spécifiée, doit être conforme à l'IEC 62498-1:2010, sauf spécification contraire.

NOTE L'altitude est pertinente en particulier pour le niveau de pression atmosphérique et ses conséquences sur les systèmes de refroidissement et l'isolation.

**5.3 Température**

La classe de température ambiante à laquelle fonctionnent le véhicule, le système hybride et ses composants doit être conforme à l'IEC 62498-1:2010, Tableau 2, sauf spécification contraire.

Pour les calculs de la durée de vie, il convient que l'exploitant fournisse un histogramme des températures pour l'air ambiant extérieur au véhicule. Sinon, la température de référence TR1 conformément à l'IEC 62498-1:2010, Tableau 3 doit être appliquée.

La température de référence est par hypothèse la température permanente à laquelle les effets sur le vieillissement des matériaux équivalent à ceux de la température climatique au cours de la durée de vie.

NOTE Le vieillissement thermique est une fonction exponentielle de la température (p. ex.: voir l'IEC 60216-5 pour les matériaux isolants), c'est-à-dire que la température de référence est généralement plus élevée que la température arithmétique moyenne.

Pour la classe d'altitude AX (IEC 62498-1:2010), la dépendance entre l'altitude et la température doit être donnée par l'exploitant en fournissant un histogramme des températures pour chaque plage pertinente d'altitudes (p. ex.: 0 m à 1 000 m et 1 000 m à 2 000 m).

Les exigences de préchauffage ou de prérefroidissement relatives aux composants de systèmes hybrides doivent faire l'objet d'un accord entre l'exploitant et le constructeur, si nécessaire.

## **6 Exigences fonctionnelles et système**

### **6.1 Exigences mécaniques**

#### **6.1.1 Contrainte mécanique**

##### **6.1.1.1 Chocs et vibrations**

Lorsqu'il est maintenu avec les fixations prévues (y compris les supports antivibratoires si prévus), le système hybride doit être en mesure de résister aux vibrations et aux chocs spécifiés dans l'IEC 61373.

##### **6.1.1.2 Autres accélérations**

Lorsqu'un véhicule franchit un virage ou est arrêté dans un virage, les composantes nettes admises de l'accélération agissant perpendiculairement à l'axe vertical du véhicule ne doivent pas dépasser les valeurs données dans l'IEC 61373. Le système hybride, y compris ses équipements auxiliaires, doit continuer à fonctionner de la manière spécifiée lorsqu'il est soumis aux accélérations transversales et longitudinales spécifiées dans l'IEC 61373. Ces exigences doivent faire l'objet d'un accord entre l'exploitant et le constructeur.

#### **6.1.2 Protection contre les influences environnementales externes**

La catégorie de protection contre la pénétration doit être définie conformément à l'IEC 60529 afin de satisfaire aux exigences de protection contre les contacts directs et aux conditions de l'environnement d'installation.

### **6.2 Exigence de régulation**

Un système hybride doit posséder les fonctions minimales suivantes:

- régulation du flux de puissance;
- surveillance des flux d'énergie et de puissance; et
- surveillance de l'état de l'ESU.

## **6.3 Exigence électrique**

### **6.3.1 Fonction de charge et décharge externe**

Si cela est exigé, le système hybride doit être équipé d'une fonction de charge et décharge externe. Les spécifications de la fonction de charge et décharge externe doivent faire l'objet d'un accord entre l'exploitant et le constructeur.

### **6.3.2 Exploitation avec le système de stockage de l'énergie seul**

Si cela est exigé, lorsque la puissance de la PPS, autrement dit le groupe moteur-générateur diesel, la ligne de contact aérienne ou le troisième rail, n'est pas disponible, le véhicule doit être en mesure de fonctionner selon les performances de traction et les charges auxiliaires spécifiées par l'exploitant.

## **6.4 Exigence de déconnexion**

Chaque ESU du système hybride doit être équipée d'appareils de déconnexion afin de permettre une isolation ou séparation sûre, par exemple en cas de défaillance ou à des fins de maintenance.

Il convient que chaque source d'énergie individuelle du système hybride soit équipée d'appareils de déconnexion afin de permettre une séparation sûre entre la source d'énergie et les autres sous-systèmes.

## **6.5 Mode dégradé**

Le concept du mode dégradé doit être spécifié et doit faire l'objet d'un accord entre l'exploitant et le constructeur. En cas de défaillance de tout ou partie d'une source d'énergie individuelle (p. ex.: ESU/ESS, moteur diesel, pile à combustible, source d'énergie externe), la partie restante doit satisfaire à ces exigences pour le concept du mode dégradé.

## **6.6 Exigences de sécurité**

### **6.6.1 Protection contre les dangers électriques**

Une protection contre les dangers électriques doit être prise à l'égard du conducteur, du personnel de maintenance et des passagers conformément à l'IEC 61991.

### **6.6.2 Comportement au feu et protection contre les incendies**

Des mesures de protection contre les incendies par rapport au combustible, à l'ESU, etc. doivent être spécifiées par l'exploitant. Sinon, se reporter à l'Annexe C.

### **6.6.3 Protection contre les autres impacts**

Une protection contre les impacts mécaniques externes doit être prise à l'égard de l'ESU conformément à l'IEC 62262.

La protection de l'environnement, du conducteur, du personnel de maintenance et des passagers contre les impacts mécaniques externes résultant d'effets dus à l'ESU (p. ex.: explosion, fuites et/ou émissions de gaz, etc.) doit également être étudiée.

### **6.6.4 Protection contre les courts-circuits**

L'ESS doit être équipé d'une protection adéquate contre les courts-circuits.

L'exploitant doit définir dans la spécification si les parties du système hybride sont protégées contre les courts-circuits ou non.

L'essai doit être réalisé comme décrit en 8.9.

## 6.7 Exigences relatives à la durée de vie

Il convient de tenir compte de la détermination de la durée de vie pour l'ESU. Les données communiquées par le fournisseur de composants peuvent être utilisées. Pour la modélisation de la durée de vie, le schéma opérationnel doit être pris en compte. La détermination et la modélisation de la durée de vie de l'ESU dépendent de son utilisation et font l'objet d'un accord entre le sous-traitant/fournisseur de composants ou le fournisseur de l'ESU et le fournisseur du système et l'exploitant si nécessaire.

Pour la définition de la fin de vie (EOL), les exemples suivants sont donnés:

- a) Orienté composant pour les condensateurs électriques à double couche (EDLC): Le vieillissement entraîne une diminution de la capacitance et une augmentation de la résistance interne. Par conséquent, le constructeur et l'exploitant peuvent convenir que "lorsque la capacitance est inférieure à un certain pourcentage 'X' de la capacitance initiale ou que la résistance interne est 'Y' fois supérieure à la résistance initiale, l'EOL est atteint". Il convient que l'exploitant et le constructeur s'accordent sur les valeurs de 'X', de 'Y' ou d'autres paramètres en fonction du projet.
- b) Orienté schéma opérationnel: Il convient que l'intégrateur système ou l'exploitant fournisse les schémas opérationnels. Le fournisseur de l'ESU et/ou l'intégrateur système doivent estimer la durée de vie conformément à ces schémas.

## 6.8 Exigence supplémentaire relative aux émissions sonores dans le cas d'un système hybride

Pour la méthode de mesure, se reporter à l'IEC 61133.

Lorsqu'il existe une exigence spécifique relative aux émissions sonores, les émissions doivent être déterminées sur la base d'un accord entre l'exploitant et le constructeur.

# 7 Types d'essais

## 7.1 Généralités

Les essais sont classés en trois catégories:

- a) les essais de type;
- b) les essais facultatifs; et
- c) les essais individuels de série.

Les essais individuels de série relatifs aux équipements individuels qui constituent un système doivent être réalisés conformément aux normes applicables. Certains essais individuels de série minimaux sont spécifiés.

Les zones d'essai sont réparties comme suit:

- a) l'interface véhicule/système (niveau 1): interface logique (avec les auxiliaires, avec l'unité de commande générale du véhicule, avec l'infrastructure et l'interface de signalisation, etc.) fonctionnant ensemble, interfaces matérielles (câbles, etc.);

EXEMPLE Interfaces de l'unité de commande du véhicule hybride, l'unité de commande auxiliaire et générale du véhicule.

- b) les systèmes et interfaces (niveau 2); interfaces physiques et de commande entre le véhicule et la chaîne de traction (propulsion);

EXEMPLE Interfaces de l'ESS/ESS, liaison, équipement de traction, résistance de freinage et PPS et unité de commande du système hybride (soit une partie de l'unité de commande du sous-système ou une unité dédiée s'il y a lieu).

- c) les composants (niveau 3): ESU, convertisseur, moteurs, etc., tel qu'indiqué en Figure 2;
- d) les sous-composants (niveau 4): batterie lithium-ion, condensateurs électriques à double couche (EDLC), etc. au sein de l'ESU.

Voir 7.5 et Tableau 2.

## 7.2 Essai de type

Un essai de type est réalisé pour vérifier les valeurs assignées, les caractéristiques et les performances d'un nouveau système. Cet essai de type doit être réalisé sur un système/une interface (niveau 2) et sur l'interface véhicule/système (niveau 1) pour chaque nouvelle conception. Les fournisseurs du sous-composant, composant, système et/ou véhicule ont la charge des essais de type selon leur implication ou le niveau de fourniture adéquat. Les essais de composants et de sous-composants (niveaux 3 et 4) ont normalement été réalisés à l'avance conformément aux normes de composants applicables.

Si le processus de conception ou de fabrication de l'équipement inclus dans le système combiné est modifié après qu'un essai de type ait été réalisé sur le système, l'impact de la modification sur le système combiné doit être évalué. La décision de réaliser l'essai de type entièrement ou partiellement s'effectue sur la base d'un accord entre l'exploitant et le constructeur. Si le constructeur a préalablement élaboré un rapport pour un essai de type couvrant tous les essais d'un système similaire, l'essai de type peut être omis sur la base d'un accord entre l'exploitant et le constructeur.

Des résultats de simulation fondés sur une modélisation fiable (confirmés par le biais d'une mesure antérieure) peuvent être appliqués sur la base d'un accord.

