

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**

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62864-1:2016



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
www.iec.ch

About the IEC

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

About IEC publications

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

IEC Catalogue - webstore.iec.ch/catalogue

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

IEC publications search - www.iec.ch/searchpub

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 It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

Electropedia - www.electropedia.org

The world's leading online dictionary of electronic and electrical terms containing 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

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

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

A propos de l'IEC

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

A propos des publications IEC

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

Catalogue IEC - webstore.iec.ch/catalogue

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

Recherche de publications IEC - www.iec.ch/searchpub

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

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

Electropedia - www.electropedia.org

Le premier dictionnaire en ligne de termes électroniques et électriques. Il contient 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

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

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

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

**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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62864-1:2016

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.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62864-1:2016

INTRODUCTION

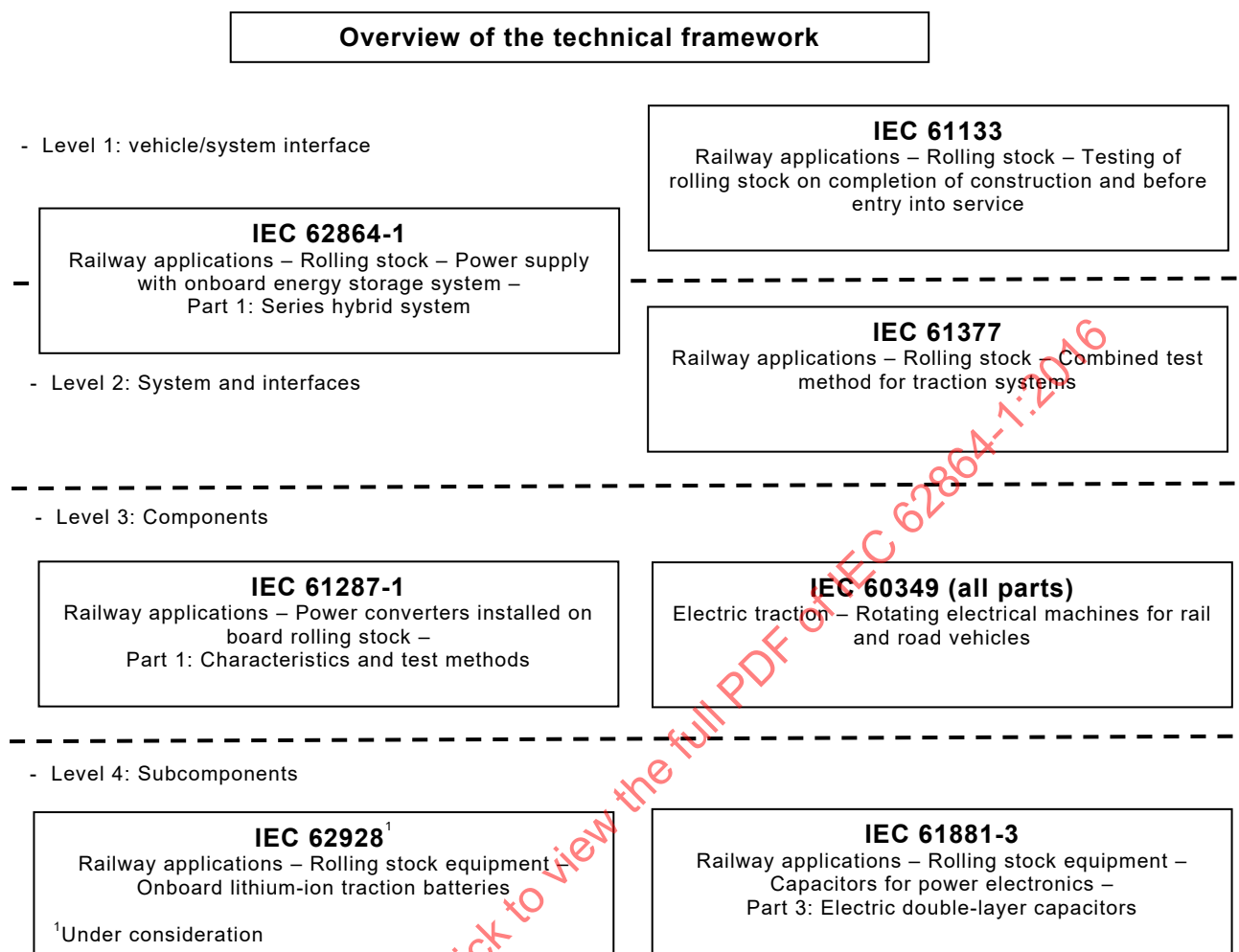
There is an increasing need for efficient use of energy due to the decrease in fossil fuel based energy sources as well as the need to reduce emissions (e.g. CO₂, NO_x, PM, etc.) that contribute to global climate change. The railway system, which is essentially an energy-efficient transportation system, 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:

- vehicle/system interface (level 1);
- systems and interfaces (level 2);
- components (level 3); and
- 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. CO₂, NO_x, 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.

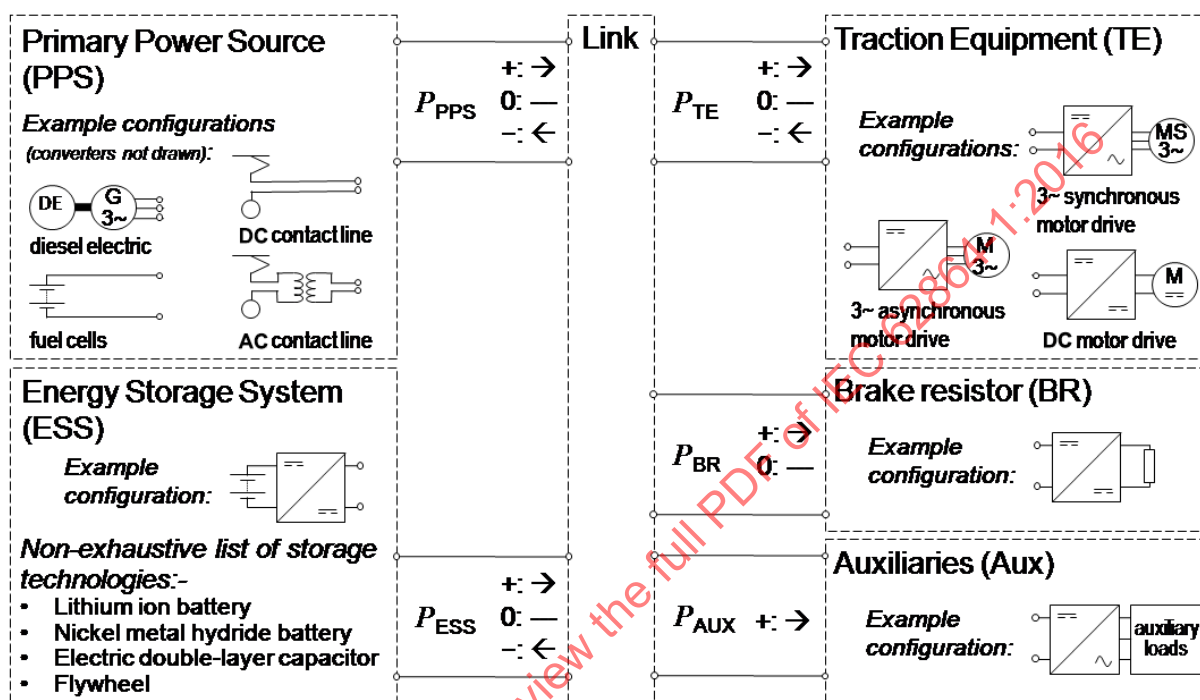
As shown in Figure 2, the storage technologies usable in the ESS include, but are not limited to:

- 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.

