

# INTERNATIONAL STANDARD

# NORME INTERNATIONALE

---

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

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





## THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2014 IEC, Geneva, Switzerland

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

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

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

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

### About the IEC

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

### About IEC publications

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

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

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

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

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

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

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

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

The world's leading online dictionary of electronic and electrical terms containing more than 30 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in 14 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

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

More than 55 000 electrotechnical terminology entries in English and French extracted from the Terms and Definitions clause of IEC publications issued since 2002. Some entries have been collected from earlier publications of IEC TC 37, 77, 86 and CISPR.

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

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

### A propos de l'IEC

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

### A propos des publications IEC

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

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

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

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

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

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

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

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

Le premier dictionnaire en ligne de termes électroniques et électriques. Il contient plus de 30 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 14 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

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

Plus de 55 000 entrées terminologiques électrotechniques, en anglais et en français, extraites des articles Termes et Définitions des publications IEC parues depuis 2002. Plus certaines entrées antérieures extraites des publications des CE 37, 77, 86 et CISPR de l'IEC.

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

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



IEC 61287-1

Edition 3.0 2014-07

# INTERNATIONAL STANDARD

# NORME INTERNATIONALE

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

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

INTERNATIONAL  
ELECTROTECHNICAL  
COMMISSION

COMMISSION  
ELECTROTECHNIQUE  
INTERNATIONALE

PRICE CODE **XA**  
CODE PRIX

ICS 45.060

ISBN 978-2-8322-1658-3

**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.....	5
1 Scope.....	7
2 Normative references.....	7
3 Terms and definitions .....	9
3.1 General.....	9
3.2 Terms and definitions related to equipment .....	9
3.3 Terms and definitions related to electrical parameters .....	11
4 Common clauses .....	12
4.1 General.....	12
4.1.1 Design .....	12
4.1.2 Marking .....	12
4.1.3 Technical documentation .....	12
4.1.4 Reliability, availability, maintainability and safety .....	13
4.1.5 Useful lifetime.....	14
4.2 Service conditions .....	14
4.2.1 General .....	14
4.2.2 Altitude .....	14
4.2.3 Temperature .....	14
4.2.4 Other environmental conditions .....	15
4.2.5 Mechanical stress .....	15
4.2.6 Load profile.....	15
4.2.7 Supply-system characteristics .....	16
4.2.8 Interference .....	17
4.2.9 Input current limitations.....	18
4.2.10 Influence on the environment .....	18
4.3 Characteristics .....	19
4.3.1 Characteristics of components .....	19
4.3.2 Characteristics of semiconductor devices.....	19
4.3.3 Characteristics of transformers, reactors and capacitors .....	19
4.3.4 Characteristics of converters.....	20
4.4 Technical requirements .....	22
4.4.1 Insulation co-ordination.....	22
4.4.2 EMC requirements for converters .....	22
4.4.3 Fault effects.....	23
4.5 Tests .....	23
4.5.1 General .....	23
4.5.2 Converter tests .....	24
4.5.3 Description of tests .....	27
4.5.4 Failure of components during type tests .....	36
5 Direct traction converters.....	36
5.1 Line-commutated converters for DC motors.....	36
5.1.1 General .....	36
5.1.2 Characteristics.....	36
5.1.3 Tests .....	37
5.2 Choppers for DC motors.....	40
5.2.1 Characteristics.....	40

5.2.2	Tests .....	41
5.3	Multiphase converters for AC motors (inverters) .....	43
5.3.1	General .....	43
5.3.2	Characteristics.....	43
5.3.3	Tests .....	44
6	Indirect traction converters.....	44
6.1	General.....	44
6.2	Line converter .....	44
6.2.1	General .....	44
6.2.2	Characteristics.....	45
6.2.3	Tests .....	45
6.3	Motor converter.....	46
6.3.1	Motor converter for DC motors (chopper or rectifier).....	46
6.3.2	Motor converter for AC motors (inverter) .....	46
7	Auxiliary converters .....	46
7.1	General.....	46
7.2	Characteristics .....	46
7.2.1	Auxiliary converter starting conditions .....	46
7.2.2	Input conditions and characteristics.....	47
7.2.3	Output characteristics .....	47
7.3	Short-circuit protection .....	48
7.4	Choice of rated insulation voltage.....	48
7.5	Tests .....	49
7.5.1	General .....	49
7.5.2	Output characteristics test.....	49
7.5.3	Starting and restarting test.....	50
7.5.4	Short-circuit test .....	50
7.5.5	Voltage and frequency ranges verification .....	50
7.5.6	Overload capability test.....	50
7.5.7	Temperature rise test.....	51
7.5.8	Load break test.....	51
8	Semiconductor drive units (SDU) .....	51
8.1	Equivalent expressions.....	51
8.2	Printed circuit board assemblies.....	52
8.3	Function of the SDU.....	52
8.4	Particular requirements for the SDU .....	52
8.5	Service conditions .....	52
8.6	Insulation requirements for the SDU .....	52
8.7	Electromagnetic compatibility requirements .....	52
8.8	Tests of the SDU.....	52
Annex A (normative)	Arrangement of basic circuit diagrams .....	54
Annex B (informative)	Recapitulation of agreements between the manufacturer and the user .....	55
Annex C (informative)	Guidelines for magnetic field and induced voltage requirements .....	58
Bibliography	.....	59
Figure 1 – Partial discharge test – Voltage versus time .....		26
Figure 2 – Configuration of series motors .....		39

Figure A.1 – Examples of combinations ..... 54

Table 1 – General classes of start-up load characteristics ..... 15

Table 2 – Classes of acoustic noise ..... 19

Table 3 – List of tests ..... 27

Table 4 – Additional tests for direct traction converters ..... 38

Table 5 – Additional tests for choppers for DC motors ..... 41

Table 6 – Additional tests for auxiliary converters ..... 49

Table B.1 – Recapitulation of agreements between the manufacturer and the user ..... 55

## INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

---

**RAILWAY APPLICATIONS –  
POWER CONVERTERS INSTALLED  
ON BOARD ROLLING STOCK –****Part 1: Characteristics and test methods**

## 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 61287-1 has been prepared by IEC technical committee 9: Electrical equipment and systems for railways.

This third edition cancels and replaces the second edition published in 2005. This edition constitutes a technical revision.

This edition includes the following main technical changes with regard to the previous edition: it includes updates as necessary in order to meet the current technical state of the art and to improve clarity. It also takes into account generic railway standards as relevant parts of IEC 62497 and IEC 62498. Especially the clauses considering temperature rise test and auxiliary converter characteristics have been revised.

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

FDIS	Report on voting
9/1918/FDIS	9/1946/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 of IEC series 61287, under the general title *Railway applications – Power converters installed on board rolling stock*, 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 web site under "<http://webstore.iec.ch>" in the data related to the specific publication. At this date, the publication will be

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

# RAILWAY APPLICATIONS – POWER CONVERTERS INSTALLED ON BOARD ROLLING STOCK –

## Part 1: Characteristics and test methods

### 1 Scope

This part of IEC 61287 defines terminology, service conditions, general characteristics and test methods of electronic power converters onboard of rolling stock.

This International Standard is applicable to power electronic converters mounted on board railway rolling-stock and intended for supplying

- traction circuits;
- auxiliary circuits of power vehicles, coaches and trailers.

The application of this standard extends as far as possible to all other traction vehicles, including trolley-buses, for example.

This standard covers the complete converter assembly together with its mounting arrangements containing

- semiconductor device assemblies;
- integrated cooling systems;
- integrated components like inductors, capacitors, transformers, resistors, contactors, switches;
- semiconductor drive units (SDU) and related sensors;
- incorporated protection circuits.

The following types of power sources are taken into consideration:

- AC contact lines,
- DC contact lines,
- on-board supplies such as generators, batteries and other electric power sources.

This standard excludes converters which provide the electronic control supply for semiconductor drive units (SDU) and other supplies relevant to the converter operation such as sensors.

NOTE 1 Electronic control equipment of converters and those sensors not related to semiconductor drive units and the printed circuit board assemblies of semiconductor drive units (SDU) are covered by IEC 60571.

NOTE 2 Combined tests with the whole traction system or auxiliary supply system are not within the scope of this standard. E.g. rules for combined tests of a motor fed by a converter are given in the IEC 61377 series.

### 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 60050-551:1998, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 551: Power electronics*

IEC 60050-811:1991, *International Electrotechnical Vocabulary – Chapter 811: Electric traction*

IEC 60076-10:2001, *Power transformers – Part 10: Determination of sound levels*

IEC 60077-1:1999, *Railway applications – Electric equipment for rolling stock – Part 1: General service conditions and general rules*

IEC 60270, *High-voltage test techniques – Partial discharge measurements*

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

IEC 60322, *Railway applications – Electric equipment for rolling stock – Rules for power resistors of open construction*

IEC 60349-1, *Electric traction – Rotating electrical machines for rail and road vehicles – Part 1: Machines other than electronic converter-fed alternating current motors*

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 60384-4, *Fixed capacitors for use in electronic equipment – Part 4: Sectional specification – Aluminium electrolytic capacitors with solid (MnO<sub>2</sub>) and non-solid electrolyte*

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

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 60747 (all parts), *Semiconductor devices – Discrete devices*

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

IEC 61148, *Terminal markings for valve device stacks and assemblies and for power conversion equipment*

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

IEC 61881 (all parts), *Railway applications – Rolling stock equipment – Capacitors for power electronics*

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

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 62497-1:2010, *Railway applications – Insulation coordination – Part 1: Basic requirements – Clearances and creepage distances for all electrical and electronic equipment*  
IEC 62497-1:2010/AMD1:2013

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

### 3 Terms and definitions

For the purposes of this document, the terms and definitions given in IEC 60050-551:1998 and IEC 60050-811:1991, as well as the following, apply.

#### 3.1 General

##### 3.1.1

###### **user**

party which is responsible for the specification and the integration of the power converter into the railway vehicle

##### 3.1.2

###### **manufacturer**

party which designs and manufactures the power converter

##### 3.1.3

###### **railway authority**

organization which allows vehicle operators to operate railway vehicles and defines rules for safe operation

##### 3.1.4

###### **test specification**

document that specifies the requirements for one or more tests

Note 1 to entry: For instance test acceptance criteria, test conditions, test methods.

Note 2 to entry: According to the specific terminologies used in the quality management systems of various organisations that perform tests on power converters for rolling stock, this document may have another title e.g. test plan.

#### 3.2 Terms and definitions related to equipment

##### 3.2.1

###### **(electronic) (power) converter**

an operative unit for electronic power conversion, comprising one or more electronic valve devices, transformers and filters if necessary and auxiliaries if any

Note 1 to entry: A converter is defined by the input and output electrical characteristics. The converter may comprise a discrete chopper, inverter, etc. or a combination of these not necessarily in one cubicle.

Note 2 to entry: The converter is a part of the propulsion (or auxiliary) equipment. The converter may include, for example, a line circuit breaker, filter, transformer, cooling system, etc.

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-12-01]

### **3.2.2**

#### **traction converter**

converter providing traction power

### **3.2.3**

#### **auxiliary converter**

converter providing power for auxiliary services

Note 1 to entry: For example, lighting, battery charging, air conditioning, cooling (main service), control circuits, etc.

### **3.2.4**

#### **direct converter**

an electronic converter without an intermediate link

### **3.2.5**

#### **indirect converter**

an electronic converter with an intermediate link

### **3.2.6**

#### **converter system**

system consisting of several converters required to operate connected together, each having different input and/or output characteristics and which also have different functional connections

Note 1 to entry: A converter system is defined by a system specification in addition to the individual specification of each different converter making up the system.

### **3.2.7**

#### **converter windings**

windings of a transformer connected to the terminals of the converter

### **3.2.8**

#### **auxiliary winding**

a winding or part of a transformer winding which supplies the auxiliary circuits

[SOURCE: IEC 60050-811:1991, 811-26-12]

### **3.2.9**

#### **semiconductor device**

device whose essential characteristics are due to the flow of charge carriers within a semiconductor

Note 1 to entry: The definition includes devices whose essential characteristics are only in part due to the flow of charge carriers in a semiconductor but that are considered as semiconductor devices for the purpose of specification.

[SOURCE: IEC 60050-521:2002, 521-04-01]

### **3.2.10**

#### **input and output**

input is the side which absorbs active power in motoring operation, the output side being that which delivers active power in motoring operation

Note 1 to entry: Electrical isolation. If individual electrical circuits (for example, input, output, control circuit) are specified as isolated, then the circuits are galvanically separated.

### 3.3 Terms and definitions related to electrical parameters

#### 3.3.1

##### **load profile**

curve to illustrate the variance of current/power versus time under specified conditions such as

- for traction converter: starting and braking of the vehicle;
- for auxiliary converter: starting and steady state running periods of the auxiliary loads;

the line voltage is also considered

#### 3.3.2

##### **maximum instantaneous current**

maximum specified current which the converter can commutate for a specified voltage

#### 3.3.3

##### **transient**

pertaining to, or designating, a phenomenon or quantity which varies between two consecutive steady states during a time interval short compared with the time-scale of interest

[SOURCE: IEC 60050-702:1992, 702-07-78]

#### 3.3.4

##### **harmonic component**

sinusoidal component of a periodic quantity having a harmonic frequency

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-20-07]

#### 3.3.5

##### **DC ripple factor**

the ratio of half the difference between the maximum and minimum value of a pulsating direct current to the mean value of this current

Note 1 to entry: With low values of the DC ripple factor this quantity is approximately equal to the ratio of the difference to the sum of the maximum and the minimum value.

Note 2 to entry:  $\text{DC ripple factor} = (I_{\max} - I_{\min}) / 2 \times I_{\text{mean}}$

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-17-29]

#### 3.3.6

##### **nominal value**

value of a quantity used to designate and identify a component, device, equipment, or system

Note 1 to entry: The nominal value is generally a rounded value.

[SOURCE: IEC 60050-151:2001, 151-16-09]

#### 3.3.7

##### **rated value**

value of a quantity used for specification purposes, established for a specified set of operating conditions of a component, device, equipment, or system

Note 1 to entry: Generally defined by the manufacturer.

[SOURCE: IEC 60050-151:2001, 151-16-08]

### **3.3.8**

#### **operating point value**

quantity value assigned, generally by the user, for a specified operating condition of a component, device or equipment

### **3.3.9**

#### **special value**

quantity value assigned, generally by the user, for expected fault conditions within the supply or the load of a converter

## **4 Common clauses**

### **4.1 General**

#### **4.1.1 Design**

The design process shall be visible and audible.

If the user requires details of this process for tender evaluation, the user shall define this in the tender documents.

#### **4.1.2 Marking**

##### **4.1.2.1 Nameplate**

The converter shall be provided with a nameplate which shall be readable during the useful life of the converter and on which at least the following is inscribed:

- manufacturer's mark;
- number of main drawing and revision number and/or type designation;
- serial number;
- year of manufacture;
- mass.

##### **4.1.2.2 Main terminals**

The marking of the main terminals shall comply with the specifications given in IEC 61148.

### **4.1.3 Technical documentation**

#### **4.1.3.1 Documentation supplied by the manufacturer**

Documentation about the use and maintenance of the converter shall be provided by the manufacturer and shall include the following:

- device description (including functional description and technical data);
- type and routine test specification (list of tests, test methods, limits, tolerances, test conditions, acceptance criteria);
- results of the specified tests (test certificate);
- commissioning instructions;
- operating instructions;
- maintenance instructions;
- repair instructions;
- description of special tools for maintenance and repair purposes, if any;

- training programme and supporting media, to be detailed by agreement between the manufacturer and the user;
- declaration of materials which are required to be treated as special waste, when they are removed from service (either alone or with the converter).

#### **4.1.3.2 Documentation to be supplied by the user**

The user shall, if necessary, furnish a specification, which is primarily intended to give details of the agreements listed in Annex B. It is only necessary to enter an item in the specification if it differs from the normal requirement in this standard. The specification may also contain:

- general technical description of the application;
- special service conditions;
- supply system characteristics;
- load profile and duty cycles;
- EMC requirements;
- cooling requirements;
- ambient conditions;
- safety measures including fire behaviour requirements;
- features of electrical and mechanical design;
- details of the available maintenance and repair facilities.

Requirements shall be clear and univocal.

For example, statements which are not quantified like “Equipment shall not interfere with signalling and telecommunication facilities.” are not acceptable.

#### **4.1.4 Reliability, availability, maintainability and safety**

##### **4.1.4.1 Reliability**

The user may require the manufacturer to predict the reliability figure or meet the user's reliability target. The method of calculation shall be agreed between the manufacturer and the user at the time of tendering.

The specification and verification of the reliability requirements shall be in accordance with IEC 62278.

##### **4.1.4.2 Availability**

The user may require the manufacturer to predict the availability figure or meet the user's availability target. The method of calculation shall be agreed between the manufacturer and the user at the time of tendering.

The specification and the method of calculation and verification shall be in accordance with IEC 62278.

##### **4.1.4.3 Maintainability**

Maintenance requirements shall be defined by the user at the time of tendering. In addition, the equipment manufacturer shall define what maintenance procedures are necessary or prohibited. The maintenance procedure shall be agreed between the manufacturer and the user.