## 7.3 Essai facultatif

Un essai facultatif peut être réalisé de manière à obtenir des informations supplémentaires concernant le système hybride. L'essai facultatif n'est pas obligatoire et ne doit être réalisé que sur la base d'un accord entre l'exploitant et le constructeur. Si aucun accord spécifique n'est pris entre l'exploitant et le constructeur, ces résultats d'essai ne doivent pas être traités comme des critères d'acceptation pour le système.

## 7.4 Essai individuel de série

Les essais individuels de série sont effectués pour vérifier que le système ou véhicule est correctement assemblé et que tous les composants et toutes les fonctions du système et/ou véhicule fonctionnent de façon appropriée et sûre. Les essais individuels de série doivent être effectués par le constructeur, sur chaque élément d'un type donné. Le constructeur et l'exploitant peuvent convenir d'adopter une méthode d'essai alternative. Cela peut permettre de réduire les essais individuels de série de l'ensemble des composants, du système et/ou du véhicule ou peut nécessiter la réalisation de l'intégralité des essais individuels de série sur une partie de l'ensemble des composants, du système et/ou du véhicule choisis au hasard parmi ceux qui sont produits pour ce contrat.

Les essais individuels de série qui sont soumis à un accord entre le constructeur et l'exploitant ne doivent être effectués que si cela est indiqué dans la spécification.

## 7.5 Catégories d'essais

Pour les catégories d'essais, se reporter au Tableau 2.

Les zones d'essai sont classées par essais de composants, essais combinés et essais de véhicules.

Les exigences particulières de l'exploitant doivent faire l'objet d'un accord entre l'exploitant et le constructeur.

Les zones d'essai données au Tableau 2 peuvent faire l'objet d'une discussion et d'un accord entre l'exploitant et le constructeur.

**Tableau 2 – Liste des essais (1 de 2)**

Essai	Zone de l'essai	Type d'essai	Niveau <sup>a</sup>	Numéro d'article/paragraphe
Essai combiné sur banc d'essai				
Fonction de régulation de charge/décharge de l'ESS	B	T	2	8.3.1
Essai de charge externe	B	O	2	8.3.2
Essai de déconnexion	C ou B	T	2.3	8.3.3
Essai en mode dégradé	B	O	2	8.3.4
Essai de détermination du SOC/SOE	B	O	2	8.3.5
Essai de balayage de vitesse sous couple à pleine charge	B	T	2	8.4.1
Essai de couple de sortie avec le système de stockage de l'énergie seul	B	T	2	8.4.2
Essai de séquence du système	–	–	–	8.5
a) démarrage du système	B	T	2	–
b) mode traction avec limitation de puissance selon les conditions de protection	B	T	2	–
c) mode récupération avec limitation de puissance selon les conditions de protection	B	T	2	–
d) déconnexion d'un ou de plusieurs ESS et/ou ESU	B	T	2	–
e) reconnexion d'un ou de plusieurs ESS et/ou ESU	B	T	2	–
f) déconnexion d'une ou de plusieurs PPS	B	T	2	–
g) reconnexion d'une ou de plusieurs PPS	B	T	2	–
h) arrêt du système	B	T	2	–
i) mode redondance, mode dégradé	B	T	2	–
Mesure de l'efficacité énergétique et de la consommation d'énergie	B	O	2	8.6.2
Détermination de la consommation de combustible	B	O	2	8.6.3.1
Détermination des niveaux d'émission de gaz d'échappement	B	O	2	8.6.3.2
Mesure de durée de l'ESS	B	O	1	8.7.2
Essai d'exploitation à basse température	B ou C	O	2 ou 3	8.8.2
Essai d'exploitation à haute température	B ou C	O	2 ou 3	8.8.3
Essai de protection contre les courts-circuits	B ou C	O	2 ou 3	8.9
Essai d'endurance de l'ESU	C	O	4	8.10
Niveau véhicule				
Essai de déconnexion de l'ESS	V	R	1	9.2

**Tableau 2 (2 de 2)**

Essai	Zone de l'essai	Type d'essai	Niveau <sup>a</sup>	Numéro d'article/paragraphe
Essai de séquence du véhicule	–	–	–	9.3
a) démarrage du système	V	R	1	–
b) mode traction	V	R	1	–
c) mode freinage électrique	V	R	1	–
d) déconnexion d'un ou de plusieurs ESS et/ou ESU	V	R	1	–
e) reconnexion d'un ou de plusieurs ESS et/ou ESU	V	R	1	–
f) déconnexion d'une ou de plusieurs PPS	V	R	1	–
g) reconnexion d'une ou de plusieurs PPS	V	R	1	–
h) arrêt du système	V	R	1	–
i) mode redondance, mode dégradé	V	R	1	–
Mesure de la consommation d'énergie du système de propulsion	V	O	1	9.4
Détermination de la consommation de combustible	V	O	1	9.5.1
Détermination des niveaux d'émission de gaz d'échappement	V	O	1	9.5.2
Mesure de la consommation d'énergie du circuit auxiliaire	V	O	1	9.6
Durée de marche du véhicule sur l'ESS	V	O	1	9.7
Détermination des émissions acoustiques	V	O	1	9.8
<p>NOTE 1 Il est préférable que les essais de type "facultatifs" du tableau soient réalisés sur la base d'un accord entre l'exploitant et le constructeur. Un essai de type "facultatif" et un essai facultatif n'appartiennent pas à la même catégorie d'essais.</p> <p>NOTE 2 Les zones d'essai sont abrégées de la manière suivante:                      C: Essai de composant                      B: L'essai est réalisé sur banc d'essai lors de l'essai combiné.                      V: Véhicule</p> <p>NOTE 3 Les types d'essais sont abrégés de la manière suivante:                      T: Essai de type                      O: Essai facultatif                      R: Essai individuel de série</p>				
<sup>a</sup> Pour les niveaux, voir 7.1.				

## 7.6 Critères d'acceptation

Sauf indication contraire aux Articles 8 et 9, les critères d'acceptation doivent être les suivants:

- pour le fonctionnement, une vérification doit être réalisée afin de s'assurer que le système fonctionne correctement et de la manière spécifiée;
- pour l'essai de performance ou de caractéristiques, une vérification doit être réalisée afin de s'assurer que la performance ou les caractéristiques satisfont aux spécifications. Les spécifications doivent faire l'objet d'un accord entre l'exploitant et le constructeur.

## **8 Essais combinés**

### **8.1 Généralités**

Pour les essais autres que ceux spécifiés à l'Article 8, se reporter à l'IEC 61287-1, l'IEC 60349-2, l'IEC 60349-4 et l'IEC 61377.

### **8.2 Conditions d'essai**

Pour les conditions d'essai, se reporter à l'IEC 61377.

### **8.3 Régulation de l'ESS**

#### **8.3.1 Fonction de régulation de charge/décharge de l'ESS**

La charge et la décharge de l'ESS à la puissance assignée doivent être réalisées conformément aux exigences convenues entre l'exploitant et le constructeur. Le flux de puissance (p. ex.: de la PPS, de l'ESS et des convertisseurs) doit être suivi pour vérifier la commande adéquate.

#### **8.3.2 Essai de charge externe**

Si le système comporte une fonction de charge externe, la durée, le courant et la tension au régime de charge spécifié doivent être mesurés. Les conditions de température de démarrage et de refroidissement sont déterminées sur la base d'un accord entre l'exploitant et le constructeur. Toutefois, les limites basse et haute du régime de charge sont définies par rapport à une plage où une charge à courant constant peut être possible.

#### **8.3.3 Essai de déconnexion**

En cas de défaillance d'une source d'énergie, la déconnexion de l'appareil défaillant doit pouvoir se faire sans occasionner de dommages ni de problèmes de sécurité. Si un sectionneur manuel est installé (p. ex.: à des fins de maintenance), il doit être soumis à l'essai.

#### **8.3.4 Essai en mode dégradé**

Si un mode dégradé est spécifié, le véhicule doit être capable de fonctionner sans occasionner de dommages permanents ni de problèmes de sécurité à un ou plusieurs composants équipés d'une source d'énergie partiellement ou entièrement déconnectée (p. ex.: ESU/ESS, moteur diesel, pile à combustible, source d'énergie externe).

La plage d'exploitation spécifique dans le mode dégradé doit être déterminée sur la base d'un accord entre l'exploitant et le constructeur.

#### **8.3.5 Essai de détermination du SOC/SOE**

Le SOC ou le SOE de l'ESS doit être déterminé au début. Les variations du SOC ou du SOE doivent être contrôlées en continu par le biais d'un schéma opérationnel considéré en procédant à une mesure du temps et de l'énergie dans le but de faciliter le calcul de l'équilibre de l'état de charge ou d'énergie et de restaurer le SOC ou le SOE calculé au même niveau à la fin de l'exploitation normale (p. ex.: en effectuant une charge à partir de la puissance moteur).

Si des schémas opérationnels répétés sont exigés, il convient d'équilibrer le SOC ou le SOE au début et à la fin du schéma opérationnel en procédant à une opération de post-exploitation. La post-exploitation peut être réalisée par une charge/décharge hors ligne (p. ex.: source d'énergie interne/externe ou caténaire ou ligne de contact aérienne ou troisième rail).

Les critères d'acceptation de cet essai de l'exploitant doivent faire l'objet d'un accord entre l'exploitant et le constructeur.

## **8.4 Couple de sortie**

### **8.4.1 Essai de balayage de vitesse sous couple à pleine charge**

Pour le système hybride série, les caractéristiques de couple doivent être vérifiées par rapport à la conception. Il convient de mesurer la contribution de chaque source d'énergie (PPS ou ESS).

La mesure est réalisée conformément à l'IEC 61377:2016, Article 7.

L'essai est réalisé en augmentant et en diminuant graduellement la vitesse avec la commande maximale de couple sur l'ensemble de la plage de vitesses en mode traction et freinage électrique moteur "à chaud". Pendant ce temps, une interruption anormale du système ne doit pas se produire. Il convient que le rythme de changement de vitesse soit adéquat pour chaque application et chaque système.

En cas d'application des commandes maximales de traction ou de freinage, le système hybride série doit fournir le plus de puissance possible automatiquement et indépendamment de l'état de l'ESS.

Les performances maximales peuvent ne pas être disponibles en raison d'une limitation de puissance/d'énergie de l'ESS et/ou de la PPS.

Les caractéristiques amplifiées ou limitées dues à l'ESS doivent être mesurées.