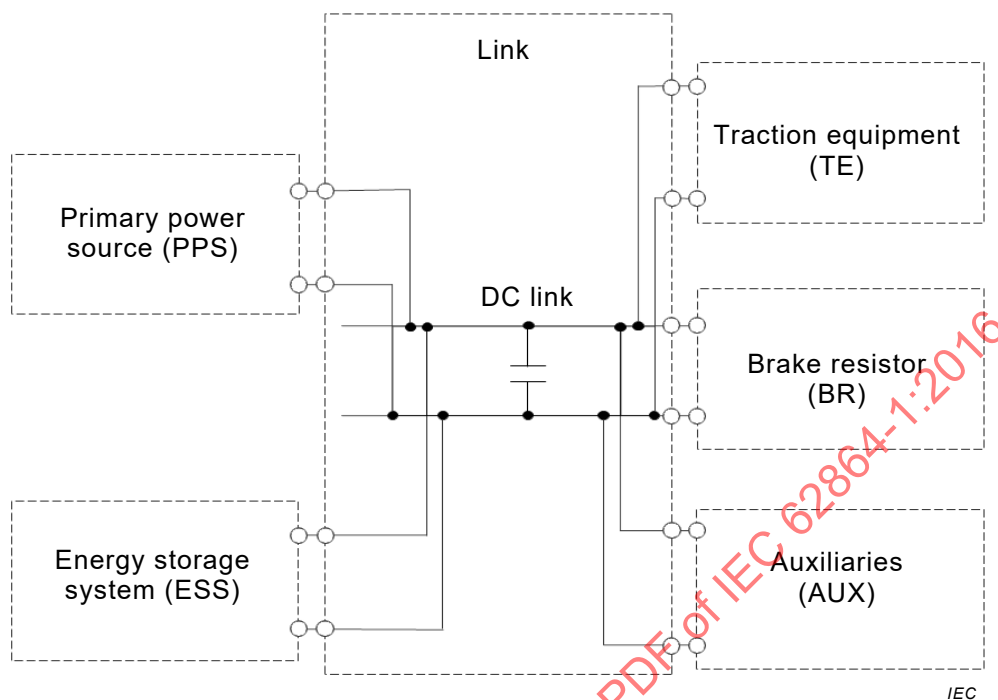
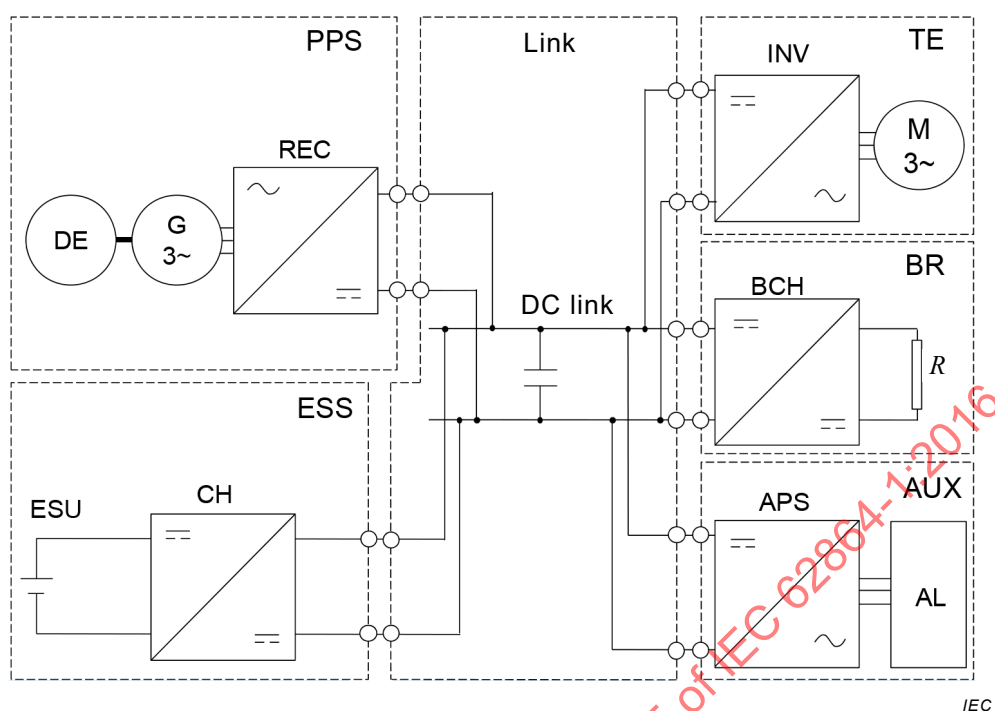


Figure 3 – Example configuration of a series hybrid system in which all main circuit subsystems are connected to the common DC link

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.

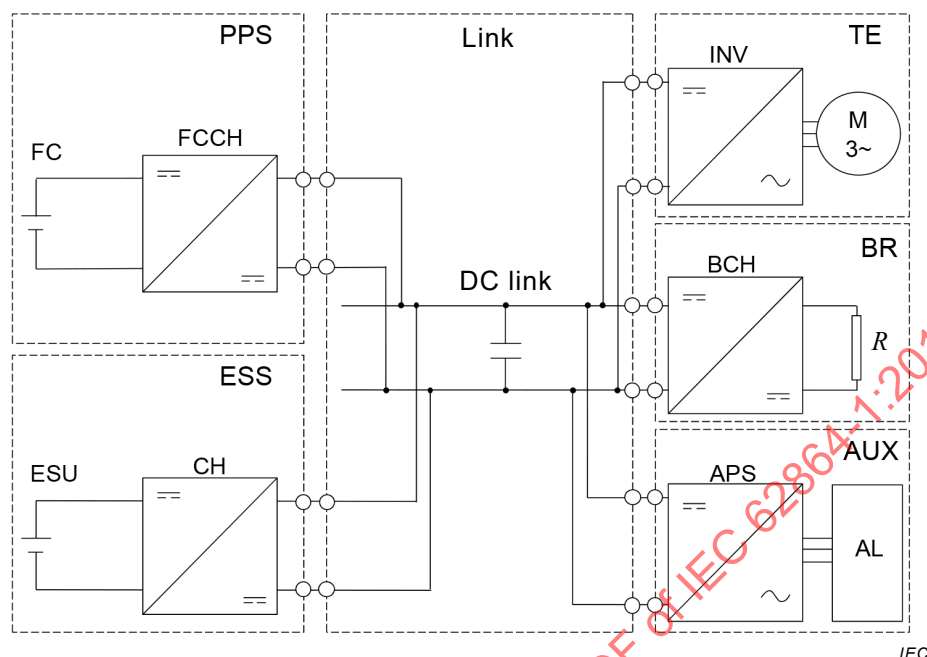
If the regenerated power is greater than the maximum ESS charge power, either the engine or exhaust braking (Modes IX or X in Table 1) or the brake resistor (Modes XV, XVI, XVII or XVIII in Table 1) can be used to dissipate excess power.

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.



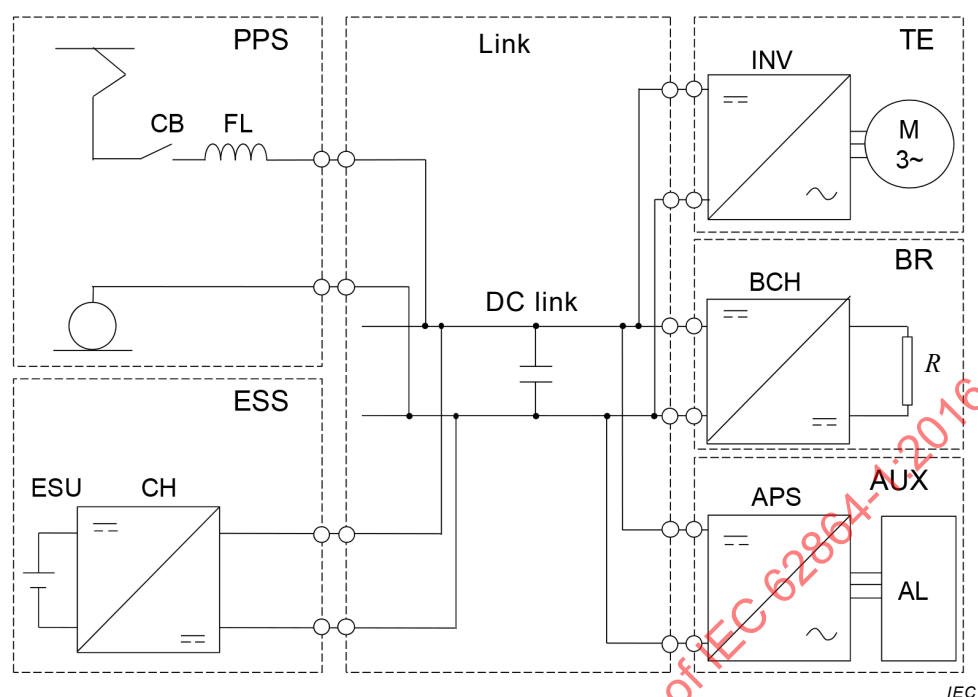
Key

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.