The specification and verification of these requirements shall be in accordance with IEC 62278.

#### **4.1.4.4 Safety**

Safety requirements shall be defined by the user at the time of tendering and agreed with the manufacturer.

The specification and verification of the safety requirements shall be in accordance with IEC 62278.

#### **4.1.5 Useful lifetime**

At the time of tendering, the useful lifetime of the converter shall be agreed between the manufacturer and the user. If the manufacturer intends to use components with a known life less than the useful life of the converter, their use and procedures for their regular replacement shall be agreed.

Recommendation of spare parts is given by the manufacturer.

### **4.2 Service conditions**

#### **4.2.1 General**

The classes of service conditions described in IEC 62498-1 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.

#### **4.2.2 Altitude**

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

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

#### **4.2.3 Temperature**

##### **4.2.3.1 Ambient temperature**

The class of ambient temperature, at which the vehicle, the converter 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 or for the converter cooling medium. 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 the IEC 60216 series for insulating materials), i.e. the reference temperature is usually higher than the arithmetic mean temperature.

For altitude class AX, 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).

#### 4.2.3.2 Start-up temperatures

This subclause applies to parked vehicles which are not connected to any power source.

The maximum start-up temperature for converters directly exposed to the ambient external to the vehicle shall be as specified in 4.2.3.1.

For converters installed inside a vehicle compartment the maximum start-up temperature shall be 70 °C.

Table 1 gives the different classes of start-up load characteristics at which the equipment shall perform as specified. There is no preferred class; the class should be chosen to be appropriate to the use of the converter. The choice of class of start-up temperature shall be agreed between the manufacturer and the user.

**Table 1 – General classes of start-up load characteristics**

Load class	Start-up power
SU1	Rated voltage, no load until within specified temperature range <sup>a</sup>
SU2	50 % rated power until within specified temperature range <sup>a</sup>
SU3	100 % rated power immediately <sup>b</sup>
SU4	Other specified conditions
<sup>a</sup> For example, the traction power of a locomotive may not necessarily be available immediately after connection to the supply. The equipment can be brought to the working temperature by auxiliary equipment.	
<sup>b</sup> For example, in some cases, auxiliary converters have to perform immediately after connection to the supply.	

#### 4.2.4 Other environmental conditions

The converter shall be designed for the conditions of humidity and pollution specified in IEC 62498-1.

#### 4.2.5 Mechanical stress

##### 4.2.5.1 Shock and vibration

The converter, 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.

##### 4.2.5.2 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 converter, including the cooling system, shall continue to perform as specified under transverse and longitudinal accelerations as specified in IEC 61373. These requirements shall be agreed between user and manufacturer.

#### 4.2.6 Load profile

In view of the fact that the characteristics of the load profile may affect the operating characteristics of a converter or converter components, the load profile shall always be specified. This profile shall be calculated by the duty cycle and agreed by manufacturer and user.

NOTE 1 The profile is used to calculate the worst-case conditions for the components involved and to define the conditions for the temperature-rise test (4.5.3.13).

NOTE 2 For traction converters the duty cycle can be a typical theoretical cycle (acceleration, constant speed, braking and stop) or a specified cycle for the vehicle in which the converter is mounted. Generally, this cycle is defined for the nominal input voltage for traction and in other cases, such as braking at a specified voltage.

NOTE 3 For auxiliary converters, see 7.2.3.3.

## **4.2.7 Supply-system characteristics**

### **4.2.7.1 General**

The user should define the characteristics of the supply system in motoring and in braking operation and under possible fault conditions.

### **4.2.7.2 AC supply systems**

#### **4.2.7.2.1 Main characteristics of the AC line voltage**

The main characteristics of the different AC supply systems in use are described in IEC 60850. The equipment shall perform as specified when it is used within the system(s) for which it is intended.

#### **4.2.7.2.2 Step change of line voltage**

The step change of the line voltage shall be specified by the user; the corresponding performance of the converter shall be agreed between the manufacturer and the user.

#### **4.2.7.2.3 Distortion of AC line voltage**

The line voltage of the traction system shall be assumed to be sinusoidal to a great extent.

The equipment shall perform as specified when the steady-state AC line voltage contains levels of harmonic and inter-harmonic voltages less than, or equal to, the values agreed between manufacturer and the user.

#### **4.2.7.2.4 Overvoltage in AC systems**

The converter, including its protective devices, connected to the transformer and input filter (if any) shall be able to withstand the input over voltages and transient energies given in IEC 60850. These are considered as normal conditions; any substantial deviations shall be specified by the user.

#### **4.2.7.2.5 AC system impedance**

Since the AC supply impedance affects the performance characteristics of the equipment and may vary with the position of the vehicle, the characteristics including the maximum and minimum values of this impedance shall be specified by the user.

If necessary and where possible, resonant frequencies of the AC system shall be specified by the user, either directly or by means of a model of the system.

The effect of the presence of other vehicles on supply impedance and resonance frequencies should also be taken into account.

### **4.2.7.3 DC supply system**

#### **4.2.7.3.1 Main characteristics of the DC line voltage**

The main characteristics of the different DC supply systems in use are given in IEC 60850. The equipment shall perform as specified when it is used within the system(s) for which it is intended.

It will be assumed that the line voltage of the traction system is the DC voltage converted from a three-phase sinusoidal voltage by full-wave rectification with a pulse number of six or more.

The user shall state any other arrangement, for example, pulse number other than 6, use of phase-controlled rectification, presence of regenerative braked vehicles on the system or harmonic filters in the substations.

#### **4.2.7.3.2 Step change of line voltage**

The step change of the line voltage shall be specified by the user; the corresponding performance of the converter shall be agreed between the manufacturer and the user.

#### **4.2.7.3.3 Overvoltage in DC systems**

The converter including its input filter and protective devices, if any, shall be able to withstand the input over voltages and transient energies given in IEC 60850. Any substantial deviations shall be specified by the user.

#### **4.2.7.3.4 DC system inductance and resistance**

Since the DC supply impedance and resistance affects the performance characteristics of the equipment and may vary with the position of the vehicle, the characteristics including maximum and minimum values of this impedance and resistance shall be specified by the user.

The presence of other vehicles should also be taken into account.

#### **4.2.7.3.5 Distortion of DC line voltage**

The equipment shall perform as specified when the steady-state DC line voltage distortion is less than, or equal to, the values agreed by the manufacturer and the user.

#### **4.2.7.4 Other supply systems**

Where the converter is supplied by a supply such as

- battery;
- generators;
- shore supply (workshop supply);
- other electric power sources,

the user shall specify rated values and limit values for the voltage and impedance of the supply, and in the case of AC supply, the frequency and wave form.

### **4.2.8 Interference**

#### **4.2.8.1 General**

The converter will produce interference by conduction or radiation which may affect the supply, telecommunication or signalling systems, or other equipment in the vehicle or neighbourhood of the transportation system. The input current of the converter normally contains harmonic and inter-harmonic components. These are due to harmonics present in the traction supply or are generated by the converter. Where a converter supplies other equipment on the train, interference with other equipment on the train (for example, coach heating supplies) should be considered.

The equipment shall comply with the requirements given in IEC 62236-3-1 and IEC 62236-3-2.

#### **4.2.8.2 Interference with the supply system (emission)**

The responsibility for compatibility between the converter, the vehicle and the supply system is shared among the converter manufacturer and the user. The process to verify compatibility shall be agreed upon at the time of contract.

The permissible AC harmonic current contents of the whole system shall be defined by the user.

#### **4.2.8.3 Interference with radio and telecommunication systems**

The converters may cause disturbance in the radio and telecommunication systems. The requirements in IEC 62236-3-2, concerning protection of radio networks and telecommunication lines against interferences shall apply. IEC 62236-3-1 should be considered.

#### **4.2.8.4 Interference with signalling systems**

The responsibility for compatibility between the converter, the vehicle and the signalling system is shared among the converter manufacturer and the user. The process to verify compatibility shall be agreed upon at the time of contract.

Detailed requirements regarding interference with the signalling system shall be defined by the railway authority and referred to in the specification of the user.

For example:

- the maximum allowable currents at signalling frequencies with a specified bandwidth and duration in the supply system caused by the converter. Signalling frequencies are usually in the frequency range below 150 kHz, whereby harmonic content of switching transients can lie within this range.

The manufacturer should take into account that the total interference current from the line and from the vehicles should not exceed the level specified by the railway authority and referred to in the specification of the user;

- the minimum input impedance for the vehicle at the signalling frequencies.

If rolling stock is intended to run on several railway networks, the agreement should take into account the requirements applicable to each network;

- the maximum allowable trackside magnetic fields.

NOTE Trackside sensors could be affected in their working frequency range by magnetic fields.

#### **4.2.9 Input current limitations**

Any limitation of the steady-state and in-rush or switch-on current shall be stated by the user.

The user shall also state the short-term current capability of the supply system and the nature of the protection network.

#### **4.2.10 Influence on the environment**

##### **4.2.10.1 Acoustic noise**

Table 2 defines the acoustic classes. The maximum level of acoustic noise emitted by the converter shall comply with one of these classes.

Lower values may be stated in the specification (see 4.1.3.2).

**Table 2 – Classes of acoustic noise**

<b>Class</b>	<b>N1</b> dB <sub>A</sub>	<b>N2</b> dB <sub>A</sub>	<b>N3</b> dB <sub>A</sub>	<b>N4</b> dB <sub>A</sub>	<b>N5</b> dB <sub>A</sub>	<b>N6</b> dB <sub>A</sub>	<b>N7</b> dB <sub>A</sub>	<b>N8</b> dB <sub>A</sub>
Noise level $L_{pA}$	80	75	70	65	60	95	90	85

The noise level is defined by the parameter  $L_{pA}$  = A-weighted surface sound pressure level at 1 m distance.

Test methods are defined in 4.5.3.12.

In the case of a converter with a separate cooling system, if this system is used only for the converter cooling, it is considered as a part of the converter to define the acoustic class. The maximum noise level of the acoustic noise for the complete propulsion system or the complete auxiliary equipment is not covered in this standard. It is necessary to take into account that, after mounting the converter on the vehicle, the emitted noise level will depend upon its location and precautionary measures, if any. Classes N6, N7, N8 are allowed only if the noise is decreased by installation or by operating methods. The choice of class of acoustic noise shall be agreed between the manufacturer and the user. The noise of the converter, when the converter is mounted on the vehicle, is the responsibility of the main contractor (vehicle contractor).

#### **4.2.10.2 Maximum temperature of accessible parts**

The maximum temperature of accessible parts shall be in accordance with Table 3 of IEC 60077-1:1999.

### **4.3 Characteristics**

#### **4.3.1 Characteristics of components**

##### **4.3.1.1 Specifications**

Components shall comply with specifications which define their functional and physical parameters with sufficient precision to allow subsequent redesign or sourcing of an interchangeable device from an alternative supplier.

##### **4.3.1.2 Quality system**

Suppliers of components shall have a compliant quality system.

##### **4.3.2 Characteristics of semiconductor devices**

Semiconductor devices of power circuits shall comply with the specifications given in the IEC 60747 series and their function under the conditions specified in the present standard shall be ensured.

##### **4.3.3 Characteristics of transformers, reactors and capacitors**

The characteristics of power transformers and reactors used in converters shall comply with the requirements of IEC 60310. Those of capacitors shall comply with the requirements of IEC 61881 and IEC 60384-4.

Where there is a contradiction between the service conditions specified in IEC 60384 and IEC 61881 and this standard, this standard takes precedence. Special attention is particularly to be given to shock, vibration, operating conditions, and tests.

#### **4.3.4 Characteristics of converters**

##### **4.3.4.1 Geometrical characteristics – conformity to drawings**

The converter shall be defined by means of drawings which specify in particular:

- components;
- fixing points;
- accessibility requirements;
- gripping points for handling;
- electrical connections and air ducts or connections to the cooling system;
- dimensions and tolerances;
- total calculated mass of converter assembly and cooling medium;
- calculated position of the centre of gravity.

The specification and the design shall be agreed between the manufacturer and the user.

##### **4.3.4.2 Characteristics of cooling systems**

The essential parameters of the cooling system shall be defined in the specification agreed upon which may include the following:

- kind of cooling medium;
- flow rates for steady-state and transient conditions;
- inlet and outlet temperatures;
- pressure of operation (rated value and test value);
- pressure drops;
- power dissipation;
- additional information (for example, air distances to adjacent parts, power losses), if the surface is used for cooling purposes;
- impermeability of closed-circuit cooling systems (if employed);
- type of filter and its maintenance requirements (if any);
- maintenance information for cooling medium (for example, additives for water cooling).

##### **4.3.4.3 Degree of protection**

If specified, the degree of protection shall be selected from those defined in IEC 60529.

##### **4.3.4.4 Electrical characteristics**

###### **4.3.4.4.1 Input quantities**

The converter shall be capable of being connected to one or more of the supplies specified in 4.2.7. The converter may be connected to the supply directly or through intermediate equipment, for example, a transformer or input filter.

The user shall specify the supply characteristics, taking into account the requirements of 4.2.8.

The converter, including its protective devices, if any, shall be able to withstand the input over voltages given in 4.2.7.2.4 and/or 4.2.7.3.3 without damage. The user shall state whether or not the protective devices used are required to be re-settable.

#### **4.3.4.4.2 Output quantities**

##### **4.3.4.4.2.1 General**

Rated values refer to the converter and operating point values refer to the application.

##### **4.3.4.4.2.2 Rated values**

The rated values of the following output quantities shall be defined in the specification:

- voltage (fundamental r.m.s. or mean value);
- current (fundamental r.m.s. or mean value);
- turn-off current;
- power factor of the fundamental frequency wave;
- frequencies (fundamental, carrier, and modulation frequency).

##### **4.3.4.4.2.3 Operating point values**

The output quantities shall be defined by the manufacturer in a specification containing particular operating points in accordance with 4.2.7. The specification should include:

- power (active, reactive);
- voltage (fundamental r.m.s. or mean value);
- voltage waveform;
- current (fundamental r.m.s. or mean value);
- current peak value;
- admissible time of operation at each particular operating point;
- frequencies (fundamental, carrier, modulation).

This should be agreed between the manufacturer and the user.

##### **4.3.4.4.2.4 Special values**

The characteristics on short circuit and open circuit shall be described according to 4.1.3.2. Any particular requirements from the user shall be specified according to 4.1.3.2.

This should be agreed between the manufacturer and the user.

##### **4.3.4.4.3 Power efficiency**

The power efficiency shall be determined for nominal supply system characteristics (see 4.2.7) at least at one of the operating points of 4.3.4.4.2.3 preferably at rated operation conditions.

Power efficiency shall be determined for both directions of energy flow through the converter, if applicable.

This should be agreed between the manufacturer and the user.

NOTE Definition of power efficiency is given in IEC 60146-1-1.

#### **4.3.4.4.4 Electrical isolation**

If the converter ensures electrical isolation between the supply and the load, this shall be stated in the specification of the converter.

#### **4.3.4.4.5 Interfaces between converter and control unit**

Where the converter (power part) and the control unit are separated, the functional interfaces between them shall be specified.

### **4.4 Technical requirements**

#### **4.4.1 Insulation co-ordination**

The minimum clearances and creepage distances shall comply with and be verified according to IEC 62497-1:2010/AMD1:2013.

The basis for the determination of the minimum clearances is the rated impulse voltage and the environment.

For altitudes higher than 2 000 m above sea-level, the altitude correction factors for clearances according to IEC 62497-1:2010/AMD1:2013, Table A.9 and Table A.10 shall be applied. Linear interpolation is allowed.

The basis for the determination of minimum creepage distances is the rated insulation voltage, the environment and the insulation material.

The user shall provide the information required by the manufacturer for the definition of the insulation co-ordination.

#### **4.4.2 EMC requirements for converters**

##### **4.4.2.1 General**

The EMC requirements for converters are given in IEC 62236-3-2.

The user shall declare devices from which high disturbances and/or low susceptibility may be expected.

##### **4.4.2.2 Electromagnetic fields**

###### **4.4.2.2.1 Interference with trackside equipment**

Magnetic fields of the vehicle due to the converter, which can affect the trackside equipment, shall be limited according to either IEC 62236-3-2 or an individual EMC plan of the project.

This permitted field is one which is tolerable to trackside communication circuits and sensors.

###### **4.4.2.2.2 Effects on human beings**

The magnetic fields and induced voltages allowed in driver and passenger compartments (in general, all environments where passengers may be present) shall be specified by the user. The user and the manufacturer shall agree on the requirements on converter level.

For information, see Annex C.

### 4.4.3 Fault effects

The effects which faults in the converter have on components, such as the motor, the transformer, the filter etc. which are connected to it, shall be considered. Similarly, the effects which faults in the motor, the transformer, the filter etc. have on the converter shall also be considered. These fault effects shall be specified and agreed between the manufacturer and the user.

Unless specified, failure mode effects analysis is not required.

## 4.5 Tests

### 4.5.1 General

#### 4.5.1.1 Overview

The aim of the tests is to prove conformity with the relevant specification.

It is recommended that the number of expensive tests be limited to those which are necessary. This standard is so framed that most of the tests can normally be carried out in the manufacturer's workshop.