### **8.4.2 Essai de couple de sortie avec le système de stockage de l'énergie seul**

En cas d'exploitation exigeant l'ESS seul, le couple de sortie spécifié doit être réalisé avec la puissance de l'ESS (la PPS étant déconnectée).

## **8.5 Essai de séquence du système**

L'objectif de l'essai de séquence du système est de vérifier que la combinaison des appareils fonctionne comme prévu dans un ordre d'exploitation, sans rapport avec le schéma opérationnel. La séquence d'exploitation suivante doit être vérifiée:

a) démarrage du système

L'alimentation de commande est activée, et les actions nécessaires sont effectuées pour permettre le démarrage du système;

b) mode traction à limitation de puissance selon les conditions de protection

La commande de traction est activée, le circuit de traction est configuré pour la traction et la traction commence. Plusieurs types de commandes d'effort de traction dans la plage de vitesses spécifiée doivent être soumis à l'essai.

Se reporter à l'IEC 61377:2016, Article 7;

c) mode récupération à limitation de puissance selon les conditions de protection

La commande de freinage est activée, le circuit de traction est configuré pour le freinage et le freinage commence. Plusieurs types de commandes d'effort de freinage dans la plage de vitesses spécifiée doivent être soumis à l'essai.

Se reporter à l'IEC 61377:2016, Article 7;

d) déconnexion d'un ou de plusieurs ESS et/ou ESU

Un ou plusieurs ESS et/ou ESU sont déconnectés. Cette séquence doit être appliquée dans les conditions spécifiées. Si cette séquence est réalisée alors que l'ESS/ESU ou le

convertisseur est en fonctionnement, l'ESS/ESU ou le convertisseur doit être arrêté de façon sûre avant déconnexion.

Voir 8.3.3;

e) reconnexion d'un ou de plusieurs ESS et/ou ESU

L'ESS et/ou l'ESU déconnectée à la procédure d) peuvent être reconnectés. Cette séquence doit être appliquée dans les conditions spécifiées. Après cela, l'ESS/ESU reconnecté ou le convertisseur doit démarrer correctement et de la manière spécifiée;

f) déconnexion d'une ou de plusieurs PPS

Une ou plusieurs PPS sont déconnectées. Cette séquence doit être appliquée dans les conditions spécifiées. Si cette séquence est réalisée alors que le convertisseur est en fonctionnement, le convertisseur doit être arrêté de façon sûre avant déconnexion.

Voir 8.3.3;

g) reconnexion d'une ou de plusieurs PPS

La PPS déconnectée à la procédure f) peut être reconnectée. Cette séquence doit être appliquée dans les conditions spécifiées. Après cela, la PPS reconnectée doit démarrer correctement et de la manière spécifiée;

h) arrêt du système

Après exploitation, le système peut être mis hors fonction en utilisant les séquences des commandes de coupure du circuit d'énergie, du circuit de régulation, etc.;

i) mode redondance, mode dégradé

L'essai des modes redondance et dégradé doit être réalisé de la manière spécifiée. Voir 8.3.4.

Aucun comportement anormal (p. ex.: surtensions, surintensités, arrêt imprévu du système, etc.) ne doit être observé.

## 8.6 Efficacité énergétique et consommation d'énergie

### 8.6.1 Généralités

Le système doit être exploité avec une charge équivalente, et la mesure doit être réalisée conformément à l'IEC 61377:2016, 8.3.

La condition de charge peut être différente des conditions réelles en raison des limitations dues aux installations d'essai.

Les essais doivent être réalisés dans des conditions stabilisées, par exemple aux conditions thermiques du convertisseur, du moteur électrique, de l'ESS, etc.

Des résultats de simulation fondés sur une modélisation fiable (confirmés par le biais de mesures antérieures) peuvent être appliqués à la place d'un essai sur la base d'un accord entre l'exploitant et le constructeur.

Pour la méthode de mesure, se reporter à l'IEC 61377. Les critères d'acceptation spécifiés dans l'IEC 61377 excluent la consommation d'énergie de l'ESS. Les critères d'acceptation relatifs à la consommation d'énergie (l'ESS compris) doivent faire l'objet d'un accord entre l'exploitant et le constructeur. Le constructeur a la charge de choisir la précision pertinente de l'équipement de mesure pour les appareils décrits à l'Annexe B, par exemple la PPS (y compris la consommation de combustible), l'ESS.

La présente norme est applicable à la mesure d'essai sur banc et aux essais réalisés sur les véhicules après achèvement pour les essais en usine et sur le terrain. Il est permis d'utiliser un équipement de mesure temporaire, qui est différent du système embarqué de mesure de l'énergie pour l'exploitation commerciale.

Pour les méthodes et définitions relatives à la mesure embarquée d'énergie dans les trains en exploitation commerciale, la série IEC 62888 peut être citée et utilisée pour les essais sur site sur la base d'un accord entre l'exploitant et le constructeur. Par exemple, la valeur efficace peut être utilisée aux fins de calcul de la précision des équipements de mesure de l'énergie (voltmètre, ampèremètre et wattmètre) définis dans l'IEC 62888-2.

## **8.6.2 Mesure de l'efficacité énergétique et de la consommation d'énergie**

### **8.6.2.1 Généralités**

L'efficacité énergétique et la consommation d'énergie dans un mode d'exploitation spécifié (durée, distance, vitesse, etc.) doivent être mesurées.

Pour déterminer l'efficacité énergétique et la consommation d'énergie, la tension et le courant à chaque sous-système de la Figure 2 doivent être mesurés simultanément et intégrés pour le mode d'exploitation spécifié. Si cela est exigé, certains composants peuvent également être mesurés sur la base d'un accord entre l'exploitant et le constructeur.

### **8.6.2.2 Préparation**

Le niveau initial d'énergie dans l'ESS avant démarrage de l'opération spécifiée doit être déterminé.

### **8.6.2.3 Équipement de mesure**

La précision de l'équipement de mesure doit être conforme à l'IEC 61377:2016, 6.4.

### **8.6.2.4 Emplacements de mesure**

Les méthodes de mesure doivent réduire le plus possible les pertes d'énergie dans les bornes et câblages. Les emplacements de mesure sont décrits ci-après.

#### **a) PPS**

La mesure est réalisée à la borne de sortie de la source d'énergie. Les capteurs de courant et de tension pour l'alimentation en courant continu et en courant alternatif peuvent être utilisés pour déterminer la consommation d'énergie de la PPS. Des débitmètres peuvent être utilisés pour mesurer la consommation de gazole ou de combustible gazeux, si cela est exigé.

#### **b) ESS**

La mesure est réalisée à la borne de sortie de l'ESS.

#### **c) Équipement de traction**

La mesure est réalisée aux bornes d'entrée.

#### **d) Résistance de freinage**

La mesure est réalisée aux bornes d'entrée des résistances de freinage.

#### **e) AUX**

Si la puissance principale pour les circuits auxiliaires est fournie par le convertisseur auxiliaire, la mesure est réalisée aux bornes d'entrée du convertisseur auxiliaire.

#### **f) Composants du sous-système**

Si cela est exigé, la mesure des composants peut être effectuée sur la base d'un accord entre l'exploitant et le constructeur afin de déterminer l'efficacité d'un tel composant du sous-système (p. ex.: convertisseur dédié, transformateur d'une PPS alimentée par une ligne de contact en courant alternatif, etc.).

#### **8.6.2.5 Mesure**

L'opération spécifiée pour le nombre spécifié de mesures de la consommation énergétique du mode traction et freinage par récupération doit être répétée.

Après l'essai, l'énergie stockée dans l'ESS et la différence par rapport à l'état initial doit être mesurée et calculée.

Il convient d'équilibrer le SOC/SOE au début et à la fin de chaque schéma opérationnel (cycle de service) ou à la fin de l'ensemble des cycles de service répétés en procédant à une opération de post-exploitation. La post-exploitation peut être réalisée par une charge/décharge hors ligne (p. ex.: source d'énergie interne/externe ou ligne de caténaire).

Le schéma opérationnel et les conditions de charge pour les essais doivent faire l'objet d'un accord entre l'exploitant et le constructeur.

#### **8.6.2.6 Calcul de la consommation d'énergie du système pour garantir le profil**

À la fin de l'essai, la consommation d'énergie du système doit être calculée en retranchant l'énergie stockée dans l'ESS de l'énergie fournie par la source d'énergie. La consommation d'énergie du système inclut l'équipement de traction, la résistance de freinage et les auxiliaires.

En cas de déséquilibre du niveau de charge ou d'énergie dans l'ESS ( $\Delta$ SOC/ $\Delta$ SOE), la différence de charge ou d'énergie peut être ajustée par le biais de la consommation d'énergie.

#### **8.6.2.7 Calcul de la consommation d'énergie spécifique**

En ce qui concerne la consommation d'énergie mesurée en 8.6.2.5, la consommation d'énergie spécifique à la distance de marche et à la charge correspondant au schéma opérationnel applicable doit être calculée.

### **8.6.3 Détermination de la consommation de combustible et des niveaux d'émission de gaz d'échappement (dans le cas d'un moteur thermique ou d'une pile à combustible)**

#### **8.6.3.1 Détermination de la consommation de combustible**

La consommation de combustible relative aux schémas opérationnels et aux conditions de charge spécifiés doit être mesurée ou calculée. Les schémas opérationnels et les conditions de charge sont déterminés sur la base d'un accord entre l'exploitant et le constructeur.

En fonction de l'accord entre l'exploitant et le constructeur, la consommation de combustible est déterminée soit à partir de la consommation réelle de combustible mesurée dans la cuve de combustible, soit à partir de la conversion des données obtenues par un contrôle de l'état de marche du moteur par rapport aux données de consommation de combustible obtenues à partir d'essais stationnaires réalisés préalablement.

#### **8.6.3.2 Détermination des niveaux d'émission de gaz d'échappement**

Les émissions de gaz d'échappement doivent être mesurées ou calculées. Leurs composants doivent être analysés.

En fonction de l'accord entre l'exploitant et le constructeur, les émissions de gaz sont déterminées soit à partir d'une mesure réelle, soit à partir de la conversion des données obtenues par un contrôle de l'état de marche du moteur par rapport aux données d'émission de gaz obtenues à partir d'essais stationnaires réalisés préalablement.

## **8.7 Durée de marche du véhicule sur l'ESS**

### **8.7.1 Généralités**

Cet essai est réalisé pour vérifier l'aptitude de l'ESS à fournir de l'énergie dans le cadre de l'opération exigée.