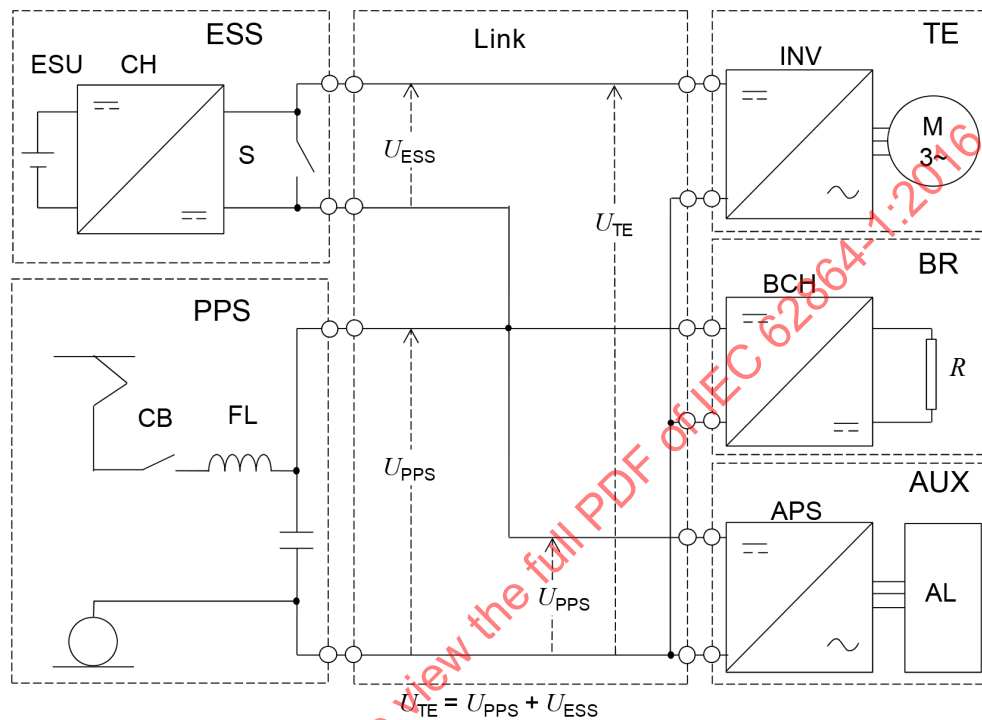
The choice of operating modes should be based on a well-designed strategy to maximise the overall system efficiency or to attain the desired performance characteristics, such as the stabilisation of line voltage or autonomous operation, etc. The power flow within the system and the SOE of the ESS should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

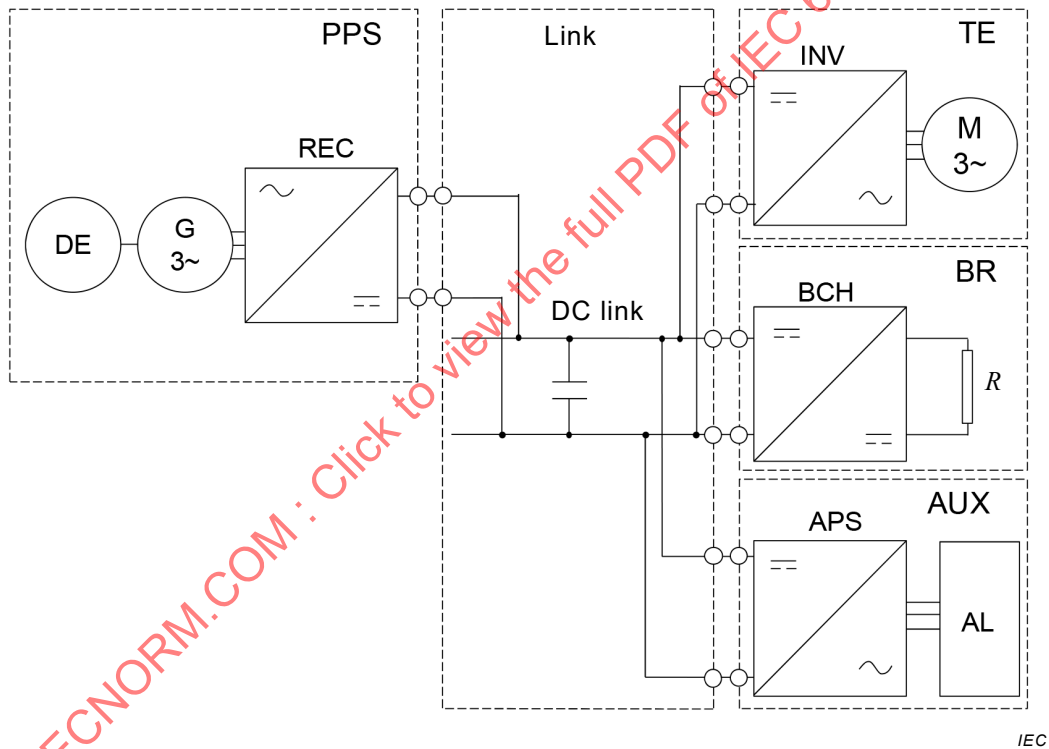
Assuming that U_{ESS} is non-negative, the ESS can be charged only during braking (Modes X and XV in Table 1), and the energy stored in the ESS can be discharged only during acceleration (Mode III in Table 1). Modes I, IV, V through VIII, XI, XII, XIV and XVII in Table 1 are not applicable.

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
BCH	Brake chopper (for BR)	R	Resistor
AL	Auxiliary loads	INV	Inverter (for TE)
		APS	Auxiliary power supply

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

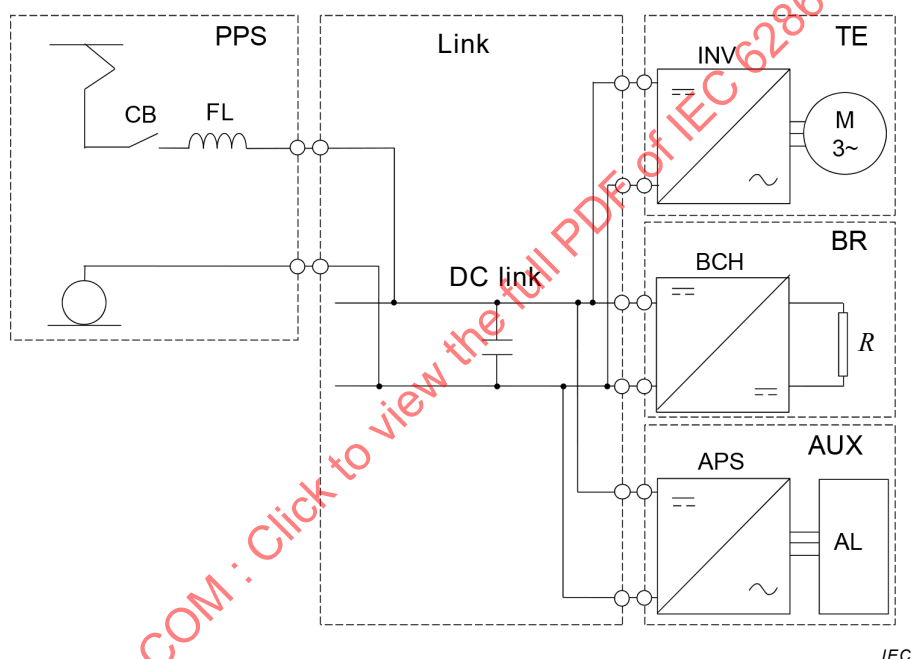
The onboard ESS can also enhance the availability of regenerative braking in the contact line powered vehicles. In such a system without an onboard ESS, the configuration of which is shown in Figure 9, it is not possible to use regenerative braking when the power feeding network is unreceptive of the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