If it is not possible to test the equipment in the manufacturer's workshop by methods defined and agreed on, the tests can also be carried out in a special laboratory or on a vehicle. The tests concern mainly the power part of the converter including the semiconductor drive units (SDU).

The test procedure and the test parameters shall be specified by agreement between the manufacturer and the user.

For the converter tests it is possible to use an electronic control unit (vehicle control unit) different from the production equipment.

#### 4.5.1.2 Categories of test

##### 4.5.1.2.1 General

There are three categories of tests:

- type tests;
- routine tests;
- investigation tests.

NOTE Combined tests are not covered by this standard.

##### 4.5.1.2.2 Type tests

Before executing the type tests the equipment shall be checked by the routine test (see Table 3).

Type tests shall be carried out to verify that a product will meet the requirements specified and agreed upon between the manufacturer and the user.

The type tests shall be performed on a single unit of a given design and manufacturing procedure. For this test, in principle, all parts of the converter should be identical to the series production equipment unless the restriction of 4.5.1.1 concerning the electronic control unit is applied.

If significant modifications to the converter are made after the type test, there should be an agreement between the manufacturer and the user about repeating parts or all of the test.

If the methods of test necessitate the use of some components or a control unit different from those of series production, it is necessary to have an agreement between the manufacturer and the user.

If a complete converter or one of its components is identical with, or similar to, one previously tested, the manufacturer may supply a certificate of previous tests which shall at least cover the contractual requirements. In such cases, unless otherwise agreed, it is not necessary to repeat the test.

In the case of production of a great number of identical converters, subject to previous agreement between the manufacturer and the user, some of these tests may be repeated on converters, or on one of their components, drawn from current production or deliveries, so as to confirm that the product quality still meets the specified requirements.

Type 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.

#### **4.5.1.2.3 Routine tests**

Routine tests are carried out to verify that the converter is correctly assembled and that all components function properly and safely. 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 converters or may require the full tests on a portion of converters chosen at random from those produced within the frame of the contract.

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.

#### **4.5.1.2.4 Investigation tests**

Investigation tests, the object of which is to obtain additional information on the use of the converter, shall be subject to previous agreement between the manufacturer and the user. The performance of these tests is required only if they are expressly specified in the contract.

The results of investigation tests may not be used as reason for refusing acceptance of the equipment or to invoke penalties.

NOTE Investigation tests are not described in this standard.

### **4.5.2 Converter tests**

#### **4.5.2.1 General**

Type tests and routine tests intended to verify the general characteristics of converters shall be carried out in accordance with the subclauses given in Table 3 and detailed in 4.5.3.1 to 4.5.3.22.

The routine test shall be carried out in the workshop. The location where tests are generally carried out should be as given in Table 3.

All these tests on converters may be carried out at the ambient temperature of the workshop or vehicle. Ambient temperature during each type test shall be recorded.

Type tests and routine tests intended to verify the characteristics of a particular type of converter shall be carried out in accordance with the requirements of this clause and (if applicable) Clauses 5 to 8 of this standard. In particular, tests with specified load are given in Clause 5 or 7.

Separate tests of different outputs: in the case of a converter with multiple outputs, it is necessary to carry out the electrical routine and type test for each output.

#### **4.5.2.2 Tests of converter components and subassemblies**

##### **4.5.2.2.1 General**

The converter components and subassemblies listed below shall be subjected to tests according to the following standards, before assembly in the converter:

- power semiconductor devices: IEC 60747;
- control electronic and low-current components: IEC 60571;
- semiconductor drive units (SDU): IEC 61287-1 and IEC 60571;
- power transformers and reactors: IEC 60310;
- power electronics capacitors: IEC 61881, IEC 60384-4;
- semiconductor device assemblies: if any, shall be tested in accordance with a test specification provided by the manufacturer of the semiconductor device assembly;
- power-resistors: IEC 60322.

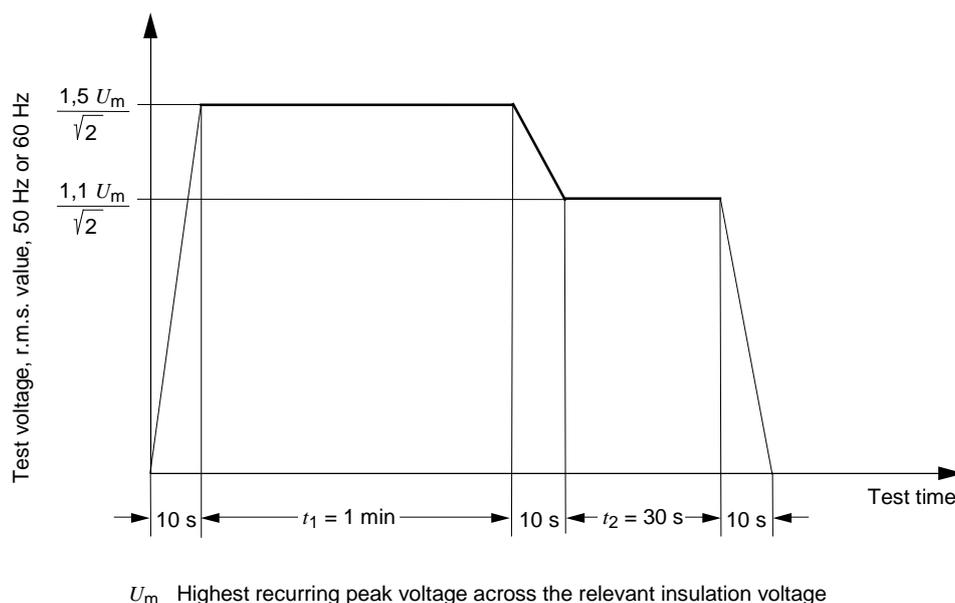
##### **4.5.2.2.2 Partial discharge test**

This is a component test. The execution of the test is subject to the relevant component standard.

This test is carried out to verify the insulation of elementary components or subassemblies.

It is recommended to perform this test for equipment working at 1 500 V or more, especially for new components and for semiconductor device assemblies with new insulating technology.

IEC 60270 gives test and calibration methods and describes some types of test circuits. Among these test methods, it is recommended to use the following.



IEC 1882/14

**Figure 1 – Partial discharge test – Voltage versus time**

An AC r.m.s. voltage (50 Hz or 60 Hz) equal to  $1,5 U_m / \sqrt{2}$  or higher is applied. The voltage is ramped up to  $1,5 U_m / \sqrt{2}$  in 10 s and is maintained for  $t_1 = 1$  min (see Figure 1). During this time  $t_1$ , some partial discharges may be observed.

After  $t_1$ , the voltage is decreased to  $1,1 U_m / \sqrt{2}$  in 10 s. The voltage  $1,1 U_m / \sqrt{2}$  is applied for  $t_2 = 30$  s. During the last 5 s of  $t_2$ , the level of partial discharge is measured.

Acceptance criteria: Acceptance is based on the measured level of partial discharge as specified by the manufacturer.

EXAMPLE For a component, a typical value to pass the test is 10 pC and for a subassembly 50 pC.

#### 4.5.2.3 List of converter tests

The list of general tests to be performed on a complete converter and their classification is given in Table 3 below. This list contains a minimum of tests.

**Table 3 – List of tests**

Nature of test	Location	Type test	Routine test	Subclause
Visual inspection	W.S.		X	4.5.3.1
Verification of dimensions and tolerances	W.S.	X	<sup>b</sup>	4.5.3.2
Weighing	W.S.	X		4.5.3.3
Marking inspection	W.S.		X	4.5.3.4
Cooling system performance tests	W.S./V	X		4.5.3.5
Leakage test	W.S./V		X	4.5.3.5.4
Test of the degree of protection	W.S.	X <sup>a</sup>		4.5.3.6
Dielectric test	W.S.		X	4.5.3.7
Insulation resistance test	W.S.		X <sup>a</sup>	4.5.3.8
Tests of mechanical and electrical protection and measuring equipment	W.S.	X	X	4.5.3.9
Light load test	W.S.		X	4.5.3.10
Commutation test	W.S./V	X		4.5.3.11
Acoustic noise measurement	W.S.	X		4.5.3.12
Temperature-rise test	W.S.	X		4.5.3.13
Power loss determination	W.S.	X		4.5.3.14
Supply overvoltage and transient energy test	W.S./V	X		4.5.3.15
Sudden variations of load	W.S./V	X <sup>a</sup>		4.5.3.16
Safety requirements inspection	W.S.	X		4.5.3.17
Tests for withstanding vibration and shock	W.S.	X		4.5.3.18
Test of electromagnetic compatibility	W.S./V	X		4.5.3.19
Step change of line voltage test	W.S./V	X <sup>a</sup>		4.5.3.20
Short-time supply interruption test	W.S./V	X <sup>a</sup>		4.5.3.21
Current sharing	W.S./V	X <sup>a</sup>		4.5.3.22
W.S.: The test shall be made in the workshop.				
W.S./V: The test can be made in the workshop or on the vehicle.				
NOTE The tests listed in this table and carried out on the vehicle are considered as converter tests but can also form part of a combined test.				
<sup>a</sup> The execution of the test is subject to agreement between the manufacturer and the user.				
<sup>b</sup> Some sizes and tolerances may be checked by a routine test, according to the requirements of the specification.				

### 4.5.3 Description of tests

#### 4.5.3.1 Visual inspection

This is a routine test.

The object of the visual inspection is to prove that the converter is free from physical defects and that surface treatments have been duly carried out.

It includes checking for the presence of all internal and interface electrical and mechanical components and their connections.

The visual inspection also includes checking that the electrical and mechanical connectors have been assembled correctly and that the connections between components follow the specified routes.

If visual inspection is not sufficient to verify that the specified safety requirements of the converter are met, then appropriate additional tests shall be carried out.

Acceptance criteria: The converter shall be free from physical defects, all electrical and mechanical components shall be as specified and assembled correctly, and the safety requirements are met as agreed between the manufacturer and the user.

#### **4.5.3.2 Verification of dimensions and tolerances**

This is a type test.

Dimensions and their tolerances shall be checked.

Acceptance criteria: All dimensions which are chosen for the check shall be within the specified tolerances.

#### **4.5.3.3 Weighing**

This is a type test.

If the mass is specified in the contract, the converter shall be weighed.

Acceptance criteria: The mass shall correspond to the specified value within the allowed tolerances.

#### **4.5.3.4 Marking inspection**

This is a routine test.

Acceptance criteria: The marking shall comply with the requirements of 4.1.2.

#### **4.5.3.5 Cooling system performance tests**

##### **4.5.3.5.1 General**

This is a type test.

This test may be performed either on a complete converter or on a partially finished converter which is representative of a finished converter.

There are two possible cases: a converter with an integrated cooling system and a converter with a separate cooling system.

##### **4.5.3.5.2 Converter with integrated cooling system**

The object of this test is to measure the flow of the cooling medium passing through the various components concerned and to verify whether it complies with the specified flow. If the fan, pump or radiator set(s) form(s) part of the converter, the test shall be carried out:

- with the converter having specified input and output cooling conditions;
- with power supplied to the cooling system at the following conditions:
  - at the nominal voltage and/or nominal frequency of the power supply of fan or pump;

at the voltage and/or frequency corresponding to the minimum value specified.

Acceptance criteria: The quantities of all parameters which are listed for checking in the test specification shall be within the specified limits. An allowance for tolerances in the test equipment shall be permitted.

NOTE In some cases, the flow can be variable, for example, when using braking energy to supply the cooling system.

#### **4.5.3.5.3 Converter with separate cooling system**

In the case of a converter without an integrated cooling system, the object of this test is to verify that the pressure drop across the converter is in accordance with the specified range of values, to measure the flow of cooling medium passing through the various components concerned and to verify the increase of temperature ( $\Delta T$ ) of the cooling medium under specified load conditions of the converter. This test may be performed on an adequate model of the converter.

If the fan, pump, or radiator sets do not form part of the converter, the tests shall be carried out with a suitable fan, pump or radiator set. The flow and pressure of the cooling medium shall comply with the values specified by the manufacturer of the converter or in the specification. The pressure drop shall be measured and the inlet temperature of the cooling medium shall be noted.

Acceptance criteria: The quantities of all parameters which are listed for checking in the test specification shall be within the specified limits. An allowance for tolerances in the test equipment shall be permitted.

#### **4.5.3.5.4 Leakage test**

This is a routine test.

Where closed-circuit fluid cooling is employed, a leakage test shall be performed to prove that no leakage occurs in the complete cooling system.

Acceptance criteria: The test method and its acceptance criteria shall be subject to an agreement between the manufacturer and the user.

Heat pipe devices should be tested before they are installed in the converter. In this case, a special test with the converter is not necessary.

#### **4.5.3.6 Test of the degree of protection**

This is a type test. The execution of the test is subject to agreement between the manufacturer and the user.

If a test of the degree of protection is stipulated in the specification, it shall be performed according to IEC 60529, for the degree of protection specified in 4.3.4.3. For dust tests (IP 5X and IP 6X) on large units (complete high-power converters), the use of other methods, as described in IEC 60529, is allowed.

#### **4.5.3.7 Dielectric test**

##### **4.5.3.7.1 General**

This is a routine test.

Dielectric tests are carried out to verify the correct state of a completely assembled converter. They are not carried out to verify the insulation of elementary components or clearances and creepage distances.

The converter main terminals and component terminals within the same circuit, such as the device terminals described in 8.1 shall be connected to each other.

Switchgear and contactors shall be closed or bridged.

No circuit part of the converter shall be left floating during the test.

Components or subassemblies not metallically connected to the circuit under test (for example control circuits, motors or fans) shall be grounded during the dielectric test.

If components or subassemblies ensure the insulation between circuits of different voltage levels (for example, pulse transformers, transducers), the terminals which are not connected to the circuit under test shall be connected to the ground.

If any component or subassembly is not submitted to the dielectric test of the converter, its terminals shall be grounded.

Components or subassemblies may be disconnected during the test such as:

- voltage limiters protecting the basic insulation of the converter;
- Y-capacitors in EMC filters;
- Grounding resistors, if any;
- Pre-tested subassemblies and components.

The disconnection of components shall be cited in the test specification and the test report.

The test shall be carried out at ambient workshop temperature.

Acceptance criteria: The test is declared successful if no dielectric fault occurs while the test voltage according to 4.5.3.7.4 is applied.

#### **4.5.3.7.2 Dielectric test of converter equipment with parts installed separately**

All equipment parts shall either be tested separately according to the relevant product standard or be connected with each other and then tested according to 4.5.3.7.3.

#### **4.5.3.7.3 Dielectric test of a converter arranged in a single housing**

- Direct converter

The test voltage, in accordance with 4.5.3.7.4, is applied between the terminals connected together and the housing.

- Indirect converter and converter system

Each part of the converter may be tested separately with a different test voltage. The test voltage, in accordance with 4.5.3.7.4, is applied between terminals connected together for the purpose of the test and the housing (ground). All other terminals are connected to ground during the test.

#### **4.5.3.7.4 Test voltage**

The test voltage level shall be selected according to Annex B of IEC 62497-1:2010/AMD1:2013 for Power-frequency or DC test, which is based on the rated impulse voltage.

In order to prevent pre-damages of increasingly used solid insulation, the test voltage should be applied for only 10 s.

If the chosen test method is power frequency and if the test has to be repeated, the test voltage shall be reduced to 80 % of the initial test voltage.

Specifications applying to components or subassemblies should draw attention to the repeated dielectric test on the complete converter.

#### **4.5.3.8 Insulation resistance test**

This is a routine test. The execution of the test is subject to agreement between the manufacturer and the user.

One minute after the dielectric test according to 4.5.3.7, the insulation resistance shall be measured by applying a DC voltage of at least 500 V. The insulation resistance shall be not less than 1 M $\Omega$  for rated insulation voltages ( $U_{Nm}$ ) not exceeding 1 000 V.

For higher values of  $U_{Nm}$ , the insulation resistance shall exceed 1 000  $\Omega/V$ .

Grounding resistors, if any, shall be disconnected during the insulation tests as far as necessary.

#### **4.5.3.9 Tests of mechanical and electrical protection and measuring equipment**

##### **4.5.3.9.1 General**

This is a type and routine test.

##### **4.5.3.9.2 Routine test**

The object of this test is to verify that the mechanical and electrical protection and measuring equipment functions correctly. The power circuits of the converter are not necessarily energized for this test.

Acceptance criteria: The test method and its acceptance criteria are the responsibility of the manufacturer and shall be agreed with the user.

##### **4.5.3.9.3 Type test**

The object of this test is to verify that the mechanical and electrical protection and measuring equipment functions correctly in the whole range of operating conditions according to its design specification. The converter should normally be energized for this test.

Acceptance criteria: The test method and its acceptance criteria are the responsibility of the manufacturer and shall be agreed with the user

##### **4.5.3.10 Light load test**

This is a routine test.

This test is to verify that the power circuits of the converter function properly. During the test the complete converter (or its line-side, generator-side, or load-side parts) is supplied according to the nominal input voltage and is operated with an output current to be agreed upon (exceptions are defined in 5.2.2.5 and 6.2.3.2). A suitable load is chosen. This load can be the specified load or a substitute load such as resistors and inductors. All signal and power outputs of the converter shall be checked.

Where components are connected in series their correct voltage sharing shall be in accordance with the specified tolerances.