Des résultats de simulation fondés sur une modélisation fiable (confirmés par le biais d'une mesure antérieure) peuvent être appliqués à la place des essais sur la base d'un accord entre l'exploitant et le constructeur, en raison de certaines limitations dues aux installations d'essai par exemple.

### **8.7.2 Mesure de durée de l'ESS**

La PPS étant déconnectée, l'opération spécifiée (durée, distance, vitesse, etc.) doit être réalisée en utilisant la puissance produite par l'ESS.

La PPS étant déconnectée, la durée de marche doit être vérifiée lorsque l'ESS seul est utilisé.

Cette mesure n'est pas exigée pour les systèmes qui ne peuvent pas fonctionner grâce à la puissance produite par un ESS seul.

## **8.8 Essai d'environnement**

### **8.8.1 Généralités**

Le système doit être exploité dans la plage de températures spécifiée (températures basse et haute). Cet essai porte principalement sur l'ESU.

Les essais au niveau des composants ou les résultats d'essai fiables relatifs à des systèmes existants similaires peuvent être utilisés sur la base d'un accord entre l'exploitant et le constructeur.

### **8.8.2 Essai d'exploitation à basse température**

Une fois que l'exploitation a débuté à la température limite basse de la classe de température spécifiée (p. ex.: température ambiante de  $-25\text{ °C}$  pour T1; IEC 62498-1:2010, Tableau 2) pour l'ESU, le temps nécessaire pour atteindre l'état où le schéma opérationnel spécifié peut être fourni par l'ESU doit être mesuré. Il convient d'étudier les conditions stabilisées de fonctionnement en termes de température (chauffage, refroidissement, etc.) de l'ESU.

Un essai de sous-système partiel est acceptable sous réserve qu'il existe un accord entre l'exploitant et le constructeur.

S'il existe des restrictions dues à l'infrastructure d'essai, la méthode d'essai doit être définie sur la base d'un accord entre l'exploitant et le constructeur.

### **8.8.3 Essai d'exploitation à haute température**

Le schéma opérationnel spécifié à la température limite haute (p. ex.:  $50\text{ °C}$  dans le boîtier d'équipement pour T1; IEC 62498-1:2010, Tableau 2) pour l'ESU doit être mesuré. Il convient d'étudier les conditions stabilisées de fonctionnement en termes de température (chauffage, refroidissement, etc.) de l'ESU.

Un essai de sous-système partiel est acceptable sous réserve qu'il existe un accord entre l'exploitant et le constructeur.

S'il existe des restrictions dues à l'infrastructure d'essai, la méthode d'essai doit être définie sur la base d'un accord entre l'exploitant et le constructeur.

NOTE Par exemple, si l'essai n'est pas réalisé à la température ambiante maximale spécifiée, les résultats de mesure de température sont corrigés de manière linéaire (entre 10 °C et 40 °C) ou par le biais d'un modèle de simulation thermique (p. ex.: en tenant compte des variations intervenant au sein de la résistance interne) pour extrapoler les résultats à la température d'exploitation maximale.

### **8.9 Essai de protection contre les courts-circuits**

Les bornes spécifiées de l'ESS doivent être court-circuitées à l'aide des dispositifs adéquats convenus entre l'exploitant et le constructeur.

Il est admis de réaliser cet essai en créant la condition de défaut à l'état bloqué, avant démarrage du système.

Dans l'éventualité d'un court-circuit, l'ESS doit réagir conformément aux définitions du concept de protection du système hybride convenues entre l'exploitant et le constructeur.

S'il existe une restriction due à la possibilité d'endommagement des installations du banc d'essai, la méthode d'essai doit être définie sur la base d'un accord entre l'exploitant et le constructeur.

### **8.10 Essai d'endurance de l'ESU**

L'essai d'endurance doit être réalisé au niveau des sous-composants conformément aux normes applicables:

- pour les condensateurs électriques à double couche (EDLC), l'essai de cycle d'endurance doit être réalisé selon l'IEC 61881-3;
- dans le cas d'une batterie lithium-ion, l'endurance en cycles d'essai est spécifiée dans l'IEC 62928.

Des résultats de simulation pour l'endurance fondés sur une modélisation fiable (confirmés par le biais de mesures antérieures) peuvent être appliqués sur la base d'un accord entre l'exploitant et le constructeur, notamment pour le cycle de service en exploitation commerciale par exemple.

## **9 Essai du véhicule**

### **9.1 Généralités**

Les essais à réaliser sur les véhicules hybrides après achèvement sont donnés ci-après.

Sauf spécification contraire ci-dessous, les essais relatifs aux véhicules après achèvement se rapportent à l'IEC 61133.

Des résultats de simulation fondés sur une modélisation fiable (confirmés par le biais d'une mesure antérieure) peuvent être appliqués à la place des essais sur la base d'un accord entre l'exploitant et le constructeur, en raison de certaines limitations dues aux installations d'essai par exemple.

### **9.2 Essai de déconnexion de l'ESS**

L'ESS doit être déconnecté instantanément et sûrement de manière automatique ou manuelle en cas d'urgence ou de défaillance. Si un sectionneur manuel et/ou automatique est installé (p. ex.: à des fins de maintenance), il doit être soumis à l'essai.

NOTE Cet essai est réalisé dans le cadre de l'essai de séquence du véhicule.

### 9.3 Essai de séquence du véhicule

L'objectif de l'essai de séquence du véhicule est de vérifier que le véhicule après achèvement fonctionne comme prévu dans une séquence d'exploitation. La séquence d'exploitation suivante doit être vérifiée:

a) démarrage du système

L'alimentation de commande est activée, et les actions nécessaires sont effectuées pour permettre le démarrage du véhicule;

b) mode traction

La commande de traction est activée, le circuit de traction est configuré pour la traction et la traction commence. Plusieurs types de commandes d'effort de traction dans la plage de vitesses spécifiée, y compris l'amplification de puissance (voir Figure 10) et/ou les limitations de puissance (voir Figure 11) s'il y a lieu, doivent être soumis à l'essai.

Se reporter à l'IEC 61133:2016, 9.2;

c) mode freinage électrique

La commande de freinage est activée, le circuit de traction est configuré pour le freinage et le freinage commence. Plusieurs types de commandes d'effort de freinage dans la plage de vitesses spécifiée, y compris l'amplification de puissance (voir Figure 10) et/ou les limitations de puissance (voir Figure 11) s'il y a lieu, doivent être soumis à l'essai.

Se reporter à l'IEC 61133:2016, 9.2;

d) déconnexion d'un ou de plusieurs ESS et/ou ESU

Un ou plusieurs ESS et/ou ESU sont déconnectés. Cette séquence doit être appliquée dans les conditions spécifiées. Si cette séquence est réalisée alors que l'ESS/ESU ou le convertisseur est en fonctionnement, l'ESS/ESU ou le convertisseur doit être arrêté de façon sûre avant déconnexion.

Voir 9.2;

e) reconnexion d'un ou de plusieurs ESS et/ou ESU

L'ESS et/ou l'ESU déconnectée à la procédure d) peuvent être reconnectés. Cette séquence doit être appliquée dans les conditions spécifiées. Après reconnexion, l'ESS/ESU ou le convertisseur doit démarrer correctement si les défaillances sont éliminées ou que le composant/système défaillant est déconnecté de façon sûre;

f) déconnexion d'une ou de plusieurs PPS

Une ou plusieurs PPS sont déconnectées. Cette séquence doit être appliquée dans les conditions spécifiées. Si cette séquence est réalisée alors que le convertisseur est en fonctionnement, le convertisseur doit être arrêté de façon sûre avant déconnexion;

g) reconnexion d'une ou de plusieurs PPS

La PPS déconnectée à la procédure f) peut être reconnectée. Cette séquence doit être appliquée dans les conditions spécifiées. Après reconnexion, le véhicule doit démarrer correctement si les défaillances sont éliminées ou que le composant/système défaillant est déconnecté de façon sûre;

h) arrêt du système

Après exploitation, le véhicule peut être mis hors fonction par les commandes conformément aux séquences de coupure du circuit d'énergie, du circuit de régulation, etc.

i) mode redondance, mode dégradé

L'essai des modes redondance et dégradé doit être réalisé de la manière spécifiée.

Aucun comportement anormal (p. ex.: surtensions, surintensités, arrêt imprévu du système, etc.) ne doit être observé.

#### **9.4 Mesure de la consommation d'énergie du système de propulsion**

La consommation d'énergie doit être mesurée pour les sections, les schémas opérationnels et les conditions de charge spécifiés par l'exploitant. Les schémas opérationnels et les conditions de charge sont déterminés sur la base d'un accord entre l'exploitant et le constructeur.

Pour la méthode de mesure, se reporter à 8.6.2.

NOTE L'altitude des positions de début et de fin est prise en compte dans l'évaluation des résultats de mesure.

#### **9.5 Détermination de la consommation de combustible et des niveaux d'émission de gaz d'échappement (dans le cas d'un moteur thermique ou d'une pile à combustible)**

##### **9.5.1 Détermination de la consommation de combustible**

La détermination de la consommation de combustible se rapporte à 8.6.3.1 et est applicable au niveau du véhicule.

##### **9.5.2 Détermination des niveaux d'émission de gaz d'échappement**

La détermination des niveaux d'émission de gaz d'échappement se rapporte à 8.6.3.2 et est applicable au niveau du véhicule.

#### **9.6 Mesure de la consommation d'énergie du circuit auxiliaire**

La consommation d'énergie du circuit auxiliaire doit être mesurée, car les auxiliaires (p. ex.: auxiliaires de confort) qui constituent le consommateur principal d'énergie peuvent exercer une influence significative sur l'exploitation du système hybride.

Si l'APS assure l'alimentation électrique des circuits auxiliaires, la mesure est réalisée à la borne d'entrée de l'APS.

S'il existe des circuits autres que la charge sur l'APS, mesurer la consommation d'énergie dans chacun d'entre eux.

#### **9.7 Durée de marche du véhicule sur l'ESS**

La détermination de la durée de marche sur l'ESS se rapporte à 8.7.2 et est applicable au niveau du véhicule.

#### **9.8 Détermination des émissions acoustiques**

Le bruit du véhicule en marche et à l'état stationnaire doit être déterminé.