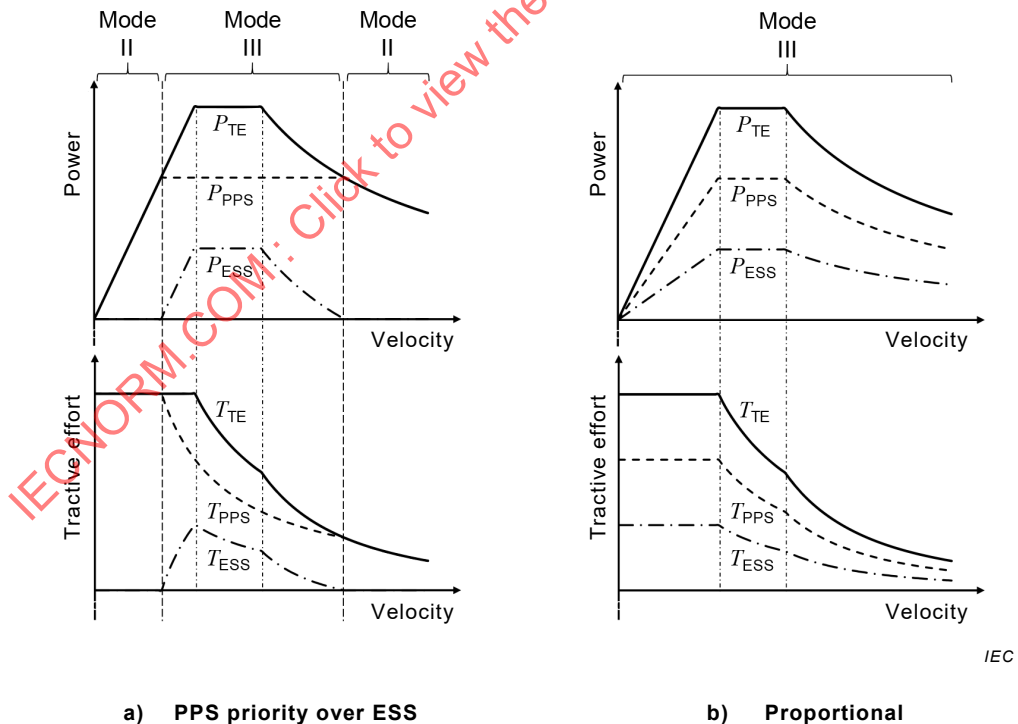
In the example shown in Figure 10 a), all the power required by the traction equipment (tractive power) is supplied by the PPS at low speed range (Mode II in Table 1). When the power exceeds the upper limit of the PPS in higher speed range, the ESS tops up the tractive power and boosts the tractive effort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

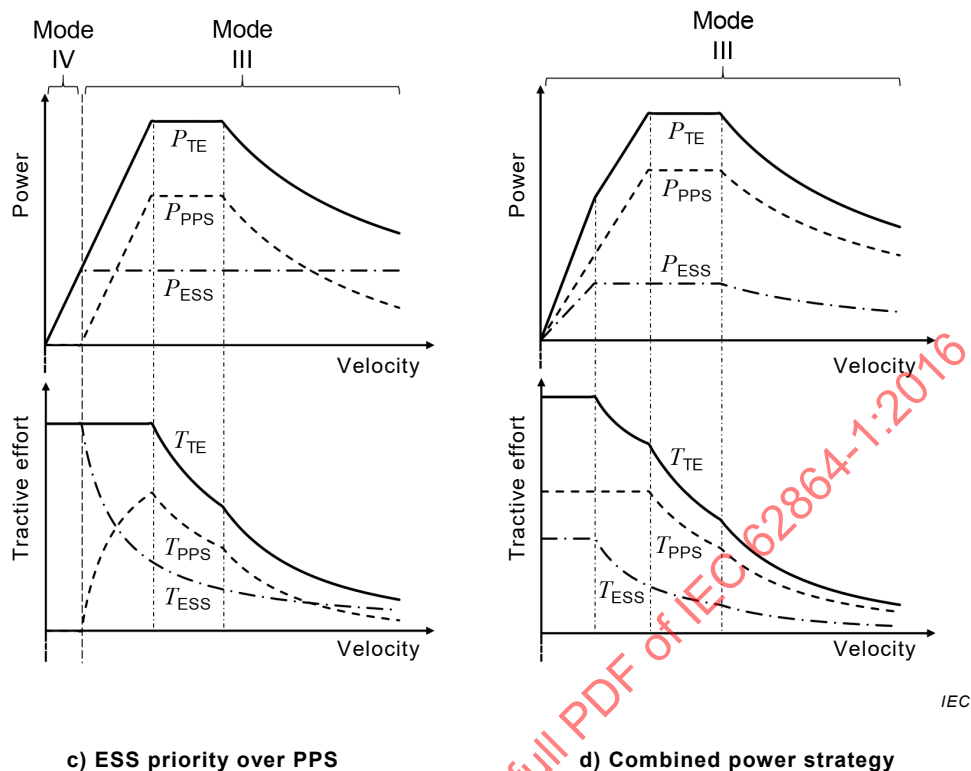
The following should be noted:

- 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.



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

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.

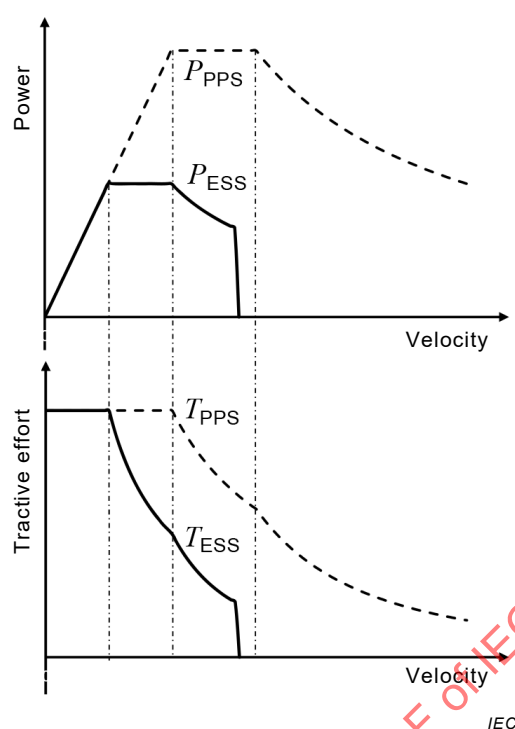
NOTE 2 For these examples SOC and/ or SOE of ESS are assumed to be sufficient to supply the power required for the operational pattern.

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 ^a	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 ^a	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
^a 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 (Δ SOC/ Δ 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°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°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.

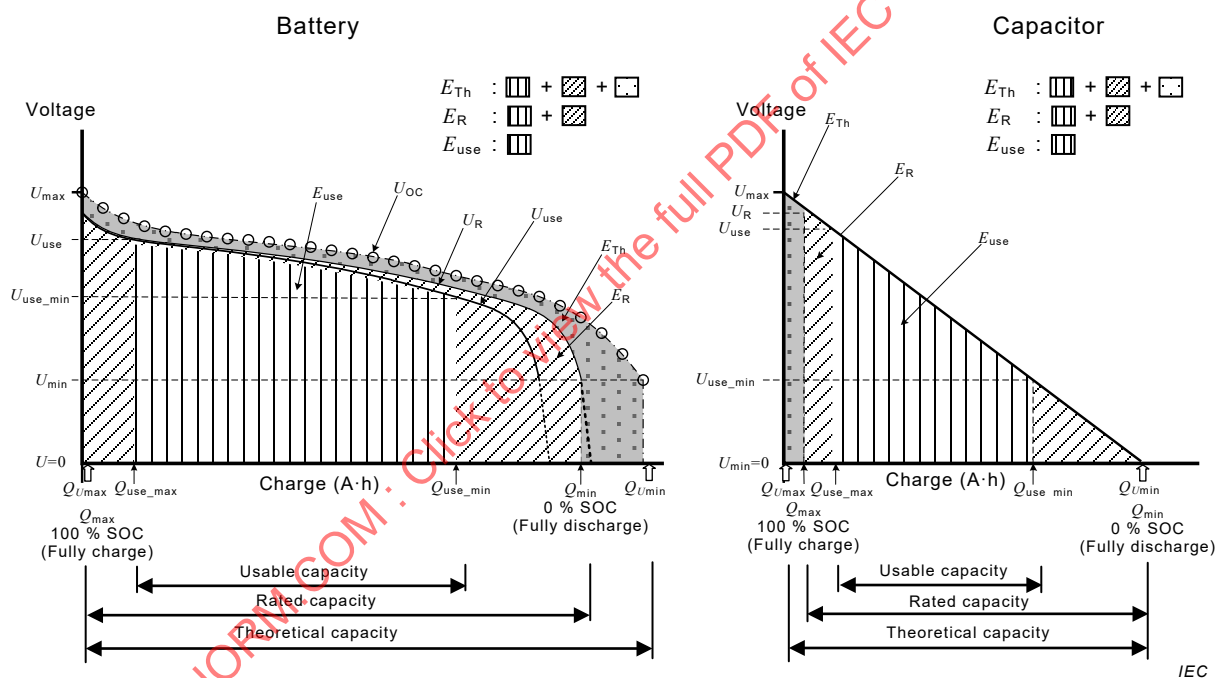


Figure A.1 – Difference of capacity and energy content

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_{use} is the usable energy;

C is the capacitance;

U_{use} is the maximum usable voltage;

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

NOTE For EDLC E_{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_{Th} is the theoretical capacity, in Ah;

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

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

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

$$\text{COU}_{\text{SOC_R_Th}} = \frac{CH_R}{CH_{\text{Th}}}$$

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

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

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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62864-1:2016

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.