This test is a short-time test at less than rated output power and is not intended for temperature rise.

In the case of an indirect converter, the line-side, generator-side and load-side converter may be tested independently.

Acceptance criteria: All functions which are described in the test specification shall be performed without difficulties. The quantities of all parameters, which are listed for checking in the test specification, shall be within the specified limits.

#### **4.5.3.11 Commutation test**

This is a type test.

This test is carried out to verify that the converter will commute the specified maximum instantaneous current. The input voltage is chosen to apply the worst-case conditions to the semiconductors (maximum voltage for turn-off power devices, for example, GTO and IGBT, and minimum voltage for a forced-commutated thyristor circuit).

Acceptance criteria: The test is declared successful if the switched output current is equal to, or higher than, the maximum value specified for the converter, without damage to any of the components.

#### **4.5.3.12 Acoustic noise measurement**

##### **4.5.3.12.1 General**

This is a type test.

##### **4.5.3.12.2 Test methods**

The method is defined by IEC 60076-10:2001 in which the term “transformer” shall be replaced by “converter” and in which Clauses 3, 4, 6 (6.2 and 6.3 are excluded), 7 (7.3 is excluded), and 11, as well as 10.3 and Annex A are relevant.

NOTE IEC 60076-10:2001 specifies the determination method of sound power level. For the purpose of this standard, only a part of IEC 60076-10:2001 related to sound pressure measurement method at 1 m distance from the principal radiating surface is used.

##### **4.5.3.12.3 Operating conditions**

During the test, the converter shall be in operation. For an auxiliary converter, the operating point shall be defined by the rated output power. If there are some particular operating modes, for example, a starting motor compressor, the mode corresponding to the maximum noise level will be defined by a preliminary test and shall be chosen as the operating point. For a traction converter, the operating point shall be agreed between the manufacturer and the user.

##### **4.5.3.12.4 Particular conditions**

In some cases, it is possible to have particular conditions such as:

- emergence of fixed audible frequency;
- cooling system with several speeds.

The related test conditions shall be defined by agreement between the manufacturer and the user.

### **4.5.3.13 Temperature-rise test**

#### **4.5.3.13.1 General**

This is a type test.

The manufacturer shall define in the type-test specification a list of components whose temperature shall be measured. The user may modify this list.

The temperature, of listed components shall be measured when the converter is subjected to the load profile or to equivalent conditions. Test conditions shall be agreed between manufacturer and user. For an auxiliary-converter, see 7.5.7.

The method of measurement for each component in this list shall be specified: direct (4.5.3.13.2), indirect (4.5.3.13.3) or by calculation with respect to a measured reference point (4.5.3.13.4). It shall also be agreed if the test is to be carried out on a sub circuit or on the whole circuit.

The temperature rise is defined as the temperature difference between the inlet temperature of the cooling medium to the converter and the temperature of the component of concern. The ventilation conditions or the circulation conditions of a liquid cooling medium to be used for this test shall be in accordance with those given in 4.5.3.5.

In the case of cooling by natural air convection or by supported convection due to the movement of the vehicle, the test is to be carried out by simulation of the specified cooling conditions.

In the case of very high power converters whose duty cycle may not be reproduced in the workshop, tests may be performed at reduced load or on sub circuits (part of converter). The methods of performing these tests shall be stated in the type-test specification.

The maximum temperature of any component shall be calculated from the results of the temperature rise test by extrapolation considering the difference between the temperature rise test conditions and the specified operating conditions.

Acceptance criteria: This test is declared successful if the extrapolated maximum temperature of any component does not exceed the specified limit.

#### **4.5.3.13.2 Direct temperature measurement**

The temperature may be measured directly with a temperature sensor (resistive thermometer, thermocouple, temperature sensitive sticker, infrared camera, etc.) for instance on:

- bus bars;
- resistors;
- capacitors;
- dry type transformers and inductors (IEC 60310);
- connecting junctions;
- heat sinks.

#### **4.5.3.13.3 Indirect temperature measurement**

The temperature is derived from the measurements of other physical parameters such as voltage, current, resistance, etc. For instance:

- the average temperature of a winding by measuring the variation of the DC resistance;

- the average temperature of a braking resistor by measuring the variation of the voltage and current.

#### **4.5.3.13.4 Calculation method of temperature**

With components having high internal power dissipation density, especially under surge conditions, the zone where the critical temperature may be exceeded is often not accessible for direct measurement of the temperature.

Examples are:

- junction of power semi-conductors (IEC 60747-15);
- active part of voltage arrestors;
- fuse wire of fuses;
- immersed transformers and inductors (IEC 60310).

In such cases, the temperature is directly measured at a point close to the critical zone.

The temperature difference from this point to the critical zone shall be calculated. The calculation is based on data provided by the manufacturer of the component or by the manufacturer of the converter, who shall be able to furnish test results to confirm these data.

#### **4.5.3.14 Power loss determination**

This is a type test.

This test is carried out to calculate the power efficiency. Converter power losses may be determined, either by calculation or by measurement. At the user's request, the arguments leading to the choice of method shall be given by the manufacturer.

For parts of equipment already tested and in current use, it is permissible to replace the test by calculation based on previous measurements.

Acceptance criteria: The power efficiency shall be in accordance with the requirements of 4.3.4.4.3.

NOTE This test is not applicable to converters where it is not possible to verify the power efficiency by measurement due to limited measurement accuracy. This is typically valid for converters without integrated filters or transformers.

#### **4.5.3.15 Supply overvoltage and transient energy test**

This is a type test.

It shall be confirmed that the converter is able to withstand overvoltage and transient energy surges, as specified in 4.2.7.

If the user agrees, this test may be replaced by calculation.

#### **4.5.3.16 Sudden variations of load**

This is a type test. The execution of the test is subject to agreement between the manufacturer and the user.

The self-protection, if any, shall be functioning.

The test voltage shall be chosen by agreement between the manufacturer and the user.

Test conditions are described in 5.1.3.5, 5.2.2.7 and 7.5.8.

Two kinds of test can be performed:

- short-circuit test;
- load-break test.

The acceptance criteria shall be stated in the test specification.

#### **4.5.3.17 Safety requirements inspection**

This is a type test.

The inspection is provided to check that the design of the converter meets the safety standards which are specified in the contract. The methods of performing the inspection shall be specified and should be agreed between the manufacturer and the user.

Attention should be paid to the fact that dangerous voltages may be present in the capacitors for a certain time after switching off the converter. Minimum requirements are given in IEC 61991. The specification shall state the relevant arrangements including the acceptance criteria.

#### **4.5.3.18 Tests for withstanding vibration and shock**

This is a type test.

See IEC 61373 and 4.2.5.1.

If a converter-mass is higher than 500 kg, one may test subassembly only. If a converter-mass is higher than 500 kg, a shock and vibration test may be agreed between manufacturer and user (optional type test). If no shock and vibration test is performed, a Finite Element Method (FEM) stability calculation shall be provided by the manufacturer.

#### **4.5.3.19 Test of electromagnetic compatibility**

This is a type test.

Tests for the electromagnetic compatibility of the converter are specified in IEC 62236-3-2.

#### **4.5.3.20 Step change of line voltage test**

This is a type test. The execution of the test is subject to agreement between the manufacturer and the user.

This test is provided to verify the agreed performance of the converter under sudden line-voltage variations as specified in 4.2.7.3.2. If the user agrees, this test may be replaced by calculation.

Acceptance criteria: The deviation of currents and voltages listed for checking in the test specification shall not be outside the specified tolerances.

#### **4.5.3.21 Short-time supply interruption test**

This is a type test. The execution of the test is subject to agreement between the manufacturer and the user.

This test is provided to verify that a line voltage supply interruption of any duration does not damage the converter and the current consumption remains within the specified limits, independent of the load conditions of the converter. The test condition should be agreed between manufacturer and user. If the user agrees, this test may be replaced by calculation.

Acceptance criteria: The deviation of currents and voltages listed for checking in the test specification shall not be outside the specified tolerances.

#### **4.5.3.22 Current sharing**

This is a type test. The execution of the test is subject to agreement between the manufacturer and the user.

The object of this test is to verify the correct current sharing of subassemblies connected in parallel. The measurement of the current sharing of directly in-parallel connected semiconductor devices in a subassembly is not part of the converter type test.

It is allowed to replace the normal connection to these components by a special connection containing a current sensor.

Acceptance criteria: The test is passed successfully if the current-sharing is better than, or equal to, the tolerances specified.

#### **4.5.4 Failure of components during type tests**

If failures of components occur during any of the type tests, the manufacturer shall replace the failed components at his own expense and, before the test concerned is repeated, the manufacturer shall make an investigation to verify that the specification of this component is in accordance with the application. It is not necessary to repeat the test, if the failure of the component mentioned above is obviously not attributable to the type test concerned. If no failure occurs in the course of the repeated test, the type test shall be considered as passed.

If, however, a further failure occurs, the type test shall be considered as not passed and the manufacturer shall investigate the cause of failure and correct the design before a new type test can be made.

### **5 Direct traction converters**

#### **5.1 Line-commutated converters for DC motors**

##### **5.1.1 General**

The converter is a line-commutated rectifier (with thyristors) and may be connected to a line, a line transformer, or a generator.

##### **5.1.2 Characteristics**

###### **5.1.2.1 Interface between motor and converter**

The characteristics of traction motors are dealt with in IEC 60349-1.

It is necessary to state in a detailed specification the interface between the motor and the converter including the following characteristics.

The characteristic values of the converter output quantities (rated values, variations, etc.):

- rated direct current;

- maximum direct current, considering the load profile;
- DC voltage (no load direct voltage, rated direct voltage);
- harmonic content of the DC voltage (especially under control conditions where high values of low-order components are expected);
- DC ripple factor (current), for control conditions giving maximum values related to specified smoothing reactors.

The characteristic values of the motor (rated values, variations, etc.):

- rated power;
- voltage or e.m.f. (various speeds for traction and braking);
- current;
- maximum ripple admissible considering the load profile;
- type of DC motor (series, compound, etc.);
- impedance or equivalent scheme as a function of frequency and current;
- field characteristics;
- voltage between motor terminals and earth.

#### 5.1.2.2 Interface between main transformer and converter

The characteristics of main transformers are dealt with in IEC 60310.

It is necessary to state in a detailed specification the interface between the transformer and the converter including the following characteristics:

- supply system characteristics as defined in 4.2.7;
- characteristic values of the converter AC input quantities (rated values, variations, tolerances, etc.):
  - number of converter windings;
  - no-load voltage on converter side;
  - rated AC current on the converter side;
  - maximum AC current on the converter side, considering the load profile;
  - commutation inductance;
  - frequency of the line voltage;
  - harmonic components of the AC current under specified conditions;
  - short-circuit current after a commutation failure.

### 5.1.3 Tests

#### 5.1.3.1 General

No modification of the power circuit of the converter is allowed, but the test control method can be changed ensuring at least the same stress to the converter as in the intended application. A test bench control equipment can be used provided that the working of the converter is not altered.

Tests specified in this subclause are in addition to those specified in 4.5.

For these tests, the smoothing reactor shall be considered as a part of the converter.

The tests given in Table 4 are type tests and can be carried out in the workshop or in the vehicle.

**Table 4 – Additional tests for direct traction converters**

Nature of test	Location	Type test	Routine test	Subclause
Measurement of direct voltage regulation	W.S./V	X		5.1.3.2
Load ripple current test	W.S./V	X		5.1.3.3
Short-circuit test	W.S./V	X <sup>a</sup>		5.1.3.4
Load break test	W.S./V	X <sup>a</sup>		5.1.3.5
Short-time supply interruption test in regenerative mode	W.S./V	X		5.1.3.6
W.S./V: The test can be made in the workshop or on the vehicle.				
<sup>a</sup> The execution of the test is subject to agreement between the manufacturer and the user.				

### 5.1.3.2 Measurement of direct voltage regulation

This is a type test.

The voltage is measured directly at the terminals of the converter, excluding smoothing reactor voltage drop, and at specified line voltage and impedance.

Acceptance criteria: The direct voltage regulation shall be within the limits specified by the manufacturer.

### 5.1.3.3 Load ripple current test

This is a type test.

For specified line voltage, for specified load and at points of operation corresponding to the maximum ripple current, the DC component, the r.m.s. and the minimum and maximum value of the ripple current shall be measured. The test shall be carried out with the specified smoothing impedance. The motor may be replaced by an adequate voltage source and impedance.

Acceptance criteria: This test is declared successful if the value of the ripple current is less than, or equal to, the characteristic value, specified in 5.1.2.1.

### 5.1.3.4 Short-circuit test

This is a type test. The execution of the test is subject to agreement between the manufacturer and the user.

This test is carried out to verify the protection of the converter against over-currents (for example, flashover of the motor).

The test specification is written by the manufacturer.

The test shall be made with:

- the highest rated line voltage;
- the equivalent input impedance;
- the maximum current;
- all necessary protective devices (components installed in the vehicle or having the same protective characteristics);
- a load simulating the DC motor including all effective smoothing reactance;

- a short-circuit device simulating the short-circuit path.

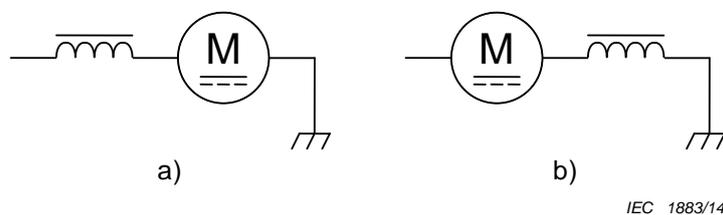
For series motors, it is possible to have the connections shown in Figure 2a) and 2b). In the case of Figure 2a), the flashover only affects the armature winding, and therefore only the resistor of the simulated load in Figure 2c) shall be short-circuited. In the case of Figure 2b), all simulated load shall be short-circuited as shown in Figure 2d).

After the current in the simulated load has reached steady-state conditions, the short-circuit device shall be closed. The resulting fault current shall be detected and cleared by protective and fault-clearing equipment in the total time specified for that equipment to function.

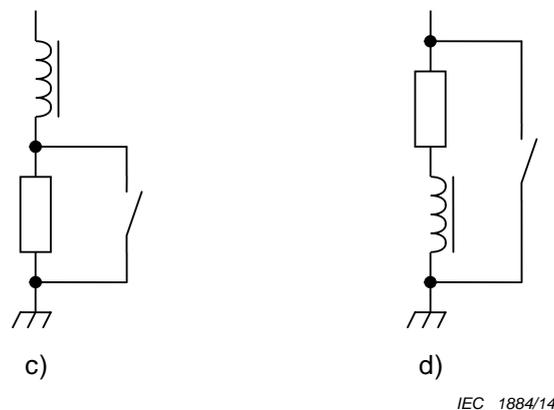
Fuses, if any, shall not blow during this test unless otherwise specified.

This test shall be made once and the over current waveform shall be recorded.

Acceptance criteria: The test is declared successful if no component is damaged during the test.



Figures 2a) and 2b) – Field/armature connections of series motors



Figures 2c) and 2d) – Short circuit connection of simulated load

Figure 2 – Configuration of series motors

### 5.1.3.5 Load break test

This is a type test. The execution of the test is subject to agreement between the manufacturer and the user.

This test is carried out to verify that the converter will not sustain any damage when the load is suddenly disconnected. The protection equipment shall be functioning.

This test shall be made with a voltage corresponding to the nominal line voltage.

The input and the output voltage waveforms shall be recorded.

Acceptance criteria: No damage during the test.

### 5.1.3.6 Short-time supply interruption test in regenerative mode

This is a type test.

The aim of the short-time supply interruption test is described in 4.5.3.21. It shall be especially verified that, independent of the interruption time, neither the motor voltage nor the motor current shall exceed a specified value.

Acceptance criteria: No damage during the test, no current or voltage shall exceed the specified values.

## 5.2 Choppers for DC motors

### 5.2.1 Characteristics

#### 5.2.1.1 General

The supply system characteristics are defined in 4.2.7.

The characteristics of traction motors are dealt with in IEC 60349-1.

#### 5.2.1.2 Interface between motor and converter

It is necessary to state in a detailed specification agreed between the motor and converter manufacturers the interface between the motor and the converter including the following characteristics:

- the characteristic values of the converter output quantities (rated values, variations, etc.):
  - additional impedance (smoothing reactors);
  - rated current;
  - maximum current, considering the load profile;
  - peak current;
  - voltage;
  - frequency;
  - load profile;
- the characteristic values of the motor (rated values, variations, etc.):
  - rated power;
  - voltage or e.m.f. (various speeds for traction and braking);
  - current;
  - maximum ripple admissible considering the load profile;
  - type of DC motor (series, compound, etc.);
  - impedance or equivalent scheme as a function of frequency and current;
  - field characteristics;
  - voltage between motor terminals and earth.

## 5.2.2 Tests

### 5.2.2.1 General

No modification of the power circuit of the converter is allowed, but the test control method can be changed ensuring at least the same stress to the converter as in the intended application. A test bench control equipment can be used provided that the working of the converter is not altered.

Tests specified in this subclause are in addition to those specified in 4.5.

For these tests the smoothing reactor shall be considered as a part of the converter.

The tests given in Table 5 can be carried out in the workshop or in the vehicle.