La détermination des émissions acoustiques se rapporte à l'IEC 61133:2016, 9.17.

Mais en tenant compte du fonctionnement intermittent du moteur et du radiateur spécifique au système hybride, le bruit doit être déterminé conjointement au démarrage/à l'arrêt de la PPS (p. ex.: moteur diesel ou radiateur) sous certains types de conditions.

Si nécessaire, la mesure du bruit au niveau d'un composant ou sous-composant lors de l'essai de composant ou de l'essai sur banc peut être réalisée sur la base d'un accord entre l'exploitant et le constructeur.

## Annexe A (informative)

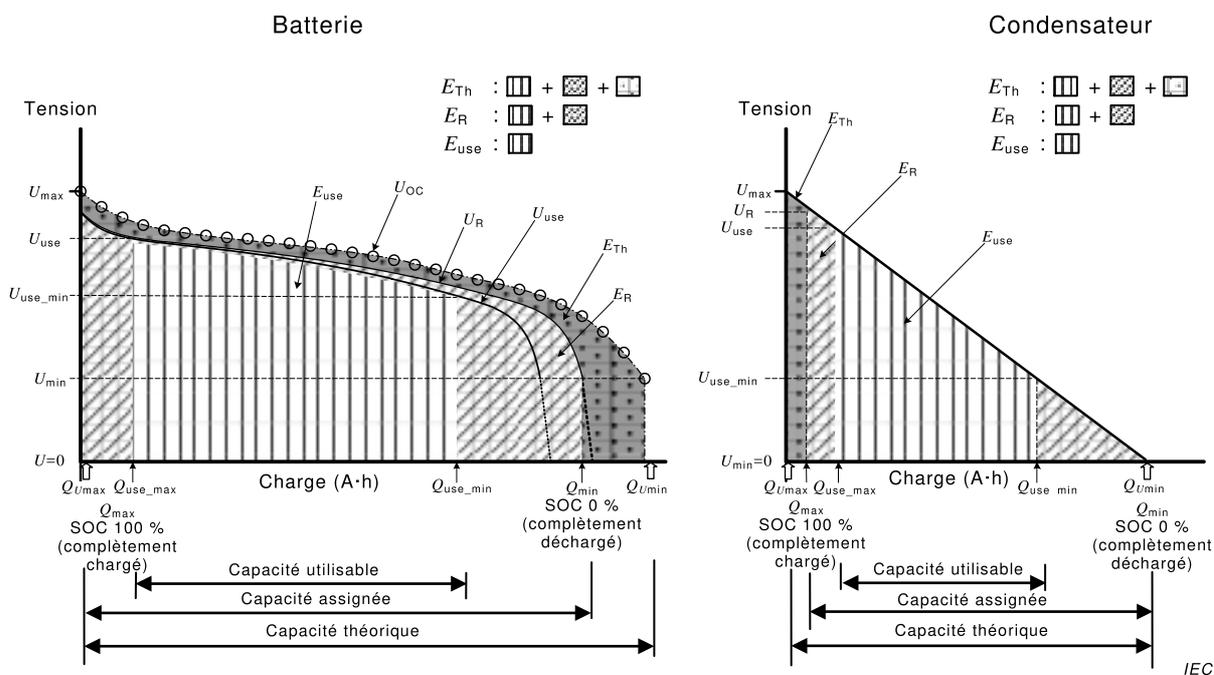
### État de charge (SOC) et état d'énergie (SOE) pour les batteries et les condensateurs

#### A.1 Teneur en capacité et en énergie

##### A.1.1 Généralités

Dans la présente norme internationale, la capacité et l'énergie sont définies dans trois contextes distincts: théorique, assigné et utilisable. L'objectif principal de l'Annexe A est de décrire et clarifier les définitions ou relations appliquées dans l'ESU utilisant des batteries et/ou des condensateurs comme technologies de stockage.

Par exemple, la Figure A.1 représente la différence de chaque définition de la teneur en capacité et en énergie pour les batteries et les condensateurs.



#### Légende

$E_{Th}$	Énergie théorique	$E_R$	Capacité assignée	$E_{Use}$	Énergie utilisable
$Q_{max}$	Charge maximale	$Q_{min}$	Charge minimale		
$Q_{U_{max}}$	Charge à la tension maximale	$Q_{U_{min}}$	Charge à la tension minimale		
$Q_{Use_{max}}$	Charge utilisable maximale	$Q_{Use_{min}}$	Charge utilisable minimale		
$U$	Tension	$U_{OC}$	Tension en circuit ouvert		
$U_R$	Tension assignée	$U_{max}$	Tension maximale	$U_{min}$	Tension minimale
$U_{Use}$	Tension utilisable maximale	$U_{Use_{min}}$	Tension utilisable minimale		

NOTE Pour les batteries: pour les courants très faibles, la teneur en énergie utilisable est similaire à l'énergie assignée.

**Figure A.1 – Différence de teneur en capacité et en énergie**

### A.1.2 Énergie théorique

L'énergie théorique,  $E_{Th}$ , est définie en 3.1.18.1. Il s'agit de la quantité d'énergie à une valeur très faible du courant de décharge (qui peut être déchargée de l'appareil de stockage de l'énergie sans pertes d'énergie, par exemple, par chauffage ohmique ou par effet Joule) représentant la quantité maximale d'énergie stockée dans l'ESU.

Pour les condensateurs, l'énergie théorique est fondée sur la tension maximale:

$$E_{Th} = \frac{1}{2} C U_{max}^2$$

où

$E_{Th}$  est l'énergie théorique;

$C$  est la capacitance;

$U_{max}$  est la tension maximale.

NOTE Pour la mesure de la capacitance, se reporter à l'IEC 61881-3.

Pour la technologie de condensateur, l'intégralité de la charge électrique peut être éliminée ou déchargée de la paire d'électrodes et la tension théorique minimale correspondante est par conséquent nulle, autrement dit  $U_{min} = 0$ .

### A.1.3 Énergie assignée

L'énergie assignée est définie en 3.1.18.2. Il s'agit de la quantité d'énergie qui peut être déchargée de l'ESU dans les conditions de "régime assigné".

Pour les batteries, l'énergie assignée correspond à l'intégrale du produit du courant constant lors de l'essai de décharge et de la tension mesurée (p. ex.: régime  $C_5$ ).

Par exemple, pour une batterie lithium-ion, se reporter au résultat de l'IEC 62928 en ce qui concerne l'énergie assignée et conformément à l'IEC 62620.

Pour les condensateurs, l'énergie assignée est pratiquement fondée sur la tension assignée:

$$E_R = \frac{1}{2} C U_R^2$$

où

$E_R$  est l'énergie assignée;

$C$  est la capacitance;

$U_R$  est la tension assignée.

NOTE Pour les condensateurs électriques à double couche (EDLC), l'énergie  $E_R$  n'est pas obtenue intégralement du fait de pertes au niveau de la résistance-série équivalente du condensateur (ESR).

### A.1.4 Énergie utilisable

L'énergie utilisable est définie en 3.1.18.3. Il s'agit de la portion utilisable de l'énergie disponible dans une plage prédéfinie de limites de SOC ou de tension. Les limites minimale et maximale sont des paramètres habituellement définis par l'exploitant ou le constructeur.

Par exemple, il est permis de définir les paramètres tels que la puissance, le courant, ainsi que la limite minimale ou maximale de tension pour l'équipement utilisé.

Pour les batteries, l'énergie utilisable correspond à l'énergie qui peut être utilisée sans limitation du cycle de service initialement convenu entre l'exploitant et le constructeur.

Pour les condensateurs, l'énergie utilisable correspond effectivement à la différence entre les énergies à la tension de charge et à la tension utilisable minimale:

$$E_{\text{use}} = \frac{1}{2} C U_{\text{use}}^2 - \frac{1}{2} C U_{\text{use\_min}}^2$$

où

$E_{\text{use}}$  est l'énergie utilisable;

$C$  est la capacitance;

$U_{\text{use}}$  est la tension utilisable maximale;

$U_{\text{use\_min}}$  est la tension utilisable minimale.

NOTE Pour les condensateurs électriques à double couche (EDLC), l'énergie  $E_{\text{use}}$  n'est pas obtenue intégralement du fait de pertes au niveau de la résistance-série équivalente du condensateur (ESR).

## A.2 Teneur en SOC et en SOE

### A.2.1 Généralités

Du fait qu'il existe plusieurs définitions pour la capacité et l'énergie, l'état de charge (SOC) et l'état d'énergie (SOE) en tant que combinaison des teneurs en capacité et en énergie peuvent également être définis de la manière décrite dans la présente norme.

Il convient de choisir une définition adéquate selon les fins et applications prévues.

En général, le SOC est un rapport relatif entre la capacité restant dans l'ESU et la quantité maximale disponible par définition (à savoir théorique, assignée ou utilisable). La quantité de SOC est habituellement exprimée sous la forme de décimales (0,0 à 1,0) ou d'un pourcentage (%). Une valeur de SOC égale à 1,0 ou à 100 % représente l'état complètement chargé, alors qu'une valeur égale à 0,0 ou à 0 % représente l'état complètement déchargé. D'une manière similaire, le SOE est une mesure de l'énergie relative disponible dans l'ESU, également exprimée sous la forme de décimales ou d'un pourcentage.

### A.2.2 Contexte théorique

Dans le contexte théorique, les définitions suivantes s'appliquent:

$$\text{SOC}_{\text{Th}} = \frac{CH_{\text{Th\_remaining}}}{CH_{\text{Th}}}$$

$$\text{SOE}_{\text{Th}} = \frac{E_{\text{Th\_remaining}}}{E_{\text{Th}}}$$

où

$CH_{\text{Th}}$  est la capacité théorique, en Ah;

$CH_{\text{Th\_remaining}}$  est la capacité théorique restante, en Ah;

$E_{\text{Th}}$  est l'énergie théorique, en Wh;

$E_{\text{Th\_remaining}}$  est l'énergie théorique restante, en Wh.

### A.2.3 Contexte courant

Dans le contexte courant, les définitions suivantes s'appliquent:

$$\text{SOC} = \frac{CH_{R\_remaining}}{CH_R}$$

$$\text{SOE} = \frac{E_{R\_remaining}}{E_R}$$

où

$CH_R$  est la capacité assignée, en Ah;

$CH_{R\_remaining}$  est la capacité assignée restante, en Ah;

$E_R$  est l'énergie assignée, en Wh;

$E_{R\_remaining}$  est l'énergie assignée restante, en Wh.