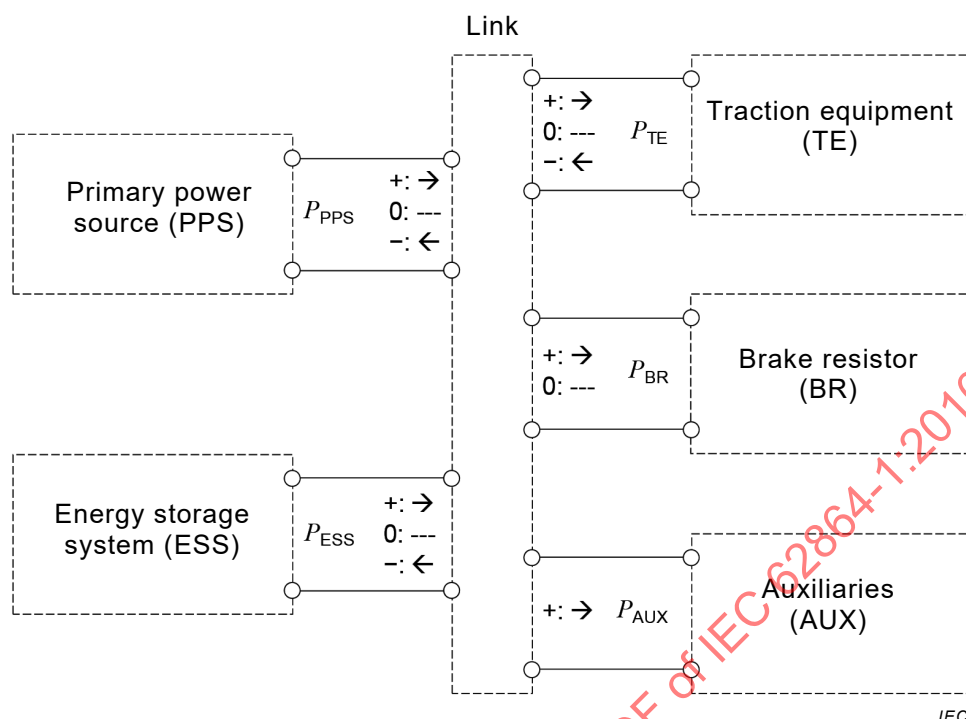
Other performance indices, such as supplied, regenerated and/or consumed energy of each subsystem in the series hybrid system and/or of the whole series hybrid system, regenerative efficiency, of the traction equipment and/or of the whole series hybrid system, etc. can be used and should be considered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

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

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:

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

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:

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

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:

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

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

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

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.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62864-1:2016

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)**

Subclause	Title	Comment
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	– Lifetime determination and modelling of the ESU – EOL for EDLC and parameters
6.8	Additional requirement for noise emission of hybrid system	Specific noise emission requirement
7.2	Type test	– Decision on whether to conduct the type test or conduct only part of that test – Omitting the type test – Applying simulation results
7.3	Optional test	– Optional test – Acceptance criteria for the system
7.4	Routine test	– Routine tests – Adoption of an alternative test procedure
7.5	Test categories	– Special requirements – Location of the tests – Conducting optional" type tests
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	– Applying simulation results – Acceptance criteria of energy consumption including the ESS – Using IEC 62888 series for field tests

Table D.1 (2 of 2)

Subclause	Title	Comment
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	– Operational patterns and load conditions – Actual fuel consumption measured in the fuel tank, or through the conversion of data obtained by monitoring
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	– Partial subsystem test – Test method due to restrictions of the testing infrastructure
8.8.3	High-temperature operation test	– Partial subsystem test – Test method due to restrictions of the testing infrastructure
8.9	Short-circuit protection test	– Proper means of short-circuiting – Protection concept – Test method due to possibility of damage to the test bench facilities
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*¹

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*²

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*³

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

¹ This publication was withdrawn.

² Under consideration.

³ Under consideration.

⁴ Under consideration.

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

IEC 62973, *Railway applications – Batteries for auxiliary power supply systems*⁶

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*

⁵ Under consideration.

⁶ 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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62864-1:2016

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.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62864-1:2016

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.: CO₂, NO_x, 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.

Vue d'ensemble du cadre technique

- Niveau 1: interface véhicule/système

IEC 62864-1

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

IEC 61133

Applications ferroviaires – Matériel roulant – Essais
de matériel roulant après achèvement et avant mise
en service

IEC 61377

Applications ferroviaires – Matériel roulant – Méthode
d'essais combinés pour systèmes de traction

- Niveau 2: Système et interfaces

- Niveau 3: Composants

IEC 61287-1

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

IEC 60349 (toutes les parties)

Traction électrique – Machines électriques tournantes
des véhicules ferroviaires et routiers

- Niveau 4: Sous-composants

IEC 62928¹

Railway applications – Rolling stock equipment –
Onboard lithium ion traction batteries
(disponible en anglais seulement)

¹A l'étude

IEC 61881-3

Applications ferroviaires – Matériel roulant –
Condensateurs pour électronique de puissance –
Partie 3: Condensateurs électriques à double couche

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.: CO₂, NO_x, 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.

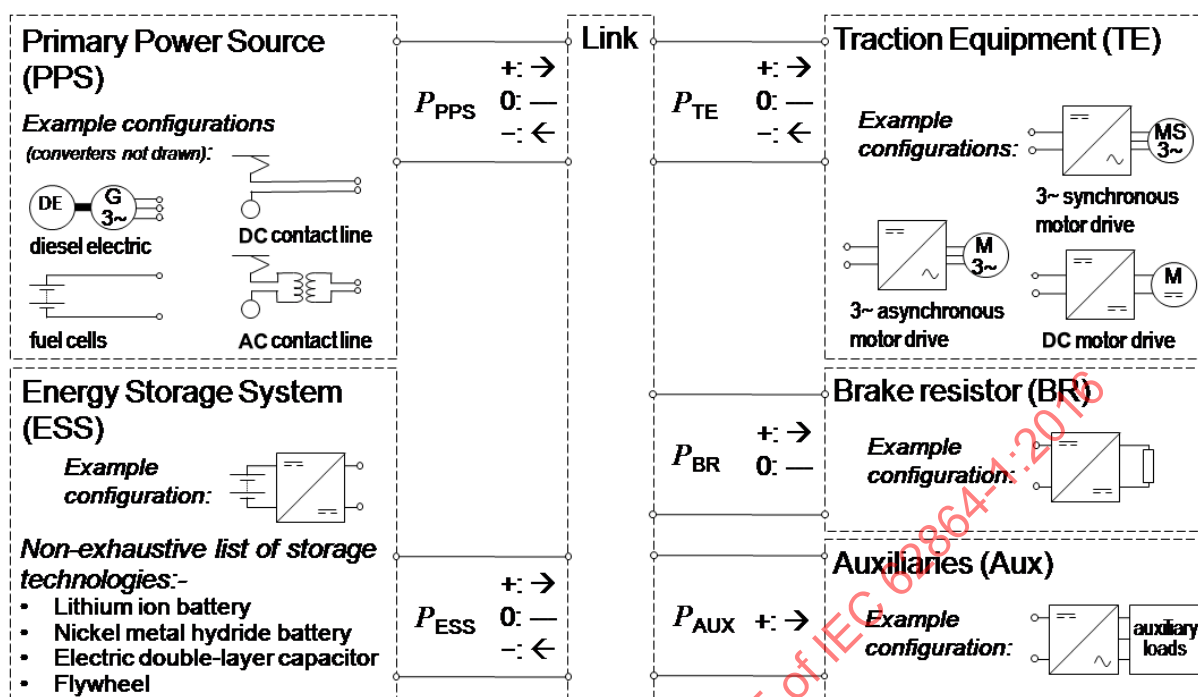
Comme le montre la Figure 2, les technologies de stockage utilisables dans l'ESS incluent, mais sans s'y limiter:

- 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:	Exemples de configurations:
(converters not drawn)	(convertisseurs non représentés)
DE	DE
diesel electric	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.