**Table 5 – Additional tests for choppers for DC motors**

Nature of test	Location	Type test	Routine test	Subclause
Output voltage test	W.S./V	X		5.2.2.2
Maximum output voltage	W.S.	X		5.2.2.3
Minimum output voltage	W.S.	X		5.2.2.4
Light load test	W.S.		X	5.2.2.5
Load ripple current test	W.S./V	X		5.2.2.6
Load break test	W.S.	X <sup>a</sup>		5.2.2.7
Short-circuit test	W.S./V	X <sup>a</sup>		5.2.2.8
W.S.: The test shall be made in the workshop.				
W.S./V: The test can be made in the workshop or on the vehicle.				
<sup>a</sup> The execution of the test is subject to agreement between the manufacturer and the user.				

### 5.2.2.2 Output voltage test

This is a type test.

The voltage is measured directly at the terminals of the converter excluding smoothing reactor voltage drop.

Acceptance criteria: The test is declared successful when the output voltage remains within the specified limits under specified conditions.

### 5.2.2.3 Maximum output voltage

This is a type test.

For minimum input voltage and maximum output current the average output voltage of the converter shall meet the declared value under specific conditions (for example, frequency, minimum off-time, etc.).

Acceptance criteria: The output voltage shall be equal to, or higher than, the specified value.

### 5.2.2.4 Minimum output voltage

This is a type test.

For maximum input voltage and minimum output current, the average output voltage of the converter shall have a value equal to or lower than the minimum declared value under specified conditions (for example, frequency, minimum “on” time, etc. ).

Acceptance criteria: The output voltage shall be equal to, or lower than, the specified value.

#### **5.2.2.5 Light load test**

This is a routine test.

The aim of the light load test is described in 4.5.3.10. In addition, for a multiphase chopper each phase may be tested separately.

Acceptance criteria: See 4.5.3.10.

#### **5.2.2.6 Load ripple current test**

This is a type test.

For specified supply voltage, for specified load and at points of operation corresponding to the maximum ripple, the value of the DC component, the r.m.s. value of the ripple component and the peak-to-peak value of the ripple shall be measured.

The test shall be carried out with the specified smoothing reactor.

Acceptance criteria: The test is declared successful if the value of the ripple current is equal to, or less than, the value given in 5.2.1.2.

For multiphase choppers, this test can be replaced by calculation, if agreed between the manufacturer and the user.

#### **5.2.2.7 Load break test**

This is a type test. The execution of the test is subject to agreement between the manufacturer and the user.

This test is carried out to verify that the converter will not sustain any damage when the load is suddenly disconnected. The protection equipment shall be functioning.

This test shall be made with a voltage corresponding to the nominal line voltage.

When the current in the line filter inductor has reached its maximum value (condition corresponding to the maximum load current with maximum value of the conduction ratio), the load break will be performed by abruptly blocking the converter via its control equipment.

The input and the output voltage waveforms shall be recorded. If dangerous overvoltages are expected on certain components, these voltages shall also be recorded.

Acceptance criteria: The maximum value of the overvoltage shall be lower than, or equal to, the specified value.

#### **5.2.2.8 Short-circuit test**

This is a type test. The execution of the test is subject to agreement between the manufacturer and the user.

This test is carried out to verify the protection of the converter against over currents (for example, a flashover of the motor).

The test shall be made with:

- the highest rated line voltage;
- the equivalent input impedance;
- the maximum current;
- all necessary protective devices (components installed in the vehicle or having the same protective characteristics);
- a load simulating the DC motor including all effective smoothing resistance;
- a short-circuit device simulating the short-circuit path.

For example, if the converter is intended to withstand such a short circuit, a short-circuit device shall be connected in parallel with this load in accordance with Figure 2. For series motors, it is possible to have the connections shown in Figures 2a) and 2b). In the case of Figure 2a), the flashover only affects the armature winding, and therefore only the resistor of the simulated load in Figure 2c) shall be short-circuited. In the case of Figure 2b), the whole of the simulated load shall be short-circuited as shown in Figure 2d).

After the current in the simulated load has reached steady-state conditions, the short-circuit device shall be closed. The resulting fault current shall be detected and cleared by protective and fault-clearing equipment in the total time specified for that equipment to function.

Fuses, if any, shall not blow during this test unless otherwise specified.

This test shall be made once and the over current waveform shall be recorded.

Acceptance criteria: The test is declared successful if no component is damaged.

### **5.3 Multiphase converters for AC motors (inverters)**

#### **5.3.1 General**

Multiphase traction motors can be either rotating or linear motors. Converters for fixed-stator linear motors are excluded.

#### **5.3.2 Characteristics**

##### **5.3.2.1 General**

Characteristics of traction motors are dealt with in IEC 60349-2 and IEC 60349-4. The exchanges of information between the motor manufacturer, the converter manufacturer and the control manufacturer are specified in IEC 60349-2 and IEC 60349-4.

##### **5.3.2.2 Interfaces between motor and converter (inverter)**

The interface(s) between the motor and the converter shall be defined in a detailed specification, to be agreed between the motor and the converter manufacturers, and include the following:

- voltage or current harmonics which influence the performance of the motor (through additional power losses, torque ripple, etc.);
- electrical characteristics of the motor (its equivalent circuit, at the fundamental frequency and its inductance for the purpose of calculating  $di/dt$ , magnetizing current, harmonic currents, etc.);
- load profile;

- rated output power of inverter;
- range of fundamental frequency and modulation;
- output voltage of the inverter including repetitive peak voltage, voltage between inverter terminals and ground, rate of voltage rise;
- rated current;
- voltage between motor terminals and ground;
- behaviour of the motor including gears when there is a short circuit at the terminals of the motor.

These quantities shall be defined for each operating mode.

### **5.3.3 Tests**

#### **5.3.3.1 General**

No modification of the power circuit of the converter is allowed, but the test control method can be changed ensuring at least the same stress to the converter as in the intended application. A test bench control equipment can be used provided that the working of the converter is not altered.

Tests specified in this subclause are in addition to those specified in 4.5.

#### **5.3.3.2 Additional commutation test**

This is a type test.

This test is carried out to verify the commutation capability at minimum “on” time and minimum “off” time.

Generally, to simulate the worst-case condition, it is necessary to choose different input and output conditions for the “on” time and “off” time tests.

Acceptance criteria: The test is considered satisfactory if the measured values of operating parameters in all parts of the commutation circuit (power semiconductor, snubber, inductance, etc.) are in accordance with the specified values.

## **6 Indirect traction converters**

### **6.1 General**

This clause applies to indirect converters supplying DC or multiphase motors. An indirect traction converter is composed of an input section called a line converter and an output section called a motor converter (inverter).

### **6.2 Line converter**

#### **6.2.1 General**

A line converter is connected to the line or a line transformer or a generator and creates an intermediate link, mainly to supply a traction converter.

The intermediate link is a functional part of the line converter.

If an auxiliary converter is fed from the line converter, 7.2.2.2 is applicable to the auxiliary converter.

## **6.2.2 Characteristics**

### **6.2.2.1 Input characteristics**

The supply system characteristics are defined in 4.2.7.

In the case of a single-phase AC supply, the converter may be used to control the power factor and harmonic content on the AC side; the power factor and harmonic content shall be specified in the specification. The interface between transformer and converter shall be specified as given in 5.1.2.2, and the characteristics of the transformer, including its leakage inductance and mutual inductance, shall be specified according to IEC 60310.

### **6.2.2.2 Output characteristics**

Output quantities related to the kind of intermediate link shall be specified.

It is necessary to specify as additional quantities, the rated values, variation, maximum and minimum values and ripple factor corresponding to the kind of intermediate link.

The DC components of these values are the input values of the traction converter which is connected to the intermediate link.

An auxiliary converter may be fed from the output of the main line converter.

### **6.2.2.3 Short-circuit protection**

The user shall specify in the specification whether the converter is short-circuit-proof or not.

The behaviour of the converter in case of short circuit shall be described in the specification.

### **6.2.2.4 Choice of rated insulation voltage**

If an isolating transformer is provided, the output voltage level shall be considered as relevant for design and safety of the output side.

If an isolating transformer is not provided, the input voltage level shall be considered as relevant for design and insulation.

In accordance with IEC 61991 the manufacturer can select a lower voltage level (for instance the output level) considering the following points:

- the design and protection of the converter (crowbar circuit or other equipment);
- the insulating levels of the load;
- the safety rules.

This shall be agreed between the manufacturer and the user.

## **6.2.3 Tests**

### **6.2.3.1 General**

The line converter may be tested separately from the motor converter. Subclause 5.3.3.1 applies to 6.2.3.2.

### **6.2.3.2 Light load test**

This is a routine test.

For execution of the test and acceptance criteria, see 4.5.3.10.

If the line converter is tested independently from the converter system, the line converter may be fed either from the input or the output side.

If the line converter is fed from the output side, the line side may be simulated by a substitute load.

### **6.2.3.3 Temperature-rise test**

This is a type test.

For execution of the test and acceptance criteria, see 4.5.3.13.

If a common cooling system is provided, the temperature-rise test shall be carried out with the complete indirect converter.

If it is not possible to build up the whole indirect converter for this test, the cooling conditions for each part of the indirect converter shall be the same as in the application.

## **6.3 Motor converter**

### **6.3.1 Motor converter for DC motors (chopper or rectifier)**

Subclauses 5.1 and 5.2 apply to this subclause.

### **6.3.2 Motor converter for AC motors (inverter)**

Subclause 5.3 applies to this subclause.

## **7 Auxiliary converters**

### **7.1 General**

An auxiliary converter may be either a direct converter or an indirect converter, due to its input characteristics.

### **7.2 Characteristics**

#### **7.2.1 Auxiliary converter starting conditions**

Generally the auxiliary converter is the first to start, so it is necessary to specify the starting conditions.

The main types of starting mode are as follows.

- Direct starting with input voltage  
The energy used to start the converter is supplied by its input voltage.
- Starting by main vehicle battery  
The energy used to start the converter is supplied by the main vehicle battery.
- Starting by auxiliary battery  
The energy used to start the converter is supplied by an auxiliary battery specific to the converter.

The starting mode shall be agreed upon between the manufacturer and the user.

## 7.2.2 Input conditions and characteristics

### 7.2.2.1 Connection to the line

The converter is connected direct to the line supply or to an auxiliary winding of the main transformer; therefore, the characteristics of the input voltage are those which are defined in 4.2.7. The input characteristics are given in accordance with 4.3.4.4.1.

If the converter is not directly connected to the line, all power-supply characteristics shall be specified.

### 7.2.2.2 Connection to the traction converter

The auxiliary converter is connected to an intermediate link or to the main input filter. All input characteristics (steady-state and transient conditions) shall be specified.

### 7.2.2.3 Connection to a bus bar supplied by another auxiliary converter or by a battery

The input characteristics (steady-state and transient conditions) shall be specified (see 4.3.4.4.1).

## 7.2.3 Output characteristics

### 7.2.3.1 General

An auxiliary converter can have one output or multiple outputs.

### 7.2.3.2 List of output characteristics

An auxiliary converter can supply several output voltages which have different forms.

For each output at least the following characteristics shall be specified:

- DC output:
  - maximum continuous power (at specified voltage);
  - voltage and tolerance;
  - in case of battery charging: charging characteristics (e.g. charging current limitation, boost voltage, temperature compensation coefficient of charging voltage);
  - DC current and voltage ripple in rated conditions;
  - admissible overload;
  - maximum instantaneous peak current;
- AC output:
  - maximum continuous power (apparent power and fundamental power factor or active power);
  - fundamental voltage and static tolerance;
  - frequency and static tolerance;
  - total harmonic distortion ratio of voltage in specified conditions;
  - admissible overload;
  - maximum instantaneous peak current;
  - common mode voltage;
  - in case there is no output sine wave filter:

- a) voltage harmonic spectrum and total r.m.s. value in specified conditions;
- b) maximum peak voltage;
- c) maximum rate of rise of instantaneous voltage;
- possibility of asymmetrical load and loading of a star-point or neutral connection.

#### 7.2.3.3 Output power

An auxiliary converter is designed for a maximum continuous output power and/or for a load profile. In addition to the maximum continuous power the auxiliary converter may have an overload capability. This overload is defined by a maximum current delivered during a specified time.

The power ratings of an auxiliary converter shall comply with the following characteristics:

- maximum continuous output power (rated power) or load profile;
- long time overload;
- short time overload.

The user should provide a compilation of all the loads and their duty to the manufacturer of the auxiliary power converter to enable its proper sizing. The load starting sequences and failure management strategies shall be developed such as to minimize the power requirements.

The user should provide the following information for winter and summer, normal and long time overload conditions:

- converter external ambient (or cooling medium) temperature histogram;
- load type (compressor motor, fan, non-linear load, etc.), voltage, 1 or 3 phase;
- locked rotor load (kVA, power factor);
- steady-state load (kVA, power factor);
- duty (short term, long term);
- starting sequence.

#### 7.2.3.4 Voltage and frequency control

The AC output voltage of the converter can be of two types:

- fixed frequency;
- variable frequency: in this case additional control characteristics shall be specified such as:
  - range of variation of frequency;
  - whether the frequency varies continuously or by steps;
  - relation between voltage and frequency;
  - ramping time.

### 7.3 Short-circuit protection

The user shall specify in the specification whether the converter is short-circuitproof or not.

The behaviour of the converter in case of short circuit shall be described in the specification.

### 7.4 Choice of rated insulation voltage

If an isolating transformer is provided, the output voltage level shall be considered relevant for design and safety of the output side.

If an isolating transformer is not provided, the input voltage level shall be considered relevant for design and safety.

In accordance with IEC 61991, the manufacturer can select a lower voltage level (for instance the output level) considering the following points:

- the design and protection of the converter (crowbar circuit or other equipment);
- the insulating levels of the load;
- the safety rules.

This shall be agreed between the manufacturer and the user.

## 7.5 Tests

### 7.5.1 General

In addition to the tests listed in Table 3, the following tests shall be carried out.

All these additional tests given in Table 6 shall be carried out with a series production control unit.

**Table 6 – Additional tests for auxiliary converters**

Nature of test	Location	Type test	Routine test	Subclause
Output characteristics test	W.S.	X		7.5.2
Starting and restarting test	W.S	X		7.5.3
Short-circuit test	W.S <sup>a</sup>	X		7.5.4
Voltage and frequency ranges verification	W.S.	X		7.5.5
Overload capability test	W.S	X		7.5.6
Temperature rise test	W.S.	X		7.5.7
Load break test	W.S	X		7.5.8
W.S.: The test shall be made in the workshop.				
<sup>a</sup> If the converter is short-circuitproof, this test shall be carried out. This test shall demonstrate that the behaviour of the converter conforms with the values specified in 7.2.				

### 7.5.2 Output characteristics test

This is a type test.

This test is carried out to verify that the following electrical characteristics (where applicable) are in accordance with agreed test conditions:

- DC output:
  - voltage and tolerance;
  - in case of battery charging: charging characteristics (e.g. charging current limitation, boost voltage, temperature compensation coefficient of charging voltage);
  - DC current and voltage ripple;
  - current and voltage limitation (if any);
- AC output:
  - fundamental voltage and static tolerance;

- frequency and static tolerance;
- total harmonic distortion ratio of voltage in specified load conditions;
- common mode voltage;
- in case there is no output sine filter:
  - a) voltage harmonic spectrum and total r.m.s. value in specified conditions;
  - b) maximum peak voltage;
  - c) maximum rate of rise of instantaneous voltage.

Unless otherwise agreed, this test shall be carried out:

- at minimum, rated and maximum input voltages;
- at minimum, rated and overload power;
- with and without the specified asymmetrical load and/or loading of a star-point or neutral connection.

The load can be a substitute load. However the fulfilment of the requirements over the entire operating range with specified loads should be demonstrated by calculations.

Acceptance criteria: This test is declared successful if the measured values are in accordance with those specified.

### **7.5.3 Starting and restarting test**

This is a type test.

This test is carried out to verify the characteristics described in 7.2.1.

This test shall be performed for minimum and maximum specified input characteristics.

Acceptance criteria: The converter starts successfully and the measured values are as specified.

### **7.5.4 Short-circuit test**

This is a type test.

A short circuit test shall be carried out for all short-circuit protected outputs.

Acceptance criteria: No damage to any component in the converter occurs during the test.

### **7.5.5 Voltage and frequency ranges verification**

This is a type test.

The combinations of input and output values to be tested shall be such that correct functioning over the whole range of operation is verified with a minimum of tests.

Acceptance criteria: When the output load(s) and the input voltage are at their limiting values, the output voltage(s), the fundamental frequency and the switching frequency shall remain within the specified range (7.2.3.4).

### **7.5.6 Overload capability test**

This is a type test.

This test shall be carried out to verify the overload capability as defined in 7.2.3.3.

Acceptance criteria: The test is successful if the converter supplies the overload for the specified time without sustaining any damage and without exceeding any critical temperature (see 4.5.3.13 as well as 7.2.3.3).

### 7.5.7 Temperature rise test

This is a type test.

This test shall be carried out at rated output conditions according to 7.2.3.3.

The manufacturer and the user shall agree, before the test, on a list of measuring points (for example, inside cubicle, main heat sink, etc.) whose temperature is to be measured.