### A.2.4 Contexte effectif ou pratique

Dans le contexte effectif ou pratique, les définitions suivantes s'appliquent:

$$\text{SOC}_{\text{Ef}} = \frac{CH_{\text{use\_remaining}}}{CH_{\text{use}}}$$

$$\text{SOE}_{\text{Ef}} = \frac{E_{\text{use\_remaining}}}{E_{\text{use}}}$$

où

$CH_{\text{use}}$  est la capacité utilisable, en Ah;

$CH_{\text{use\_remaining}}$  est la capacité utilisable restante, en Ah;

$E_{\text{use}}$  est l'énergie utilisable, en Wh;

$E_{\text{use\_remaining}}$  est l'énergie utilisable restante, en Wh.

### A.2.5 Coefficient d'utilisation

Dans le contexte du coefficient d'utilisation, les définitions suivantes s'appliquent pour le début de vie (BOL) et la fin de vie (EOL).

$$\text{COU}_{\text{SOC}} = \frac{CH_{\text{use}}}{CH_R}$$

$$\text{COU}_{\text{SOE}} = \frac{E_{\text{use}}}{E_R}$$

où

$CH_R$  est la capacité assignée, en Ah;

$CH_{\text{use}}$  est la capacité utilisable, en Ah;

$E_R$  est l'énergie assignée, en Wh;

$E_{\text{use}}$  est l'énergie utilisable, en Wh.

NOTE Si nécessaire, d'autres combinaisons peuvent être utilisées pour exprimer les rapports de teneurs différentes en capacité et en énergie.

$$\text{COU}_{\text{SOC}_R_{\text{Th}}} = \frac{CH_R}{CH_{\text{Th}}}$$

$$\text{COU}_{\text{SOE}_R_{\text{Th}}} = \frac{E_R}{E_{\text{Th}}}$$

$$\text{COU}_{\text{SOC}_{\text{use}}_{\text{Th}}} = \frac{CH_{\text{use}}}{CH_{\text{Th}}}$$

$$\text{COU}_{\text{SOE}_{\text{use}}_{\text{Th}}} = \frac{E_{\text{use}}}{E_{\text{Th}}}$$

## **Annexe B** (informative)

### **Termes et définitions relatifs à l'énergie**

#### **B.1 Généralités**

La présente annexe donne les définitions et termes relatifs à l'énergie, et décrit les méthodes de calcul utilisées.

Il convient de noter que différentes définitions sont couramment utilisées pour désigner le même mot "efficacité de récupération". Soit l'exemple d'architecture système donné à la Figure 9 (système non hybride alimenté par une ligne de contact). Il est courant d'évaluer les performances de récupération de ce système en procédant à une mesure de la puissance transmise entre le véhicule et le réseau d'alimentation électrique à travers les organes de captage du courant (p. ex.: pantographes ou frotteurs). Toutefois, cela signifie généralement que le flux de puissance peut être positif (entre le réseau d'alimentation électrique et le véhicule) lorsque l'équipement de traction récupère de la puissance qui est inférieure à la puissance fournie aux charges auxiliaires.

Par conséquent, même lorsque les pertes au niveau du sous-système PPS de la Figure 9 sont ignorées, l'énergie fournie, l'énergie régénérée et l'énergie consommée, le coefficient de récupération ainsi que de nombreux autres indices de performances du véhicule peuvent différer de manière significative par rapport à ceux définis pour l'équipement de traction au titre de cette définition.

Il convient de noter également que l'interprétation adéquate des indices énergétiques diffère de manière significative d'une configuration à l'autre. Par exemple, dans la configuration de la Figure 6, l'énergie régénérée transférée à la PPS est essentiellement restituée au réseau d'alimentation électrique. Toutefois, à la Figure 4, elle est absorbée par le frein moteur ou le frein sur échappement; il convient par conséquent de la traiter d'une manière différente.

Par conséquent, il convient de définir clairement les indices de performances d'efficacité énergétique et de les traiter de manière adéquate en fonction de la configuration du système.

#### **B.2 Termes et définitions relatifs aux indices de récupération**

##### **B.2.1**

##### **sous-système de source de puissance**

élément d'un système hybride série dont la fonction principale est d'alimenter en puissance les autres parties du système

Note 1 à l'article: Un ESS peut être considéré à la fois comme une source d'énergie et un collecteur d'énergie selon le contexte.

##### **B.2.2**

##### **sous-système collecteur de puissance**

élément d'un système hybride série dont la fonction principale est de recevoir de la puissance des autres parties du système et de la consommer afin de remplir sa fonction spécifique

Note 1 à l'article: Voir la note à l'article B.2.1.

##### **B.2.3**

##### **énergie fournie**

<sous-système de source de puissance dans un système hybride série> quantité d'énergie transmise par le sous-système de source de puissance aux autres parties du système durant un schéma opérationnel spécifié

<sous-système collecteur de puissance dans un système hybride série> quantité d'énergie transmise par les autres parties du système au sous-système collecteur de puissance durant un schéma opérationnel spécifié

<véhicule ferroviaire utilisant des lignes de contact> quantité d'énergie transmise par les lignes de contact au véhicule durant un schéma opérationnel spécifié

#### **B.2.4**

##### **énergie régénérée**

<sous-système de source de puissance dans un système hybride série> quantité d'énergie transmise par les autres parties du système au sous-système de source de puissance durant un schéma opérationnel spécifié

<sous-système collecteur de puissance dans un système hybride série> quantité d'énergie transmise par le sous-système collecteur de puissance aux autres parties du système durant un schéma opérationnel spécifié

<véhicule ferroviaire utilisant des lignes de contact> quantité d'énergie transmise par le véhicule à la ligne de contact durant un schéma opérationnel spécifié

#### **B.2.5**

##### **énergie consommée**

quantité d'énergie obtenue en retranchant l'énergie régénérée de l'énergie fournie

#### **B.2.6**

##### **efficacité de récupération**

rapport de l'énergie régénérée à l'énergie fournie

### **B.3 Indices de performances énergétiques des systèmes hybrides série**

#### **B.3.1 Généralités**

Dans l'évaluation de l'efficacité énergétique des systèmes hybrides série, l'indice de performance le plus important est la consommation d'énergie (voir 3.1.8).

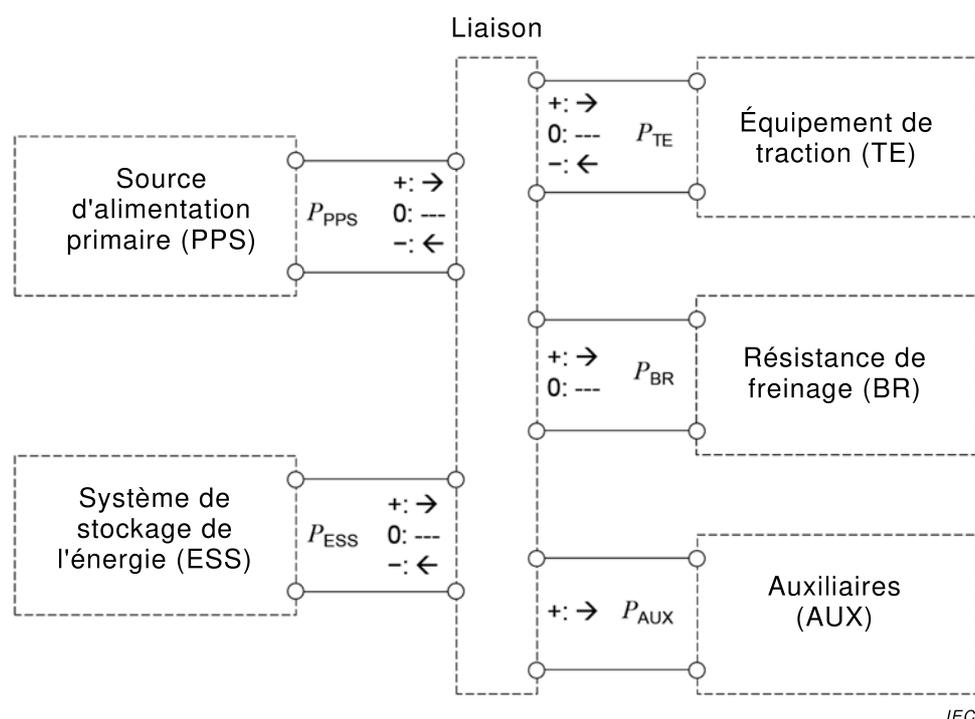
D'autres indices de performances (énergie fournie, énergie régénérée et/ou énergie consommée par chaque sous-système du système hybride série et/ou par le système hybride série dans son ensemble, efficacité de récupération de l'équipement de traction et/ou de l'ensemble du système hybride série, etc.) peuvent être utilisés, et il convient de les prendre en compte s'il y a lieu.

Les objectifs possibles des indices définis à la présente annexe incluent, mais sans s'y limiter, l'évaluation de la contribution de chacun des sous-systèmes d'un système hybride dans les économies d'énergie.

#### **B.3.2 Emplacements de mesure**

Dans le calcul des indices décrits dans la présente annexe, les flux de puissance doivent être mesurés entre le bloc liaison et les sous-systèmes du système hybride. Dans l'exemple de configuration de la Figure B.1, ces flux de puissance sont identifiés par  $P_{PPS}$ ,  $P_{ESS}$ ,  $P_{TE}$ ,  $P_{BR}$  et  $P_{AUX}$ .

NOTE Inévitablement, des pertes sont observées dans le bloc liaison à la Figure B.1. Toutefois, ces pertes sont généralement faibles et ont donc été ignorées dans les parties suivantes de la présente annexe.



#### Légende

- $P_{PPS}$  Puissance de la source d'alimentation primaire (PPS)
- $P_{TE}$  Puissance de l'équipement de traction (TE)
- $P_{ESS}$  Puissance du système de stockage de l'énergie (ESS)
- $P_{BR}$  Puissance de la résistance de freinage (BR)
- $P_{AUX}$  Puissance des auxiliaires (AUX)

**Figure B.1 – Exemple de diagramme fonctionnel d'un système hybride série**

Par ailleurs, les éléments suivants doivent être mesurés :

- pour le véhicule alimenté par la ligne de contact, la puissance électrique prise par le véhicule à travers les organes de captage du courant; et
- pour le véhicule alimenté par la PPS qui consomme du combustible ou du gaz, la consommation de combustible ou de gaz au moyen de débitmètres.