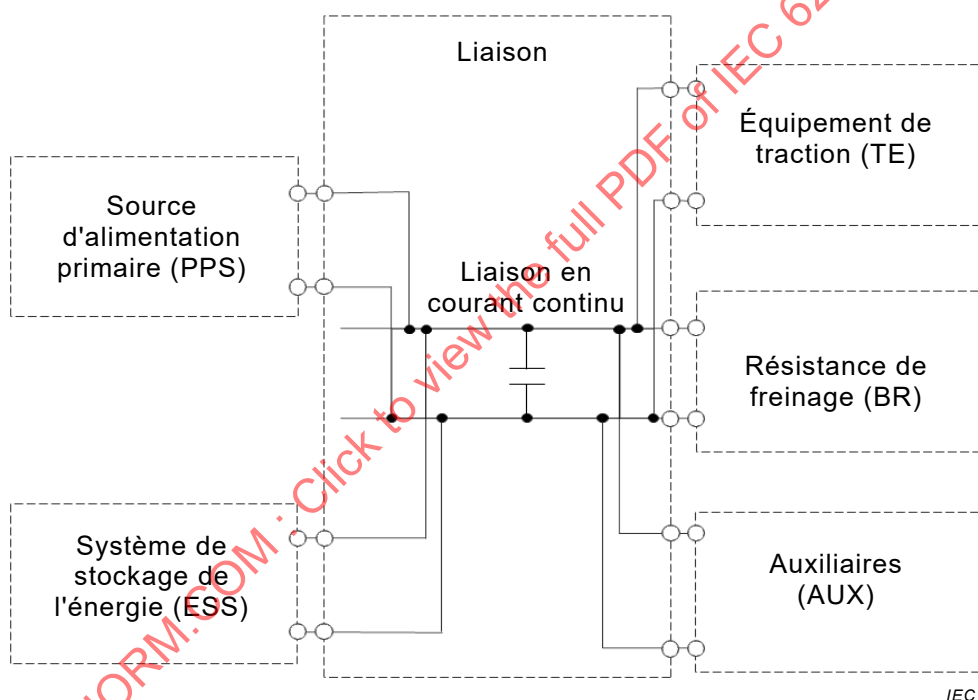
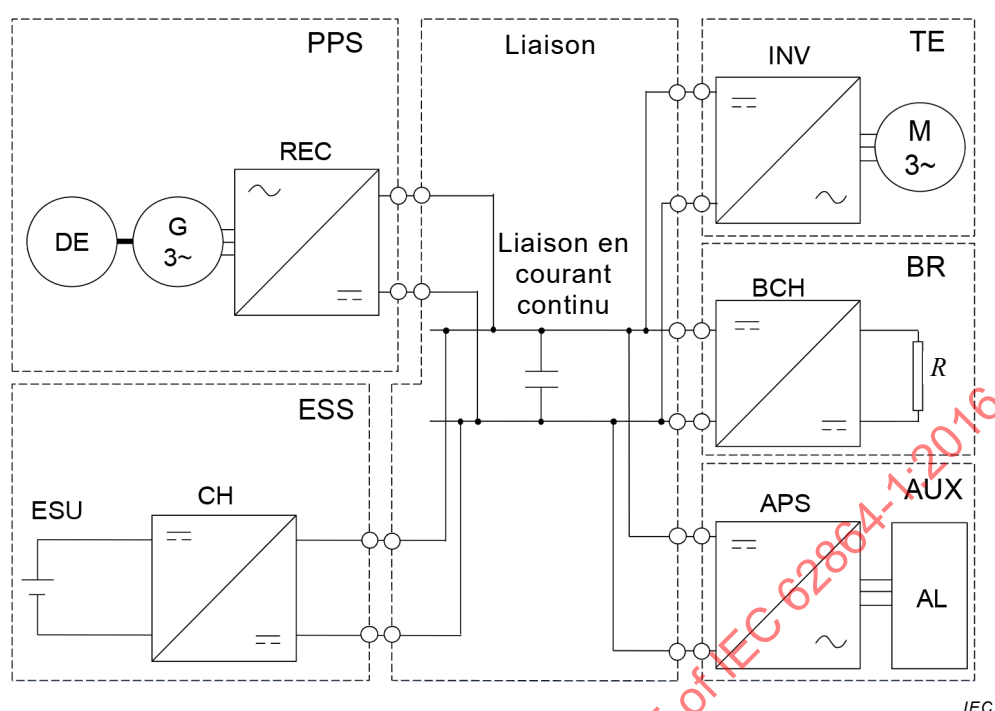


Figure 3 – Exemple de configuration d'un système hybride série où tous les sous-composants du circuit principal sont connectés à la liaison en courant continu commune

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.



Légende

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

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.

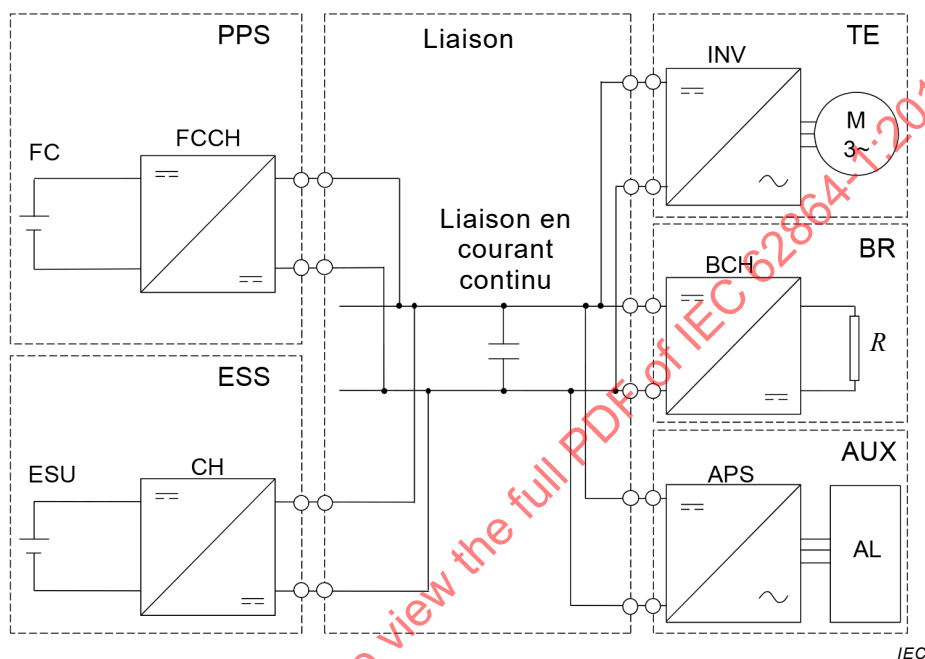
Si la puissance régénérée est supérieure à la puissance de charge maximale de l'ESS, le frein moteur ou le frein sur échappement (Mode IX ou X du Tableau 1) ou la résistance de freinage (Mode XV, XVI, XVII ou XVIII du Tableau 1) peut être utilisé pour dissiper la puissance excédentaire.

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.