In the case of cooling by natural air convection or by supported convection due to the movement of the vehicle, the test shall be carried out with the specified cooling conditions.

In the case of very high power converters whose duty cycle may not be reproduced in the workshop, the appropriate values of temperature determined by calculation may be checked by reduced load tests or by sub circuit (part of converter) tests under controlled conditions.

Acceptance criteria: The methods of performing this test and the requirements for acceptance shall be stated in the test specification.

### 7.5.8 Load break test

This is a type test.

This test is carried out to verify that the converter does not sustain any damage when the load is suddenly disconnected.

A contactor is connected in series with the load. After the current in the load has reached steady-state condition, the contactor switches off the current. The resulting voltage variation shall be recorded.

Acceptance criteria: The test is declared successful if the voltage variation is in accordance with the specified values and no damage occurs to any component in the converter during the test.

In the case of multiple outputs, this test should be repeated for each output, and it is necessary to verify if the other output characteristics are in accordance with the specified values.

## 8 Semiconductor drive units (SDU)

### 8.1 Equivalent expressions

The following expressions are intended to be equivalent:

"Base"	equivalent to	"Gate"
"Source" and "Emitter"	equivalent to	"Cathode"
"Drain" and "Collector"	equivalent to	"Anode"
"Gate Drive Unit (GDU)"	equivalent to	"SDU"

## 8.2 Printed circuit board assemblies

All printed circuit boards of the SDU are covered by IEC 60571, except for components responsible for isolation, which are covered by this standard.

## 8.3 Function of the SDU

The SDU transforms the switching commands which are created by the control electronics into gate current and gate-to-cathode voltage, which are suitable to drive the semiconductor connected to it.

Switching commands are transmitted e.g. electrically, magnetically or optically. Semiconductors may be controlled by current (for example, thyristors, bipolar transistors, gate-turn-off thyristors,) or by voltage (for example, field effect transistors, insulated gate bipolar transistors, MOS-controlled thyristors).

## 8.4 Particular requirements for the SDU

**8.4.1** The SDU shall be able to force the semiconductor to switch the peak controllable on state current, of the application, without damage.

**8.4.2** The manufacturer shall describe the behaviour of the SDU if the gate of the semiconductor is short-circuited to the cathode or is open-circuited.

**8.4.3** The converter and the SDU shall not be damaged in the case of interruption of the SDU power supply. The manufacturer shall ensure that sufficient energy is available in the SDU to generate the necessary pulses to put the converter in a safe state.

## 8.5 Service conditions

The service conditions given in 4.2 shall be assumed.

## 8.6 Insulation requirements for the SDU

Special attention shall be paid to the fact that the SDU frequently has parts at ground, electronic and power potentials and has an isolating function. In applying the values given in 4.4.1, this fact shall be taken into account.

## 8.7 Electromagnetic compatibility requirements

Special attention shall be paid to the electromagnetic compatibility of the SDU. The responsibility for assessment of the electromagnetic compatibility between the SDU and other parts of the converter rests with the manufacturer of the converter. For ports between the SDU and components in the environment of the converter, the relevant EMC requirements are specified in IEC 62236-3-2.

## 8.8 Tests of the SDU

Before mounting the SDU into the converter, the SDU shall be tested in accordance with IEC 60571 (see 4.5.2.2).

The features of the SDU (which are not yet covered in IEC 60571) shall be proven by a type test according to the test specification.

After mounting into the converter the SDU shall perform at its interfaces (power supply, control electronics, and semiconductor) as specified under all service conditions.

The SDU shall successfully complete all type and routine tests of the converter according to 4.5.

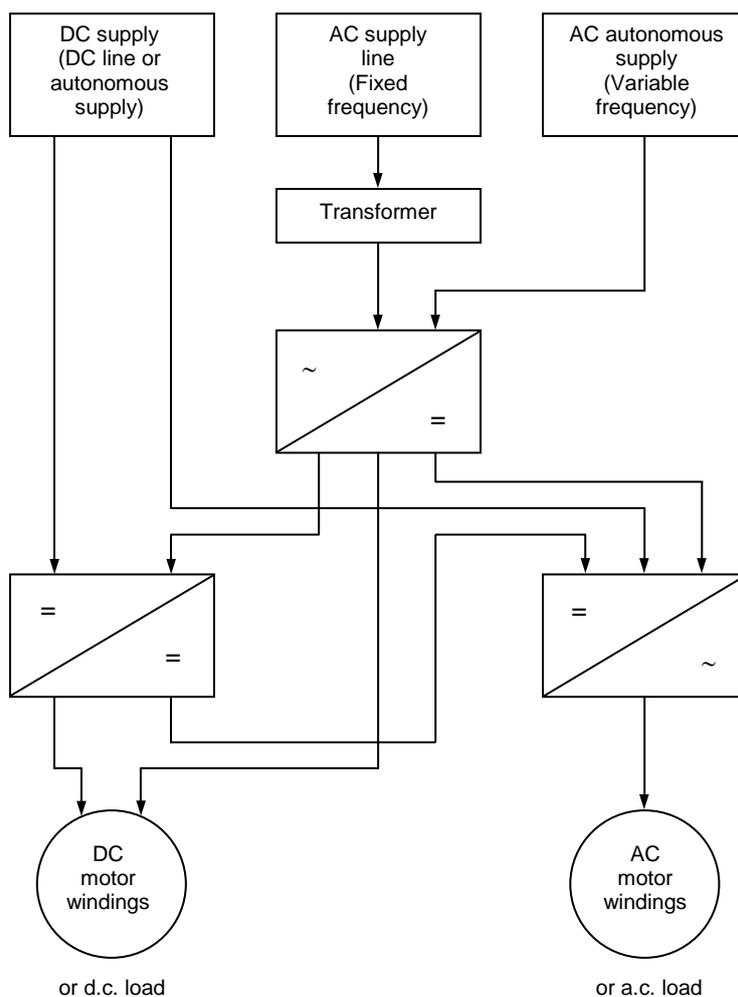
Special attention should be given if the SDU is part of the protection system.

## Annex A (normative)

### Arrangement of basic circuit diagrams

Different combinations of the basic circuits are possible.

The diagram in Figure A.1 gives the most usual combinations of circuit diagrams between the power supply and the traction motor or other loads.



IEC 1885/14

NOTE Passive devices, such as filters and energy storage, are not shown.

**Figure A.1 – Examples of combinations**

## Annex B (informative)

### Recapitulation of agreements between the manufacturer and the user

**Table B.1 – Recapitulation of agreements  
between the manufacturer and the user (1 of 3)**

Subclause	Title	Comment
4.1.1	Design	Design process
4.1.3.1	Documentation supplied by the manufacturer	
4.1.3.2	Documentation to be supplied by the user	
4.1.4.1	Reliability	Reliability target
4.1.4.2	Availability	Availability target
4.1.4.3	Maintainability	Maintenance requirements
4.1.4.4	Safety	Safety requirements
4.1.5	Useful lifetime	
4.2.1	General	Particular service conditions class
4.2.3.1	Ambient temperature	
4.2.3.2	Start-up temperatures	
4.2.5.2	Other accelerations	
4.2.6	Load profile	
4.2.7.1	General	
4.2.7.2.2	Step change of line voltage	
4.2.7.2.3	Distortion of AC line voltage	
4.2.7.2.4	Overvoltage in AC systems	IEC 60850
4.2.7.2.5	AC system impedance	
4.2.7.3.1	Main characteristics of the DC line voltage	
4.2.7.3.2	Step change of line voltage	
4.2.7.3.3	Overvoltage in DC systems	IEC 60850
4.2.7.3.4	DC system inductance and resistance	
4.2.7.3.5	Distortion of DC line voltage	
4.2.7.4	Other supply systems	
4.2.8.2	Interference with the supply system (emission)	
4.2.8.4	Interference with signalling systems	
4.2.9	Input current limitations	
4.2.10.1	Acoustic noise	Lower values Choice of class
4.3.4.1	Geometrical characteristics – conformity to drawings	Contractual mass and corresponding test (4.5.3.2, 4.5.3.3)
4.3.4.2	Characteristics of cooling systems	
4.3.4.4.1	Input quantities	Input quantities according to 4.2.7 and 4.2.8 Supply characteristics Harmonic limit values and input impedance Resettable protective devices
4.3.4.4.2.2	Rated values	

**Table B.1 (2 of 3)**

Subclause	Title	Comment
4.3.4.4.2.3	Operating point values	
4.3.4.4.2.4	Special values	Short-circuit and open-circuit characteristics Particular requirements
4.3.4.4.3	Power efficiency	
4.3.4.4.4	Electrical isolation	
4.3.4.4.5	Interfaces between converter and control unit	
4.4.1	Insulation co-ordination	Rated impulse voltage Rated insulation voltage
4.4.2.1	General	High disturbances, low susceptibility devices
4.4.2.2.2	Effects on human beings	
4.4.3	Fault effects	
4.5.1.1	Overview	Test specification
4.5.1.2.2	Type tests	
4.5.1.2.3	Routine tests	
4.5.1.2.4	Investigation tests	
4.5.2.3	List of converter tests	
4.5.3.1	Visual inspection	
4.5.3.5.4	Leakage test	
4.5.3.6	Test of the degree of protection	
4.5.3.8	Insulation resistance test	
4.5.3.9	Tests of mechanical and electrical protection and measuring equipment	
4.5.3.10	Light load test	Output current
4.5.3.12.3	Operating conditions	
4.5.3.12.4	Particular conditions	
4.5.3.13	Temperature-rise test	
4.5.3.14	Power loss determination	
4.5.3.15	Supply overvoltage and transient energy test	
4.5.3.16	Sudden variations of load	
4.5.3.17	Safety requirements inspection	
4.5.3.18	Tests for withstanding vibration and shock	
4.5.3.20	Step change of line voltage test	
4.5.3.21	Short-time supply interruption test	
4.5.3.22	Current sharing	
5.1.2.1	Interface between motor and converter	
5.1.2.2	Interface between main transformer and converter	
5.1.3.1	General	
5.1.3.4	Short-circuit test	
5.1.3.5	Load break test	
5.2.1	Characteristics	Interface between motor and converter
5.2.2.1	General	
5.2.2.6	Load ripple current test	

**Table B.1** (3 of 3)

<b>Subclause</b>	<b>Title</b>	<b>Comment</b>
5.2.2.7	Load break test	
5.2.2.8	Short-circuit test	
5.3.2	Characteristics	Interface between motor and inverter
6.2.2.1	Input characteristics	Power factor and harmonic content
6.2.2.3	Short-circuit protection	Short-circuit-proof Short-circuit behaviour
6.2.2.4	Choice of rated insulation voltage	Lower voltage level
7.2.1	Auxiliary converter starting conditions	Starting mode
7.2.2	Input conditions and characteristics	
7.2.3.2	List of output characteristics	
7.2.3.3	Output power	
7.3	Short-circuit protection	
7.4	Choice of rated insulation voltage	
7.5.2	Output characteristics test	
7.5.7	Temperature rise test	

## **Annex C** (informative)

### **Guidelines for magnetic field and induced voltage requirements**

There are no IEC standards on this subject, but some national and other guidelines exist and, for example, one may consult the following documents.

- DIN VDE 0848-3-1, *Sicherheit in elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Feldern.*
- International commission on non-ionizing radiation protection (ICNIRP), *Guidelines for limiting exposure to time varying electric, magnetic and electromagnetic fields up to 300 GHz.*
- IEC/TS 62597, *Measurement procedures of magnetic field levels generated by electronic and electrical apparatus in the railway environment with respect to human exposure.*

## Bibliography

NOTE The following documents serve as guidance or are connected to this International Standard.

IEC 60050-151:2001, *International Electrotechnical Vocabulary – Part 151: Electrical and magnetic devices*

IEC 60050-702:1992, *International Electrotechnical Vocabulary – Chapter 702: Oscillations, signals and related devices*

IEC 60112, *Method for the determination of the proof and the comparative tracking indices of solid insulating materials*

IEC 60146-1-1, *Semiconductor converters – General requirements and line commutated converters – Part 1-1: Specifications of basic requirements*

IEC 60216 (all parts), *Electrical insulating materials – Properties of thermal endurance*

IEC 60384-1, *Fixed capacitors for use in electronic equipment – Part 1: Generic specification*

IEC 60587, *Electrical insulating materials used under severe ambient conditions – Test methods for evaluating resistance to tracking and erosion*

IEC 60664-1:2007, *Insulation coordination for equipment within low-voltage systems – Part 1: Principles, requirements and tests*

IEC 60747-15, *Semiconductor devices – Discrete devices – Part 15: Isolated power semiconductor devices*

IEC 61377-1, *Railway applications – Rolling stock – Part 1: Combined testing of inverter-fed alternating current motors and their control system*

IEC 61377-2, *Railway applications – Rolling stock – Combined testing – Part 2: Chopper-fed direct current traction motors and their control*

IEC 61377-3, *Railway applications – Rolling stock – Part 3: Combined testing of alternating current motors, fed by an indirect convertor, and their control system*

IEC 62520, *Railway applications – Electric traction – Short-primary type linear induction motors (LIM) fed by power converters*

IEEE Std 1476, *IEEE Standard for Passenger Train Auxiliary Power Systems Interfaces*

CLC/TS 50535, *Railway applications – Onboard auxiliary power converter systems*

---

## SOMMAIRE

AVANT-PROPOS .....	63
1 Domaine d'application .....	65
2 Références normatives .....	65
3 Termes et définitions .....	67
3.1 Généralités .....	67
3.2 Termes et définitions relatifs aux équipements .....	68
3.3 Termes et éfinitions relatifs aux paramètres électriques.....	69
4 Articles communs .....	70
4.1 Généralités .....	70
4.1.1 Conception .....	70
4.1.2 Marquage .....	70
4.1.3 Documentation technique.....	71
4.1.4 Fiabilité, disponibilité, maintenabilité et sécurité .....	71
4.1.5 Durée de vie utile.....	72
4.2 Conditions de service.....	72
4.2.1 Généralités .....	72
4.2.2 Altitude .....	72
4.2.3 Température .....	73
4.2.4 Autres conditions environnementales .....	74
4.2.5 Contrainte mécanique .....	74
4.2.6 Profil de charge .....	74
4.2.7 Caractéristiques de réseau d'alimentation .....	74
4.2.8 Interférences .....	76
4.2.9 Limitations du courant d'entrée .....	77
4.2.10 Influence sur l'environnement.....	77
4.3 Caractéristiques .....	78
4.3.1 Caractéristiques des composants.....	78
4.3.2 Caractéristiques des dispositifs à semiconducteurs .....	78
4.3.3 Caractéristiques des transformateurs, des inductances et des condensateurs .....	78
4.3.4 Caractéristiques des convertisseurs .....	78
4.4 Exigences techniques.....	81
4.4.1 Coordination de l'isolement .....	81
4.4.2 Exigences de CEM pour les convertisseurs .....	81
4.4.3 Effets des défauts .....	82
4.5 Essais.....	82
4.5.1 Généralités .....	82
4.5.2 Essais du convertisseur .....	83
4.5.3 Description des essais .....	86
4.5.4 Défaillances de composants pendant les essais de type .....	95
5 Convertisseurs de traction direct .....	95
5.1 Convertisseurs à commutation de ligne pour moteurs à courant continu.....	95
5.1.1 Généralités .....	95
5.1.2 Caractéristiques.....	96
5.1.3 Essais .....	97
5.2 Hacheurs pour moteurs à courant continu.....	100

5.2.1	Caractéristiques.....	100
5.2.2	Essais .....	100
5.3	Convertisseurs polyphasés pour moteurs à courant alternatif (onduleurs) .....	103
5.3.1	Généralités .....	103
5.3.2	Caractéristiques.....	103
5.3.3	Essais .....	104
6	Convertisseurs de traction indirects.....	104
6.1	Généralités .....	104
6.2	Convertisseur de ligne.....	104
6.2.1	Généralités .....	104
6.2.2	Caractéristiques.....	104
6.2.3	Essais .....	105
6.3	Convertisseur de moteur .....	106
6.3.1	Convertisseur en cascade pour moteurs à courant continu (hacheur ou redresseur).....	106
6.3.2	Convertisseur en cascade pour moteurs à courant alternatif (onduleur) .....	106
7	Convertisseurs auxiliaires .....	106
7.1	Généralités .....	106
7.2	Caractéristiques.....	106
7.2.1	Conditions de démarrage des convertisseurs auxiliaires .....	106
7.2.2	Conditions et caractéristiques d'entrée .....	107
7.2.3	Caractéristiques de sortie .....	107
7.3	Protection contre les courts-circuits.....	108
7.4	Choix de la tension d'isolement assignée.....	109
7.5	Essais.....	109
7.5.1	Généralités .....	109
7.5.2	Essais des caractéristiques de sortie .....	109
7.5.3	Essai de démarrage et de redémarrage.....	110
7.5.4	Essai de court-circuit .....	110
7.5.5	Vérification des plages de tensions et de fréquences.....	110
7.5.6	Essai de capacité de surcharge.....	111
7.5.7	Essai d'échauffement.....	111
7.5.8	Essai de coupure de charge.....	111
8	Unités de commande des semiconducteurs (SDU) .....	112
8.1	Expressions équivalentes .....	112
8.2	Cartes à circuit imprimé équipées.....	112
8.3	Fonction de la SDU .....	112
8.4	Exigences particulières pour la SDU.....	112
8.5	Conditions de service .....	112
8.6	Exigences d'isolation pour la SDU .....	112
8.7	Exigences de compatibilité électromagnétique.....	112
8.8	Essais de la SDU .....	113
Annexe A (normative)	Disposition des schémas de circuits de base.....	114
Annexe B (informative)	Liste récapitulative des accords entre le fabricant et l'exploitant.....	115
Annexe C (informative)	Lignes directrices pour les exigences de champ magnétique et les tensions induites.....	118
Bibliographie	.....	119
Figure 1	– Essai de décharges partielles – Tension en fonction du temps .....	85

Figure 2 – Configuration des moteurs série ..... 99

Figure A.1 – Exemples de combinaisons ..... 114

Tableau 1 – Classes générales des caractéristiques de charge de démarrage ..... 73

Tableau 2 – Classes de bruit acoustique ..... 77

Tableau 3 – Liste des essais ..... 85

Tableau 4 – Essais complémentaires pour des convertisseurs de traction directs ..... 97

Tableau 5 – Essais supplémentaires pour les hacheurs pour les moteurs à courant continu ..... 101

Tableau 6 – Essais supplémentaires pour les convertisseurs auxiliaires ..... 109

Tableau B.1 – Liste récapitulative des accords entre le fabricant et l'exploitant (1 de 3) ..... 115

## COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**APPLICATIONS FERROVIAIRES –  
CONVERTISSEURS DE PUISSANCE EMBARQUÉS  
SUR LE MATÉRIEL ROULANT –****Partie 1: Caractéristiques et méthodes d'essais**

## 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 61287-1 a été établie par le comité d'études 9 de l'IEC: Matériels et systèmes électriques ferroviaires.