Comme indiqué en 8.6.2.4, les mesures doivent être réalisées aux bornes de liaison de chaque sous-système au bloc Liaison (voir Figure B.1).

### B.3.3 Classe de la source d'alimentation primaire

Pour les besoins de la description de la présente annexe, les sources d'alimentation primaire du système hybride peuvent être réparties en deux classes :

- Classe 0: la source d'alimentation primaire qui :
  - soit ne peut pas absorber la puissance de récupération;
  - soit peut absorber et dissiper la puissance de récupération, mais ne peut pas réutiliser l'énergie restituée.
- Classe 1: la source d'alimentation primaire qui peut absorber la puissance de récupération et réutiliser l'énergie restituée de manière efficace.

Parmi les exemples donnés à l'Article 4, les PPS diesel électriques et les PPS à pile à combustible appartiennent à la Classe 0 tandis que les PPS à ligne de contact appartiennent à la Classe 1.

### B.3.4 Consommation d'énergie

#### B.3.4.1 Consommation d'énergie par l'équipement de traction

L'énergie fournie, l'énergie régénérée et l'énergie consommée de l'équipement de traction (voir Figure B.1) peuvent être exprimées à partir des équations suivantes:

$$E_{S,TE} = \int_{t=T_S}^{T_E} \max(P_{TE}(t),0)dt \quad (B.1)$$

$$E_{R,TE} = \int_{t=T_S}^{T_E} \max(-P_{TE}(t),0)dt \quad (B.2)$$

$$E_{C,TE} = E_{S,TE} - E_{R,TE} \quad (B.3)$$

où  $E_{S,TE}$ ,  $E_{R,TE}$  et  $E_{C,TE}$  représentent l'énergie fournie, l'énergie régénérée et l'énergie consommée de l'équipement de traction,  $t$  représente le temps,  $P_{TE}(t)$  représente le flux de puissance  $P_{TE}$  (voir Figure 3) au temps  $t$ ,  $T_S$  et  $T_E$  représentent les temps de début et de fin du schéma opérationnel donnés en tant que condition d'évaluation, et  $\max(a, b)$  est égal à  $a$  si  $a > b$  ou à  $b$  dans les autres cas. Des définitions similaires peuvent être données pour l'énergie fournie, l'énergie régénérée et l'énergie consommée par les autres sous-systèmes du système hybride série ou par le système hybride série dans son ensemble (plus particulièrement les systèmes hybrides série destinés aux véhicules alimentés par une ligne de contact).

#### B.3.4.2 Consommation d'énergie au niveau des organes de captage du courant

Pour les véhicules ferroviaires alimentés par une ligne de contact (y compris les véhicules sans systèmes hybrides), l'énergie fournie et l'énergie restituée au niveau des organes de captage du courant (p. ex.: pantographes si la ligne de contact est la ligne aérienne) peuvent être exprimées à partir des équations suivantes:

$$E_{S,CC} = \int_{t=T_S}^{T_E} \max(P_{CC}(t),0)dt \quad (B.4)$$

$$E_{R,CC} = \int_{t=T_S}^{T_E} \max(-P_{CC}(t),0)dt \quad (B.5)$$

$$E_{C,CC} = E_{S,CC} - E_{R,CC} \quad (B.6)$$

où  $t$ ,  $T_S$ ,  $T_E$  et  $\max(a, b)$  sont telles qu'en B.3.4.1,  $E_{S,CC}$ ,  $E_{R,CC}$  et  $E_{C,CC}$  représentent l'énergie fournie, l'énergie régénérée et l'énergie consommée au niveau de l'organe de captage du courant, et  $P_{CC}(t)$  correspond à l'entrée de puissance au niveau de l'organe de captage du courant (lorsque  $P_{CC} < 0$ , la puissance retourne à la ligne de contact en traversant le véhicule) au temps  $t$ .

Il convient de noter que le signe (+, 0 ou -) de la puissance fournie à l'équipement de traction  $P_{TE}$  et le signe de  $P_{CC}$  ne coïncident pas toujours, même dans le cas de véhicules non hybrides.

Pour cette évaluation, si un ESS embarqué est présent, son SOC et/ou le SOE doivent être égaux aux temps  $t = T_S$  et  $t = T_E$ , spécifiés en 8.6.2.5.

### B.3.4.3 Consommation d'énergie électrique du système hybride

L'énergie électrique fournie et l'énergie électrique restituée par la source d'alimentation primaire dans le système hybride peuvent être exprimées à partir des équations suivantes:

$$E_{S,PPS} = \int_{t=T_S}^{T_E} \max(P_{PPS}(t), 0) dt \quad (B.7)$$

$$E_{R,PPS} = \int_{t=T_S}^{T_E} \max(-P_{PPS}(t), 0) dt \quad (B.8)$$

$$E_{C,PPS} = E_{S,PPS} - E_{R,PPS} \quad (B.9)$$

où  $t$ ,  $T_S$ ,  $T_E$  et  $\max(a, b)$  sont telles qu'en B.3.4.1,  $E_{S,PPS}$ ,  $E_{R,PPS}$  et  $E_{C,PPS}$  représentent l'énergie électrique fournie, l'énergie électrique régénérée et l'énergie électrique consommée à la source d'alimentation primaire, et  $P_{PPS}(t)$  représente le flux de puissance  $P_{PPS}$  (voir Figure B.1) au temps  $t$ .

Pour cette évaluation, si un ESS embarqué est présent, son SOC et/ou le SOE doivent être égaux aux temps  $t = T_S$  et  $t = T_E$ , spécifiés en 8.6.2.5.

Si la source d'énergie primaire appartient à la Classe 1 selon la définition donnée en B.3.3, la consommation d'énergie électrique du système hybride est égale à la valeur  $E_{C,PPS}$  définie dans l'Équation (B.9).

Si la source d'énergie primaire appartient à la Classe 0 selon la définition donnée en B.3.3, la consommation d'énergie électrique du système hybride est égale à la valeur  $E_{S,PPS}$  définie dans l'Équation (B.7).

### B.3.4.4 Pertes dans l'ESS

En prenant pour hypothèse que le sous-système collecteur de puissance est un ESS, l'énergie fournie, l'énergie régénérée et l'énergie consommée peuvent être exprimées à partir des équations suivantes:

$$E_{S,ESS} = \int_{t=T_S}^{T_E} \max(-P_{ESS}(t), 0) dt \quad (B.10)$$

$$E_{R,ESS} = \int_{t=T_S}^{T_E} \max(P_{ESS}(t), 0) dt \quad (B.11)$$

$$E_{C,ESS} = E_{S,ESS} - E_{R,ESS} \quad (B.12)$$

où  $t$ ,  $T_S$ ,  $T_E$  et  $\max(a, b)$  sont telles qu'en B.3.4.1,  $E_{S,ESS}$ ,  $E_{R,ESS}$  et  $E_{C,ESS}$  représentent l'énergie électrique fournie, l'énergie électrique régénérée et l'énergie électrique consommée de l'ESS, et  $P_{ESS}(t)$  représente le flux de puissance  $P_{ESS}$  (voir Figure B.1) au temps  $t$ . La valeur  $E_{C,ESS}$ , telle que définie ici, représente les pertes occasionnées au sein de l'ESS durant le schéma opérationnel donné.

Pour cette évaluation, le SOC et/ou le SOE de l'ESS doivent être égaux aux temps  $t = T_S$  et  $t = T_E$ , spécifiés en 8.6.2.5.

### B.3.5 Efficacité de récupération

#### B.3.5.1 Généralités

La définition adéquate de l'efficacité de récupération d'un système hybride dans son ensemble dépend de sa configuration.

L'efficacité de récupération peut dépasser 100 % selon le schéma opérationnel, par exemple lorsque le véhicule descend une pente.

#### B.3.5.2 Efficacité de récupération de l'équipement de traction

L'efficacité de récupération de l'équipement de traction  $RE_{TE}$ , en %, peut être exprimée à partir de l'équation suivante:

$$RE_{TE} = \frac{E_{R,TE}}{E_{S,TE}} \times 100 \quad (B.13)$$

où  $E_{S,TE}$  et  $E_{R,TE}$  sont tels que définis en B.3.4.1.

#### B.3.5.3 Efficacité de récupération du véhicule alimenté par une ligne de contact

L'efficacité de récupération du véhicule alimenté par une ligne de contact (y compris les véhicules non hybrides)  $RE_{CC}$ , en %, peut être exprimée à partir de l'équation suivante:

$$RE_{CC} = \frac{E_{R,CC}}{E_{S,CC}} \times 100 \quad (B.14)$$

où  $E_{S,CC}$  et  $E_{R,CC}$  sont tels que définis en B.3.4.4.

Il convient de noter que la valeur  $RE_{CC}$  du véhicule hybride (véhicule équipé d'un ESS embarqué) est généralement inférieure à celle du véhicule non hybride (véhicule sans ESS embarqué) fonctionnant selon le même schéma opérationnel.

NOTE Pour cette évaluation, si un ESS embarqué est présent, son SOC et/ou le SOE sont jugés équilibrés comme décrit ci-dessus.

#### B.3.5.4 Efficacité de récupération du système hybride

La définition générique de l'efficacité de récupération peut être donnée de la manière suivante, en utilisant le concept de la classe de la source d'alimentation primaire définie en B.3.3.

Pour les systèmes hybrides alimentés par une PPS de Classe 1, leur efficacité de régénération  $RE_1$ , en %, peut être calculée ainsi:

$$RE_1 = \frac{E_{R,TE} - E_{S,BR}}{E_{S,TE}} \times 100 \quad (\text{B.15})$$

où  $E_{S,TE}$  et  $E_{R,TE}$  sont tels que définis en B.3.4.1, et  $E_{S,BR}$  est tel que défini dans l'équation suivante:

$$E_{S,BR} = \int_{t=T_s}^{T_E} P_{BR}(t) dt \quad (\text{B.16})$$

Pour les systèmes hybrides alimentés par une PPS de Classe 0, leur efficacité de régénération  $RE_0$ , en %, peut être calculée ainsi:

$$RE_0 = \frac{E_{R,TE} - E_{R,PPS} - E_{S,BR}}{E_{S,TE}} \times 100 \quad (\text{B.17})$$

où  $E_{S,TE}$  et  $E_{R,TE}$  sont tels que définis en B.3.4.1,  $E_{S,BR}$  est tel que défini ci-avant dans l'Équation (B.16), et  $E_{R,PPS}$  est tel que défini en B.3.4.3.