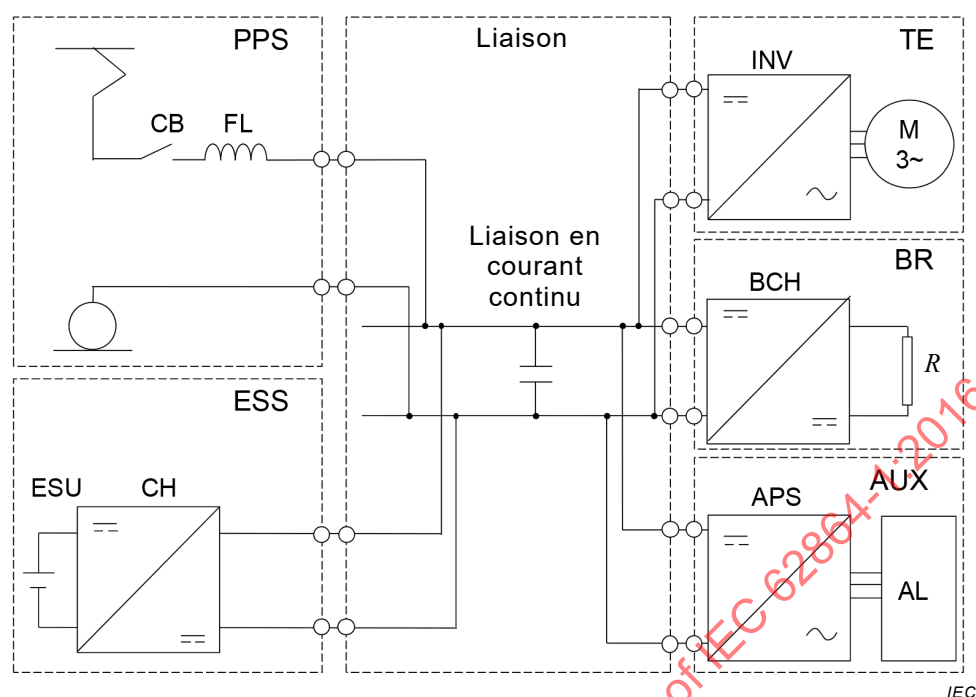
Légende

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

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		
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

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).

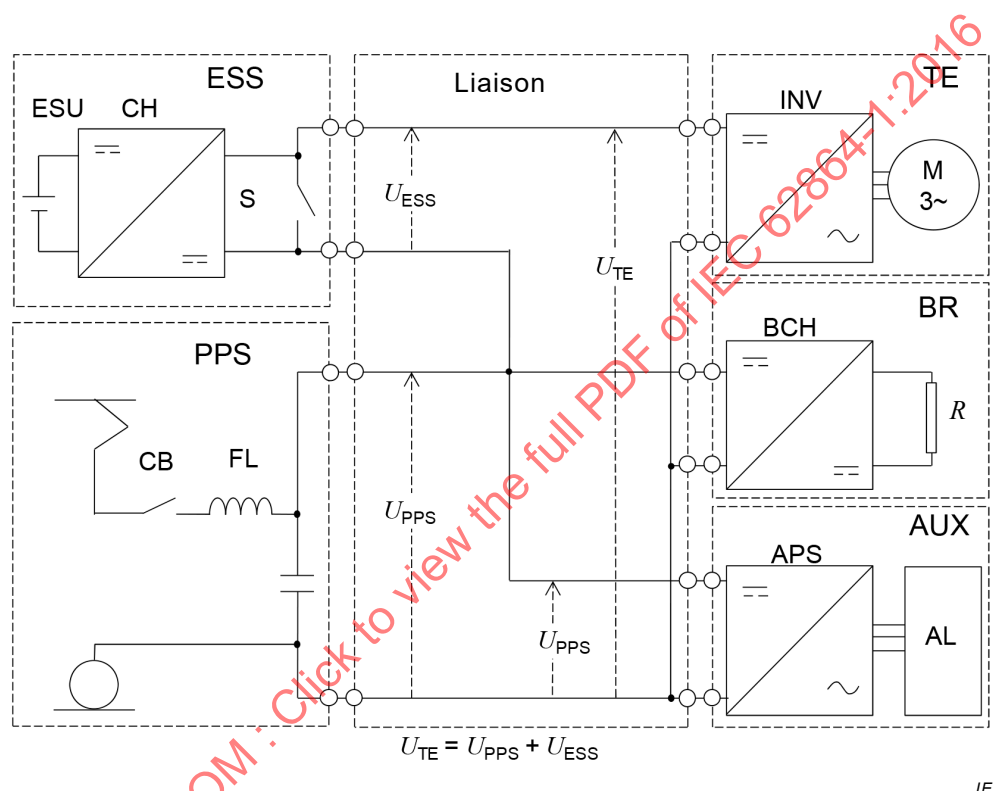
D'une manière similaire, l'ESS peut décharger l'énergie stockée à la fois durant l'accélération (Mode III, IV ou V du Tableau 1) et durant les autres modes d'exploitation (freinage, marche sur l'erre, etc.) si cela est exigé (Mode VII ou VIII du Tableau 1). Avec l'utilisation du Mode III ou IV, la fourniture 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.

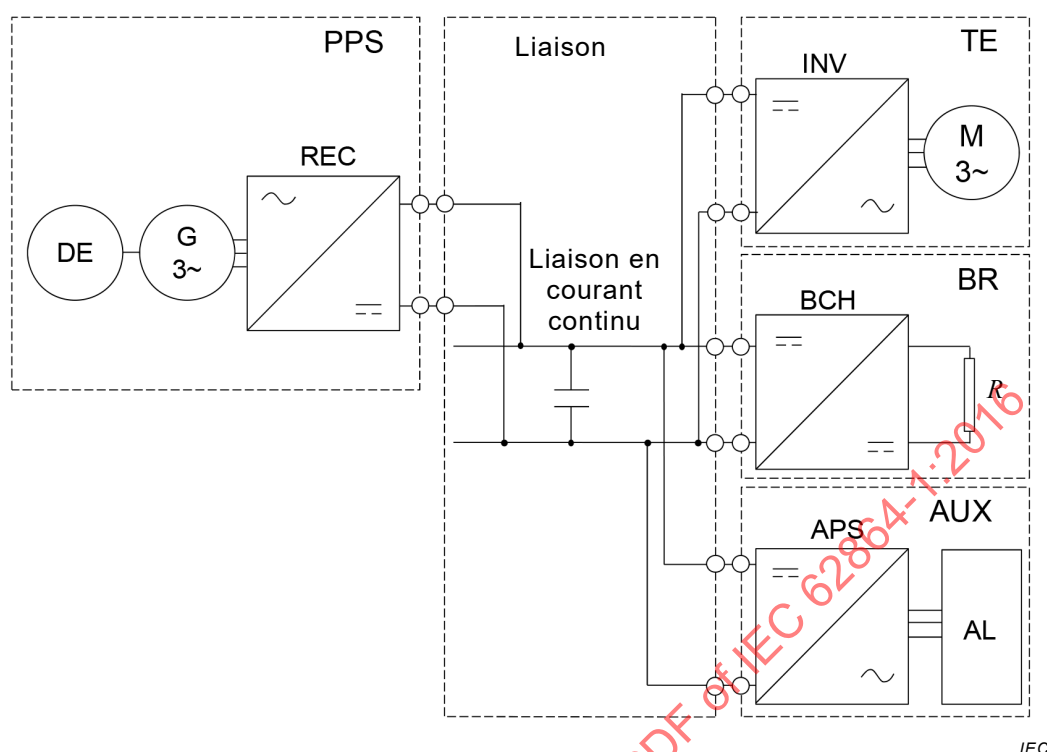
En prenant pour hypothèse que la valeur U_{ESS} n'est pas négative, l'ESS peut être chargé seulement durant le freinage (Modes X et XV du Tableau 1), et l'énergie stockée dans l'ESS peut être déchargée seulement durant l'accélération (Mode III du Tableau 1). Les Modes I, IV, V à VIII, XI, XII, XIV et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