Cette troisième édition annule et remplace la deuxième édition parue en 2005, dont elle constitue une révision technique.

Cette édition inclut les modifications techniques majeures suivantes par rapport à l'édition précédente: elle inclut des mises à jour nécessaires par rapport à l'état actuel de la technique et qui améliorent la clarté. Elle prend aussi en compte des normes génériques sur le matériel ferroviaire comme les parties concernées des séries IEC 62497 et IEC 62498. En particulier, les articles qui traitent des essais d'échauffement et des caractéristiques des convertisseurs auxiliaires ont été révisés.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
9/1918/FDIS	9/1946/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 61287, publiées sous le titre général *Applications ferroviaires – Convertisseurs de puissance embarqués sur le matériel roulant*, 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. A cette date, la publication sera

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

# APPLICATIONS FERROVIAIRES – CONVERTISSEURS DE PUISSANCE EMBARQUÉS SUR LE MATÉRIEL ROULANT –

## Partie 1: Caractéristiques et méthodes d'essais

### 1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 61287 définit la terminologie, les conditions de service, les caractéristiques générales et les méthodes d'essai des convertisseurs électroniques de puissance embarqués sur le matériel roulant.

La présente norme internationale est applicable aux convertisseurs électroniques de puissance, embarqués sur le matériel roulant ferroviaire et destinés à alimenter

- les circuits de traction;
- les circuits auxiliaires des matériels moteurs, des véhicules et des remorques.

L'application de la présente norme s'étend dans la mesure du possible à tous les autres véhicules de traction, y compris les trolleybus par exemple.

La présente norme couvre l'ensemble de convertisseur complet et ses dispositions de montage contenant

- les ensembles d'appareils à semiconducteurs;
- les systèmes de refroidissement intégrés;
- les composants intégrés comme les inducteurs, les condensateurs, les transformateurs, les résistances, les contacteurs, les commutateurs;
- les unités de commande des semiconducteurs (SDU) et les capteurs correspondants;
- les circuits de protection incorporés.

Les sources d'énergie suivantes sont prises en considération:

- les lignes de contact à courant alternatif,
- les lignes de contact à courant continu,
- les alimentations embarquées telles que les générateurs, les batteries et les autres sources d'énergie électrique.

La présente norme exclut les convertisseurs qui fournissent l'alimentation de contrôle électronique pour les unités de commande des semiconducteurs (SDU) et les autres alimentations nécessaires au fonctionnement des convertisseurs, telles que les capteurs.

NOTE 1 L'équipement de commande électronique des convertisseurs et les capteurs non relatifs aux unités de commande des semiconducteurs et les cartes à circuit imprimé équipées des unités de commande des semiconducteurs de puissance (SDU) sont couverts par l'IEC 60571.

NOTE 2 Les essais combinés avec tout le système de traction ou le système d'alimentation auxiliaire ne figurent pas dans le domaine d'application de la présente norme. Ainsi, les règles pour les essais combinés d'un moteur alimenté par un convertisseur sont fournies dans la série IEC 61377.

### 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 60050-551:1998, *Vocabulaire Electrotechnique International – Partie 551: Electronique de puissance*

IEC 60050-811:1991, *Vocabulaire Electrotechnique International – Chapitre 811: Traction électrique*

IEC 60076-10:2001, *Transformateurs de puissance – Partie 10: Détermination des niveaux de bruit*

IEC 60077-1:1999, *Applications ferroviaires – Equipements électriques du matériel roulant – Partie 1: Conditions générales de service et règles générales*

IEC 60270, *Techniques des essais à haute tension – Mesures des décharges partielles*

IEC 60310, *Applications ferroviaires – Transformateurs de traction et bobines d'inductance à bord du matériel roulant*

IEC 60322, *Applications ferroviaires – Equipements électriques du matériel roulant – Règles relatives aux résistances de puissance de construction ouverte*

IEC 60349-1, *Traction électrique – Machines électriques tournantes des véhicules ferroviaires et routiers – Partie 1: Machines autres que les moteurs à courant alternatif alimentés par convertisseur électronique*

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 60384-4, *Condensateurs fixes utilisés dans les équipements électroniques – Partie 4: Spécification intermédiaire – Condensateurs électrolytiques à l'aluminium, à électrolyte solide ( $MnO_2$ ) et non solide*

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

IEC 60571, *Applications ferroviaires – Equipements électroniques utilisés sur le matériel roulant*

IEC 60721-3-5, *Classification des conditions d'environnement – Partie 3: Classification des groupements des agents d'environnement et de leurs sévérités – Section 5: Installations des véhicules terrestres*

IEC 60747 (toutes les parties), *Dispositifs à semiconducteurs*

IEC 60850, *Applications ferroviaires – Tensions d'alimentation des réseaux de traction*

IEC 61148, *Marquage des bornes de blocs et d'ensembles d'éléments de valve et d'équipement de conversion de puissance*

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

IEC 61881 (toutes les parties), *Applications ferroviaires – Matériel roulant – Condensateurs pour électronique de puissance*

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

IEC 62236-3-1, *Applications ferroviaires – Compatibilité électromagnétique – Partie 3-1: Matériel roulant – Trains et véhicules complets*

IEC 62236-3-2, *Applications ferroviaires – Compatibilité électromagnétique – Partie 3-2: Matériel roulant – Appareils*

IEC 62278, *Applications ferroviaires – Spécification et démonstration de la fiabilité, de la disponibilité, de la maintenabilité et de la sécurité (FDMS)*

IEC 62497-1:2010, *Applications ferroviaires – Coordination de l'isolement – Partie 1: Exigences fondamentales – Distances d'isolement dans l'air et lignes de fuite pour tout matériel électrique et électronique*

IEC 62497-1:2010/AMD1:2013

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

### 3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions donnés dans l'IEC 60050-551:1998 et l'IEC 60050-811:1991, ainsi que les suivants, s'appliquent.

#### 3.1 Généralités

##### 3.1.1

##### **exploitant**

partie qui est responsable de la spécification et de l'intégration du convertisseur d'énergie dans le véhicule ferroviaire

##### 3.1.2

##### **fabricant**

partie qui conçoit et fabrique le convertisseur d'énergie

##### 3.1.3

##### **autorité ferroviaire**

organisation qui autorise les opérateurs de véhicules à faire rouler les véhicules ferroviaires et qui définit les règles de sécurité

##### 3.1.4

##### **spécification d'essai**

document qui spécifie les exigences pour un ou plusieurs essais

Note 1 à l'article: Par exemple les critères d'acceptation des essais, les conditions d'essai, les méthodes d'essai.

Note 2 à l'article: En fonction des terminologies spécifiques utilisées dans les systèmes de gestion de la qualité des différentes organisations qui réalisent des essais sur les convertisseurs de puissance pour le matériel roulant, ce document peut porter un autre nom, par exemple plan d'essai.

## 3.2 Termes et définitions relatifs aux équipements

### 3.2.1

#### **convertisseur (électronique) (de puissance)**

ensemble fonctionnel assurant la conversion électronique de puissance, constitué d'une ou de plusieurs valves électroniques, de transformateurs et de filtres si nécessaire et éventuellement d'accessoires

Note 1 à l'article: Un convertisseur est défini par les caractéristiques électriques d'entrée et de sortie. Le convertisseur peut être constitué d'un hacheur, d'un onduleur, etc. ou d'une combinaison de ceux-ci; il n'est pas nécessairement contenu dans une enceinte unique.

Note 2 à l'article: Le convertisseur fait partie de l'équipement de propulsion (ou auxiliaire). Le convertisseur peut comprendre, par exemple, un disjoncteur de ligne, un filtre, un transformateur, un système de refroidissement, etc.

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-12-01]

### 3.2.2

#### **convertisseur de traction**

convertisseur fournissant de la puissance aux moteurs de traction

### 3.2.3

#### **convertisseur auxiliaire**

convertisseur fournissant la puissance aux services auxiliaires

Note 1 à l'article: Par exemple, éclairage, charge de batterie, climatisation, (circuit principal de) refroidissement, circuits de commande, etc.

### 3.2.4

#### **convertisseur direct**

convertisseur électronique sans liaison intermédiaire

### 3.2.5

#### **convertisseur indirect**

convertisseur électronique avec liaison intermédiaire

### 3.2.6

#### **système de convertisseurs**

système de convertisseurs constitué de plusieurs convertisseurs qui exigent, pour fonctionner, d'être connectés entre eux, en ayant chacun des caractéristiques différentes d'entrée et/ou de sortie et qui ont également des connexions fonctionnelles différentes

Note 1 à l'article: Un système de convertisseurs est défini par une spécification de système en plus de la spécification individuelle de chacun des convertisseurs composant le système.

### 3.2.7

#### **enroulements de convertisseur**

enroulements d'un transformateur connecté aux bornes du convertisseur

### 3.2.8

#### **enroulement auxiliaire**

enroulement ou partie d'enroulement d'un transformateur qui alimente le circuit des auxiliaires

[SOURCE: IEC 60050-811:1991, 811-26-12]

### 3.2.9

#### **dispositif à semiconducteurs**

appareil dont les caractéristiques essentielles sont dues au flux de porteurs de charges à l'intérieur d'un semiconducteur

Note 1 à l'article: Cette définition comprend les dispositifs dont les caractéristiques essentielles sont dues en partie seulement au flux de porteurs de charges dans un semiconducteur mais qui sont considérés comme des dispositifs à semiconducteurs pour la spécification.

[SOURCE: IEC 60050-521:2002, 521-04-01]

### 3.2.10

#### **entrée et sortie**

le côté entrée d'un convertisseur est le côté qui absorbe la puissance active dans le fonctionnement en traction, le côté sortie étant le côté qui fournit de la puissance active dans le fonctionnement en traction

Note 1 à l'article: Isolation électrique. Si des circuits électriques individuels (par exemple circuit d'entrée, de sortie, de commande) sont spécifiés comme étant isolés, alors les circuits sont galvaniquement séparés.

## 3.3 Termes et définitions relatifs aux paramètres électriques

### 3.3.1

#### **profil de charge**

courbe permettant d'illustrer la variance du courant/de la puissance en fonction du temps dans des conditions spécifiées telles que

- pour un convertisseur de traction: le démarrage et le freinage du véhicule;
- pour un convertisseur auxiliaire: les périodes de démarrage et de fonctionnement constant des charges auxiliaires;

la tension de ligne est également prise en considération

### 3.3.2

#### **courant instantané maximal**

courant spécifié maximal que le convertisseur peut commuter pour une tension spécifiée

### 3.3.3

#### **transitoire**

se dit d'un phénomène ou d'une grandeur qui varie entre deux régimes établis consécutifs dans un intervalle de temps relativement court à l'échelle des temps considérée

[SOURCE: IEC 60050-702:1992, 702-07-78]

### 3.3.4

#### **composante harmonique**

composante sinusoïdale d'une grandeur périodique dont la fréquence est une fréquence harmonique

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-20-07]

### 3.3.5

#### **taux d'ondulation d'un courant continu**

rapport de la demi-différence entre les valeurs maximale et minimale d'un courant continu pulsatoire à la valeur moyenne de ce courant

Note 1 à l'article: Pour les faibles valeurs du taux d'ondulation, cette grandeur est approximativement égale au rapport de la différence des valeurs maximale et minimale à leur somme.

Note 2 à l'article:  $\text{taux d'ondulation d'un courant continu} = (I_{\max} - I_{\min}) / 2 \times I_{\text{mean}}$

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-17-29]

### 3.3.6

#### **valeur nominale**

#### **valeur de dénomination**

valeur d'une grandeur, utilisée pour dénommer et identifier un composant, un dispositif, un matériel ou un système

Note 1 à l'article: La valeur nominale est généralement une valeur arrondie.

[SOURCE: IEC 60050-151:2001, 151-16-09]

### 3.3.7

#### **valeur assignée**

valeur d'une grandeur, utilisée à des fins de spécification, correspondant à un ensemble spécifié de conditions de fonctionnement d'un composant, dispositif, matériel ou système

Note 1 à l'article: Généralement définie par le fabricant.

[SOURCE: IEC 60050-151:2001, 151-16-08]

### 3.3.8

#### **valeur du point de fonctionnement**

valeur assignée d'une quantité, généralement définie par l'exploitant, qui correspond à une condition d'exploitation spécifiée d'un composant, appareil ou équipement

### 3.3.9

#### **valeur spéciale**

valeur quantitative affectée, généralement par l'exploitant, aux conditions de défaut attendues au sein de l'alimentation ou de la charge d'un convertisseur

## 4 Articles communs

### 4.1 Généralités

#### 4.1.1 Conception

Le processus de conception doit être visible et audible.

Si l'exploitant demande le détail de ce processus pour une évaluation d'appel d'offres, il doit le préciser dans les documents d'appel d'offres.

#### 4.1.2 Marquage

##### 4.1.2.1 Plaque signalétique

Le convertisseur doit être équipé d'une plaque signalétique qui doit être lisible au cours de la vie utile du convertisseur et sur laquelle doivent figurer au moins les inscriptions suivantes:

- la marque du fabricant;
- le numéro du dessin d'ensemble et son indice et/ou la désignation du type;
- numéro de série;
- année de fabrication;
- la masse.

##### 4.1.2.2 Bornes principales

Le marquage des bornes principales doit être conforme aux spécifications fournies dans l'IEC 61148.

### **4.1.3 Documentation technique**

#### **4.1.3.1 Documentation fournie par le fabricant**

La documentation sur l'utilisation et la maintenance du convertisseur doit être fournie par le fabricant et doit inclure les éléments suivants:

- la description de l'appareil (y compris la description fonctionnelle et les données techniques);
- la spécification d'essais de type et de série (liste des essais, méthodes d'essais, limites, tolérances, conditions d'essais, critères d'acceptation);
- les résultats des essais spécifiés (certificat d'essai);
- les instructions de mise en service;
- les instructions de fonctionnement;
- les instructions de maintenance;
- les instructions de réparation;
- la description des outils spéciaux pour la maintenance et la réparation, le cas échéant;
- le programme et les supports de formation, à préciser par accord entre le fabricant et l'exploitant;
- la déclaration des matériaux qu'il est nécessaire de traiter comme déchets spéciaux, lorsqu'ils sont retirés du service (soit seuls, soit avec le convertisseur).

#### **4.1.3.2 Documentation à fournir par l'exploitant**

L'exploitant doit, si nécessaire, fournir une spécification qui est essentiellement destinée à donner des précisions sur les accords énumérés à l'Annexe B. Il est uniquement nécessaire d'introduire un point dans la spécification si elle diffère de l'exigence normale de la présente norme. La spécification peut également contenir:

- une description technique générale de l'application;
- les conditions spéciales de service;
- les caractéristiques du réseau d'alimentation;
- le profil de charge et les cycles de service;
- les exigences CEM;
- les exigences de refroidissement;
- les conditions ambiantes;
- les mesures de sécurité, y compris les exigences de comportement au feu;
- les caractéristiques de conception électrique et mécanique;
- les détails des installations prévues pour la maintenance et la réparation.

Les exigences doivent être claires et univoques.

Par exemple, les déclarations qui ne sont pas quantifiées, telles que "Les équipements ne doivent pas interférer avec les dispositifs de signalisation et de télécommunication." ne sont pas acceptables.