NOTE Pour cette évaluation, si un ESS embarqué est présent, son SOC et/ou le SOE sont jugés équilibrés comme décrit ci-dessus.

## **Annexe C** (informative)

### **Lois et réglementations en matière de protection contre les incendies applicables à la présente norme**

#### **C.1 Généralités**

Les lois et réglementations en matière de protection contre les incendies dans certains pays sont répertoriées ci-après.

Cette liste est donnée à titre d'information seulement.

#### **C.2 Chine**

GB 6771-2000, *Regulations relating to fire preventive and fighting measures for electric locomotives* (disponible en anglais seulement)

#### **C.3 Europe**

NF EN 45545, *Applications ferroviaires – Protection contre les incendies dans les véhicules ferroviaires*

#### **C.4 Japon**

Décret ministériel et spécification approuvée du Ministère japonais de l'aménagement du territoire, des infrastructures, du transport et du tourisme (disponible en anglais seulement).

*Chapter 8. Rolling Stock*

*Section 5. Fire Prevention Measures for Rolling Stock, Article 83 – Article 85*

*Section 6. Rolling Stock Facilities for One Man Operation, Article 86*

*Chapter 10. Train Operation*

*Section 2. Train Operation, Article 108*

#### **C.5 Russie**

VNPB – 03, *Passenger Cars. Fire Safety Requirements, GOST* (disponible en anglais seulement)

#### **C.6 États-Unis d'Amérique**

NFPA 130, *Standard for Fixed Guideway Transit and Passenger Rail Systems* (disponible en anglais seulement)

## Annexe D (informative)

### Liste des paragraphes soumis à un accord entre l'exploitant et le constructeur

Le Tableau D.1 répertorie les accords nécessaires entre l'exploitant et le constructeur dans la présente norme.

Dans la présente norme, quatre niveaux d'essai sont spécifiés. Selon le niveau, l'exploitant peut être l'acheteur.

**Tableau D.1 – Liste des paragraphes soumis  
à un accord entre l'exploitant et le constructeur (1 de 2)**

Paragraphe	Titre	Commentaire
3.1.15	Fin de vie	Fonctionnalité ou schéma opérationnel exigé
5.3	Température	Exigences de préchauffage ou de prérefroidissement
6.1.1.2	Autres accélérations	Exigences sous des accélérations transversales et longitudinales
6.3.1	Fonction de charge et décharge externe	Spécifications de la fonction de charge et décharge externe
6.5	Mode dégradé	Concept du mode dégradé
6.7	Exigences relatives à la durée de vie	- Détermination et modélisation de la durée de vie de l'ESU - Fin de vie des condensateurs électriques à double couche (EDLC) et paramètres
6.8	Exigence supplémentaire relative aux émissions sonores dans le cas d'un système hybride	Exigence spécifique relative aux émissions sonores
7.2	Essai de type	- Décision de réaliser l'essai de type entièrement ou partiellement - Omission de l'essai de type - Application des résultats de simulation
7.3	Essai facultatif	- Essai facultatif - Critères d'acceptation pour le système
7.4	Essai individuel de série	- Essais individuels de série - Adoption d'une méthode d'essai alternative
7.5	Catégories d'essais	- Exigences particulières - Zones d'essai - Réalisation d'essais de type "facultatifs"
7.6	Critères d'acceptation	Spécifications
8.3.1	Fonction de régulation de charge/décharge de l'ESS	Exigences de charge et décharge de l'ESS
8.3.2	Essai de charge externe	Conditions de température de démarrage et de refroidissement
8.3.4	Essai en mode dégradé	Plage d'exploitation spécifique dans le mode dégradé

**Tableau D.1 (2 de 2)**

Paragraphe	Titre	Commentaire
8.3.5	Essai de détermination du SOC/SOE	Critères d'acceptation
8.6.1	Généralités	- Application des résultats de simulation - Critères d'acceptation relatifs à la consommation d'énergie (l'ESS compris) - Utilisation de la série IEC 62888 pour les essais sur site
8.6.2.1	Généralités	Mesures de certains composants
8.6.2.4	Emplacements de mesure	Mesure des composants
8.6.2.5	Mesure	Schéma opérationnel et conditions de charge
8.6.3.1	Détermination de la consommation de combustible	- Schémas opérationnels et conditions de charge - Consommation réelle de combustible mesurée dans la cuve de combustible, ou à partir de la conversion des données obtenues par contrôle
8.6.3.2	Détermination des niveaux d'émission de gaz d'échappement	Mesure réelle ou conversion des données
8.7.1	Généralités	Application des résultats de simulation
8.8.1	Généralités	Utilisation des essais au niveau des composants ou des résultats d'essai fiables relatifs au système existant
8.8.2	Essai d'exploitation à basse température	- Essai de sous-système partiel - Méthode d'essai due à des restrictions de l'infrastructure d'essai
8.8.3	Essai d'exploitation à haute température	- Essai de sous-système partiel - Méthode d'essai due à des restrictions de l'infrastructure d'essai
8.9	Essai de protection contre les courts-circuits	- Dispositifs adéquats de court-circuit - Concept de protection - Méthode d'essai due à la possibilité d'endommagement des installations du banc d'essai
8.10	Essai d'endurance de l'ESU	Application des résultats de simulation
9.1	Généralités	Application des résultats de simulation
9.4	Mesure de la consommation d'énergie du système de propulsion	Schémas opérationnels et conditions de charge
9.8	Détermination des émissions acoustiques	Mesure du bruit au niveau d'un composant ou sous-composant lors de l'essai de composant ou de l'essai sur banc
A.1.4	Énergie utilisable	Cycle de service

## Bibliographie

- IEC 60076-10, *Transformateurs de puissance – Partie 10: Détermination des niveaux de bruit*
- IEC 60077-1, *Applications ferroviaires – Équipements électriques du matériel roulant – Partie 1: Conditions générales de service et règles générales*
- IEC 60216-5, *Matériaux isolants électriques – Propriétés d'endurance thermique – Partie 5: Détermination de l'indice d'endurance thermique relatif (RTE) d'un matériau isolant<sup>1</sup>*
- IEC 60254-1:2005, *Batteries d'accumulateurs de traction au plomb – Partie 1: Exigences générales et méthodes d'essais*
- IEC 60254-2:2008, *Batteries d'accumulateurs de traction au plomb – Partie 2: Dimensions des éléments et des bornes et indication de la polarité sur les éléments*
- IEC 60310, *Applications ferroviaires – Transformateurs de traction et bobines d'inductance à bord du matériel roulant*
- IEC 60571, *Applications ferroviaires – Équipements électroniques utilisés sur le matériel roulant*
- IEC 60721-3-5, *Classification des conditions d'environnement – Partie 3: Classification des groupements des agents d'environnement et de leurs sévérités – Section 5: Installations des véhicules terrestres*
- IEC 60850, *Applications ferroviaires – Tensions d'alimentation des réseaux de traction*
- IEC 62236-3-1, *Applications ferroviaires – Compatibilité électromagnétique – Partie 3-1: Matériel roulant – Trains et véhicules complets*
- IEC 62236-3-2, *Applications ferroviaires – Compatibilité électromagnétique – Partie 3-2: Matériel roulant – Appareils*
- IEC 62278, *Applications ferroviaires – Spécification et démonstration de la fiabilité, de la disponibilité, de la maintenabilité et de la sécurité (FDMS)*
- IEC 62497-1, *Applications ferroviaires – Coordination de l'isolement – Partie 1: Exigences fondamentales – Distances d'isolement dans l'air et lignes de fuite pour tout matériel électrique et électronique*
- IEC 62619, *Accumulateurs alcalins et autres accumulateurs à électrolyte non acide – Exigences de sécurité pour les accumulateurs au lithium pour utilisation dans des applications industrielles<sup>2</sup>*
- IEC 62620, *Accumulateurs alcalins et autres accumulateurs à électrolyte non acide – Éléments et batteries d'accumulateurs au lithium pour utilisation dans les applications industrielles*
- IEC 62888 (toutes les parties), *Railway applications – Energy measurement on board trains<sup>3</sup>*

---

<sup>1</sup> Cette publication a été supprimée.

<sup>2</sup> À l'étude.

<sup>3</sup> À l'étude.

IEC 62888-2, *Railway applications – Energy measurement on board trains – Part 2: Energy measuring* (disponible en anglais seulement)<sup>4</sup>

IEC 62928, *Railway applications – Rolling stock equipment – Onboard lithium-ion traction batteries* (disponible en anglais seulement)<sup>5</sup>

IEC 62973, *Railway applications – Batteries for auxiliary power supply systems* (disponible en anglais seulement)<sup>6</sup>

ISO 6469-3:2001, *Véhicules routiers électriques – Spécifications de sécurité – Partie 3: Protection des personnes contre les dangers électriques*

ISO 12405-1:2011, *Véhicules routiers à propulsion électrique – Spécifications d'essai pour packs et systèmes de batterie de traction aux ions lithium – Partie 1: Applications à haute puissance*

ISO 23274:2007, *Véhicules routiers électriques hybrides – Mesurages des émissions à l'échappement et de la consommation de carburant – Véhicules non rechargeables par des moyens externes*

ISO 23828:2013, *Véhicules routiers avec pile à combustible – Mesurage de la consommation d'énergie – Véhicules alimentés par hydrogène comprimé*

EN 1986-2:2001, *Electrically propelled road vehicles – Measurement of energy performances – Part 2: Thermal electric hybrid vehicles* (disponible en anglais seulement)

NF EN 45545 (toutes les parties), *Applications ferroviaires – Protection contre les incendies dans les véhicules ferroviaires*

NF EN 50547:2013, *Applications ferroviaires – Batteries pour systèmes d'alimentation auxiliaire*

CLC/TS 50591:2013, *Specification and verification of energy consumption for railway rolling stock* (disponible en anglais seulement)

---

<sup>4</sup> À l'étude.

<sup>5</sup> À l'étude.

<sup>6</sup> À 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](mailto:info@iec.ch)  
[www.iec.ch](http://www.iec.ch)