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

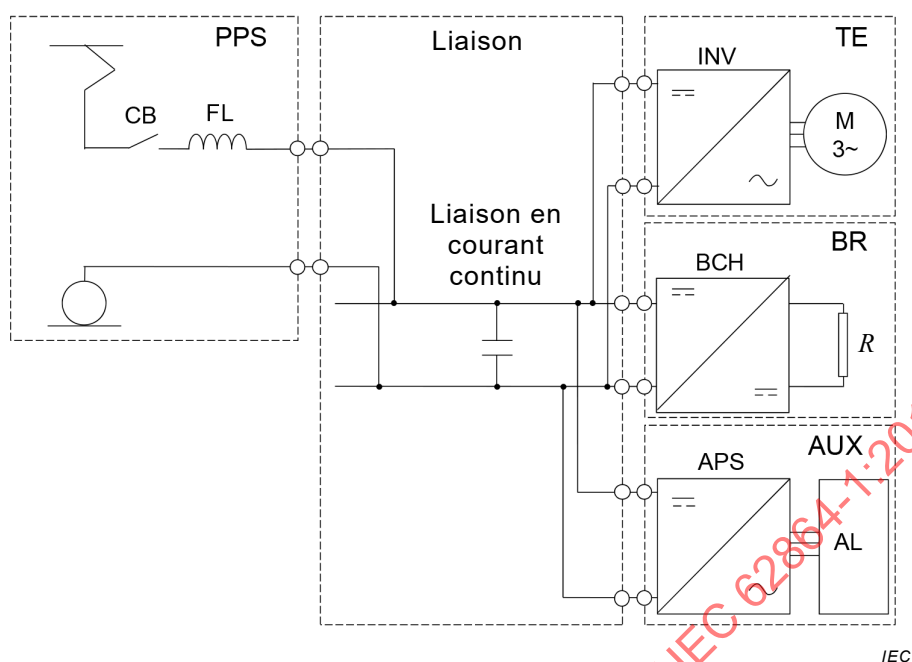
Figure 8 – Système de propulsion diesel électrique (sans ESS)

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.

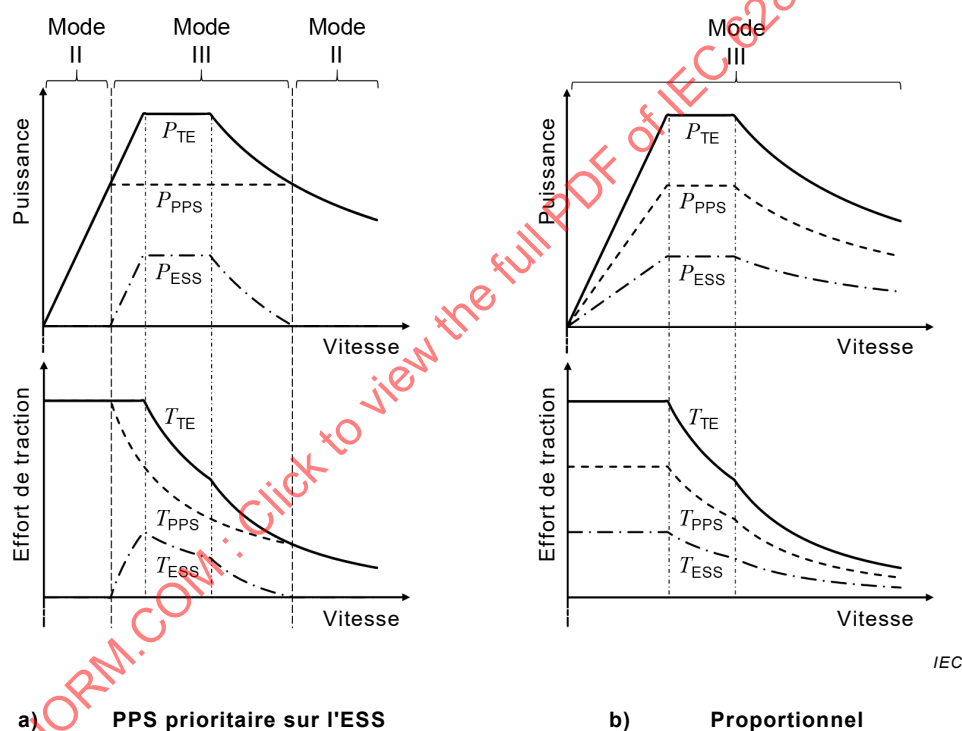
Dans l'exemple de la Figure 10 a), toute la puissance exigée par l'équipement de traction (puissance de traction) est fournie par la PPS dans la plage de vitesses basses (Mode II du Tableau 1). Lorsque la puissance dépasse la limite supérieure de la PPS dans la plage de vitesses hautes, l'ESS amplifie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

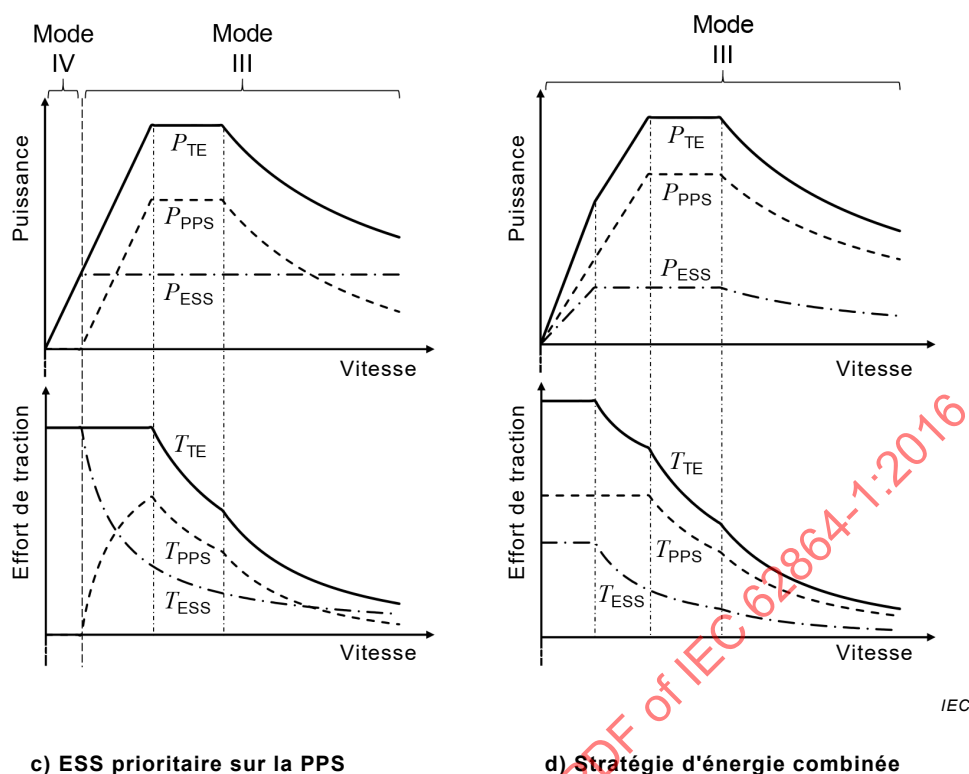
Il convient de tenir compte des points suivants:

- 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_{PP} Puissance de la source d'alimentation primaire (PPS)

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

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

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

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

T_{ES} 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.

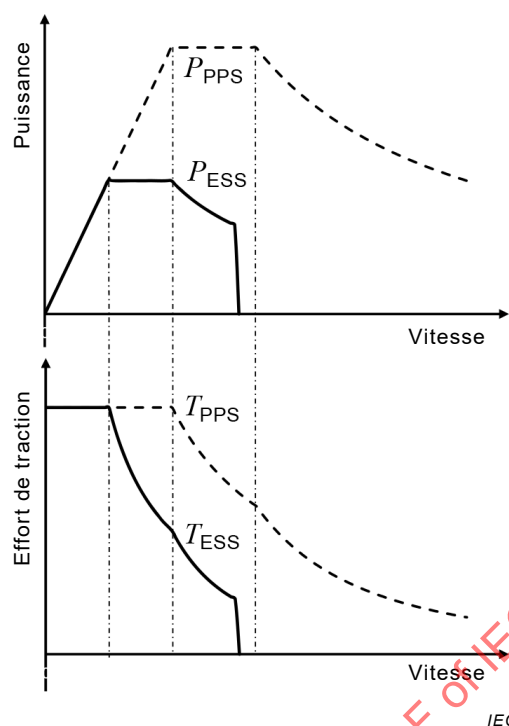
NOTE 2 Pour ces exemples, le SOC et/ou le SOE de l'ESS sont par hypothèse suffisants pour fournir la puissance exigée par rapport au schéma opérationnel.

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_{ES} et T_{ES} , 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 ^a	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 ^a	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
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. 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 NOTE 3 Les types d'essais sont abrégés de la manière suivante: T: Essai de type O: Essai facultatif R: Essai individuel de série ^a 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 reconnectées. 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.