### **4.1.4 Fiabilité, disponibilité, maintenabilité et sécurité**

#### **4.1.4.1 Fiabilité**

L'exploitant peut exiger du fabricant un calcul de fiabilité prévisionnelle ou de satisfaire à un objectif de fiabilité défini par l'exploitant. La méthode de calcul doit faire l'objet d'un accord entre le fabricant et l'exploitant au moment de l'offre.

La spécification et la vérification des exigences de fiabilité doivent être conformes à l'IEC 62278.

#### **4.1.4.2 Disponibilité**

L'exploitant peut exiger du fabricant de prédéterminer la disponibilité ou de satisfaire à un objectif de disponibilité défini par l'exploitant. La méthode de calcul doit faire l'objet d'un accord entre le fabricant et l'exploitant au moment de l'offre.

La spécification et la méthode de calcul et la vérification doivent être conformes à l'IEC 62278.

#### **4.1.4.3 Maintenabilité**

Les exigences de maintenance doivent être définies par l'exploitant au moment de l'appel d'offres. De plus, le fabricant doit définir quelles procédures de maintenance sont nécessaires ou prohibées. La procédure de maintenance doit faire l'objet d'un accord entre le fabricant et l'exploitant.

La spécification et la vérification de ces exigences doivent être conformes à l'IEC 62278.

#### **4.1.4.4 Sécurité**

Les exigences de sécurité doivent être définies par l'exploitant au moment de l'appel d'offres et acceptées par le fabricant.

La spécification et la vérification des exigences de sécurité doivent être conformes à l'IEC 62278.

#### **4.1.5 Durée de vie utile**

Au moment de l'appel d'offres, la durée de vie utile du convertisseur doit faire l'objet d'un accord entre le fabricant et l'exploitant. Si le fabricant prévoit d'utiliser des composants ayant une durée de vie connue inférieure à la durée de vie utile du convertisseur, leur utilisation et les procédures pour leur remplacement régulier doivent faire l'objet d'un accord.

Des recommandations relatives aux pièces de rechange sont fournies par le fabricant.

### **4.2 Conditions de service**

#### **4.2.1 Généralités**

Les classes de conditions de service décrites dans l'IEC 62498-1 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 supposée.

Dans le cas où d'autres conditions s'appliquent, il convient de les sélectionner à partir de l'IEC 60721-3-5 si nécessaire.

#### **4.2.2 Altitude**

Les différentes classes d'altitude au-dessus du niveau de la mer, auxquelles l'équipement doit fonctionner comme spécifié, doivent être celles données dans l'IEC 62498-1, 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.

## 4.2.3 Température

### 4.2.3.1 Température ambiante

La classe de température ambiante à laquelle le véhicule, le convertisseur et ses composants fonctionneront doit être donnée conformément à l'IEC 62498-1:2010, Tableau 2 sauf spécification contraire.

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

Une température de référence est considérée comme étant la température permanente pour laquelle les effets sur le vieillissement du matériel sont équivalents à ceux de la température climatique au cours de la durée de vie.

NOTE Le vieillissement thermique est une fonction exponentielle de la température (par exemple voir la série IEC 60216 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, la dépendance entre l'altitude et la température doit être fournie par l'exploitant via un histogramme des températures pour chaque plage d'altitude pertinente (par exemple 0 m à 1 000 m et 1 000 m à 2 000 m).

### 4.2.3.2 Températures de démarrage

Le présent paragraphe s'applique aux véhicules en stationnement qui ne sont connectés à aucune source d'énergie.

La température de démarrage maximale pour les convertisseurs directement exposés à l'air ambiant externe au véhicule doit être conforme à celle spécifiée en 4.2.3.1.

Pour les convertisseurs installés à l'intérieur d'un compartiment de véhicule, la température de démarrage maximale doit être 70 °C.

Le Tableau 1 fournit les différentes classes de caractéristiques de charge de démarrage auxquelles l'équipement doit fonctionner comme spécifié. Il n'y a pas de classe préférentielle; il convient de choisir la classe pour qu'elle soit adaptée à l'exploitant du convertisseur. Le choix de classe de température de démarrage doit faire l'objet d'un accord entre le fabricant et l'exploitant.

**Tableau 1 – Classes générales des caractéristiques de charge de démarrage**

Classe de charge	Puissance de démarrage
SU1	Tension assignée, aucune charge avant l'entrée dans la plage de température spécifiée <sup>a</sup>
SU2	50 % de la puissance assignée jusqu'à l'entrée dans la plage de température spécifiée <sup>a</sup>
SU3	100 % de la puissance assignée immédiatement <sup>b</sup>
SU4	Autres conditions spécifiées

<sup>a</sup> Par exemple, la puissance de traction d'une locomotive peut ne pas être nécessairement disponible immédiatement après la connexion à l'alimentation. L'équipement peut être amené à la température de travail par l'équipement auxiliaire.

<sup>b</sup> Par exemple, dans certains cas, les convertisseurs auxiliaires doivent fonctionner immédiatement après la connexion à l'alimentation.

#### **4.2.4 Autres conditions environnementales**

Le convertisseur doit être conçu pour les conditions d'humidité et de pollution spécifiées dans l'IEC 62498-1.

#### **4.2.5 Contrainte mécanique**

##### **4.2.5.1 Chocs et vibrations**

Lorsqu'il est maintenu avec les fixations prévues (y compris les supports antivibratoires dans l'installation), le convertisseur doit être en mesure de résister aux vibrations et aux chocs comme indiqué dans l'IEC 61373.

##### **4.2.5.2 Autres accélérations**

Lorsqu'un véhicule passe par une courbe et est arrêté sur une courbe, les composants à accélérations nettes admissibles agissant perpendiculairement à l'axe vertical du véhicule ne doivent pas dépasser les valeurs données dans l'IEC 61373. Le convertisseur, y compris le système de refroidissement, doit continuer de fonctionner comme spécifié en accélérations transversales et longitudinales comme spécifié dans l'IEC 61373. Ces exigences doivent faire l'objet d'un accord entre l'exploitant et le fabricant.

#### **4.2.6 Profil de charge**

Du fait que les caractéristiques du profil de charge peuvent affecter les caractéristiques de fonctionnement d'un convertisseur ou des composants de convertisseur, le profil de charge doit toujours être spécifié. Ce profil doit être calculé par le cycle de service et faire l'objet d'un accord entre le fabricant et l'exploitant.

NOTE 1 Ce profil est utilisé pour calculer les conditions les plus défavorables pour les composants concernés et pour définir les conditions d'essai d'échauffement (4.5.3.13).

NOTE 2 Le cycle de service peut être un cycle de traction théorique type (accélération, vitesse constante, freinage et arrêt) ou un cycle spécifié pour le véhicule dans lequel le convertisseur est monté. Généralement, ce cycle est défini pour la tension d'entrée nominale pour la traction et pour d'autres cas tels que le freinage à une tension spécifiée.

NOTE 3 Pour les convertisseurs auxiliaires, voir 7.2.3.3.

#### **4.2.7 Caractéristiques de réseau d'alimentation**

##### **4.2.7.1 Généralités**

Il convient que l'exploitant définisse les caractéristiques du réseau d'alimentation, en traction et en freinage électrique et en cas de défauts possibles.

##### **4.2.7.2 Systèmes à courant alternatif**

###### **4.2.7.2.1 Caractéristiques principales de la tension de ligne à courant alternatif**

Les caractéristiques principales des différents réseaux d'alimentation à courant alternatif utilisés sont décrites dans l'IEC 60850. L'équipement doit fonctionner comme spécifié lorsqu'il est utilisé dans les limites du système pour lequel il a été défini.

###### **4.2.7.2.2 Variation par palier de la tension de ligne**

La variation par palier de la tension de la ligne doit être spécifiée par l'exploitant; la performance correspondante du convertisseur doit faire l'objet d'un accord entre le fabricant et l'exploitant.

#### **4.2.7.2.3 Distorsion de la tension de ligne à courant alternatif**

On doit prendre pour hypothèse que la tension de ligne du système de traction est sinusoïdale dans une grande mesure.

L'équipement doit fonctionner tel que spécifié lorsque la tension de ligne à courant alternatif en régime permanent contient des niveaux de composantes de tensions harmoniques et interharmoniques inférieurs ou égaux aux valeurs convenues entre le fabricant et l'exploitant.

#### **4.2.7.2.4 Surtension dans les réseaux à courant alternatif**

Le convertisseur, y compris ses appareils de protection, raccordé au transformateur et au filtre d'entrée (le cas échéant) doit être en mesure de résister aux surtensions d'entrée et aux énergies transitoires données dans l'IEC 60850. Celles-ci sont considérées comme conditions normales; tout écart substantiel doit être spécifié par l'exploitant.

#### **4.2.7.2.5 Impédance des réseaux à courant alternatif**

Puisque l'impédance de l'alimentation à courant alternatif influe sur les caractéristiques de fonctionnement de l'équipement et peut varier avec la position du véhicule, les caractéristiques, y compris les valeurs maximales et minimales de cette impédance, doivent être spécifiées par l'exploitant.

Si nécessaire et si possible, les fréquences de résonance du réseau à courant alternatif doivent être spécifiées par l'exploitant, soit directement, soit au moyen d'un modèle du réseau.

Il convient que l'effet de la présence d'autres véhicules sur l'impédance de l'alimentation et les fréquences de résonance soit également pris en compte.

### **4.2.7.3 Réseau d'alimentation en courant continu**

#### **4.2.7.3.1 Caractéristiques principales de la tension de ligne à courant continu**

Les caractéristiques principales des différents réseaux d'alimentation à courant continu utilisés sont fournies dans l'IEC 60850. L'équipement doit fonctionner comme spécifié lorsqu'il est utilisé dans le ou les système(s) pour lequel/lesquels il a été défini.

Il sera admis que la tension côté ligne du réseau de traction est la tension continue obtenue à partir d'une tension sinusoïdale triphasée, par redressement hexaphasé en onde pleine.

L'exploitant doit déclarer toute autre disposition, par exemple ce qui suit: indice de pulsation différent de 6, utilisation de redresseurs à commande de phase, présence sur le réseau de véhicules à freinage par récupération ou de filtres d'harmoniques en sous-stations.

#### **4.2.7.3.2 Variation par palier de la tension de ligne**

La variation par palier de la tension de la ligne doit être spécifiée par l'exploitant; la performance correspondante du convertisseur doit faire l'objet d'un accord entre le fabricant et l'exploitant.

#### **4.2.7.3.3 Surtension dans les réseaux à courant continu**

Le convertisseur, y compris son filtre d'entrée et ses appareils de protection, le cas échéant, doit être en mesure de résister aux surtensions d'entrée et aux énergies transitoires données dans l'IEC 60850. Tout écart substantiel doit être spécifié par l'exploitant.

#### **4.2.7.3.4 Inductance et résistance du réseau à courant continu**

Puisque l'impédance et la résistance de l'alimentation à courant continu influent sur les caractéristiques de fonctionnement de l'équipement et peuvent varier avec la position du véhicule, les caractéristiques, y compris les valeurs maximales et minimales de cette impédance et cette résistance, doivent être spécifiées par l'exploitant.

Il convient de prendre en considération la présence d'autres véhicules.

#### **4.2.7.3.5 Distorsion de la tension de ligne à courant continu**

L'équipement doit fonctionner tel que spécifié lorsque les niveaux de composantes harmoniques en régime stationnaire de la tension de ligne à courant continu sont inférieurs ou égaux aux valeurs convenues par le fabricant et l'exploitant.

#### **4.2.7.4 Autres systèmes d'alimentation**

Lorsque le convertisseur est alimenté par une alimentation telle que

- batterie;
- générateurs;
- alimentation électrique de quai (alimentation d'atelier);
- autres sources d'énergie électrique,

l'exploitant doit spécifier les valeurs assignées et les valeurs limites pour la tension et l'impédance de l'alimentation, et, dans le cas d'alimentation à courant alternatif, la fréquence et la forme d'onde.

### **4.2.8 Interférences**

#### **4.2.8.1 Généralités**

Le convertisseur produira une interférence par conduction ou rayonnement qui peut affecter l'alimentation, les télécommunications ou les systèmes de signalisation ou d'autres équipements dans le véhicule ou le voisinage du système de transport. Le courant d'entrée du convertisseur contient normalement des composantes harmoniques et interharmoniques. Elles sont dues aux harmoniques présentes dans l'alimentation de traction ou elles sont générées par le convertisseur. Lorsqu'un convertisseur alimente d'autres équipements sur le train, il convient de prendre en considération l'interférence avec d'autres équipements sur le train (par exemple des alimentations de chauffage des voitures).

L'équipement doit être conforme aux exigences données dans l'IEC 62236-3-1 et l'IEC 62236-3-2.

#### **4.2.8.2 Interférences avec le réseau d'alimentation (émission)**

La responsabilité de la compatibilité entre le convertisseur, le véhicule et le système d'alimentation est partagée entre le fabricant du convertisseur et l'exploitant. Le processus de vérification de la compatibilité doit faire l'objet d'un accord au moment du contrat.

La valeur admissible des composantes harmoniques du courant alternatif de l'ensemble du système doit être définie par l'exploitant.

#### **4.2.8.3 Interférences avec les réseaux de radiocommunications et de télécommunications**

Les convertisseurs peuvent causer des perturbations dans les réseaux de radiocommunications et de télécommunications. Les exigences de l'IEC 62236-3-2 concernant la protection des réseaux de radiocommunications et des lignes de télécommunications contre

les interférences doivent être appliquées. Il convient de prendre en considération l'IEC 62236-3-1.

#### 4.2.8.4 Interférences avec les réseaux de signalisation

La responsabilité de la compatibilité entre le convertisseur, le véhicule et le système de signalisation est partagée entre le fabricant du convertisseur et l'exploitant. Le processus de vérification de la compatibilité doit faire l'objet d'un accord au moment du contrat.

Des exigences détaillées concernant les interférences avec le système de signalisation doivent être définies par l'autorité en charge de l'infrastructure ferroviaire et être référencées dans les spécifications de l'exploitant.

Par exemple:

- les courants admissibles maximaux aux fréquences de la signalisation avec une largeur de bande et une durée spécifiées dans le réseau d'alimentation causés par le convertisseur. Les fréquences de la signalisation sont habituellement dans la plage des fréquences inférieures à 150 kHz, où le contenu harmonique des transitoires de commutation peut se situer dans cette plage.

Il convient que le fabricant tienne compte du fait que le courant d'interférence total provenant de la ligne et des véhicules ne dépasse pas le niveau spécifié par l'autorité en charge de l'infrastructure ferroviaire et mentionné dans le cahier des charges de l'utilisateur;

- l'impédance d'entrée minimale pour le véhicule aux fréquences pour la signalisation.  
Si le matériel roulant est destiné à fonctionner sur plusieurs réseaux ferroviaires, il convient que l'accord prenne en compte les exigences applicables à chaque réseau;
- les champs magnétiques maximaux admissibles le long de la voie.

NOTE Les capteurs le long de la voie peuvent être affectés dans leur plage de fréquences de fonctionnement par des champs magnétiques.

#### 4.2.9 Limitations du courant d'entrée

Toute limitation du courant à l'état permanent et du courant d'appel ou de mise en marche doit être spécifiée par l'exploitant.

L'exploitant doit également spécifier les capacités du réseau d'alimentation en courant instantané et la nature des protections du réseau.

#### 4.2.10 Influence sur l'environnement

##### 4.2.10.1 Bruit acoustique

Le Tableau 2 définit les classes acoustiques. Le niveau maximal de bruit acoustique émis par le convertisseur doit être conforme à l'une de ces classes.

Des valeurs inférieures peuvent être indiquées dans la spécification (voir 4.1.3.2).

**Tableau 2 – Classes de bruit acoustique**

Classe	N1 dB <sub>A</sub>	N2 dB <sub>A</sub>	N3 dB <sub>A</sub>	N4 dB <sub>A</sub>	N5 dB <sub>A</sub>	N6 dB <sub>A</sub>	N7 dB <sub>A</sub>	N8 dB <sub>A</sub>
Niveau de bruit $L_{pA}$	80	75	70	65	60	95	90	85

Le niveau de bruit est défini par le paramètre  $L_{\text{pA}}$  = le niveau de pression acoustique de surface pondéré A à 1 m de distance.

Les méthodes d'essai sont définies en 4.5.3.12.

Dans le cas d'un convertisseur avec système de refroidissement séparé, si ce système n'est utilisé que pour le refroidissement du convertisseur, il est considéré comme une partie du convertisseur pour définir la classe acoustique. Le niveau de bruit maximal du bruit acoustique pour le système de propulsion complet ou l'équipement auxiliaire complet n'est pas couvert par la présente norme. Il est nécessaire de considérer qu'après montage du convertisseur dans le véhicule, le niveau de bruit émis dépendra de son emplacement et des éventuelles mesures de précaution. Les classes N6, N7, N8 ne sont autorisées que si le bruit est diminué par l'installation ou les modes de fonctionnement. Le choix de la classe de bruit acoustique doit faire l'objet d'un accord entre le fabricant et l'exploitant. Le bruit du convertisseur, lorsque ce dernier est monté dans le véhicule, est de la responsabilité du maître d'œuvre principal (fournisseur de véhicules).

#### **4.2.10.2 Température maximale des parties accessibles**

La température maximale des parties accessibles doit être conforme au Tableau 3 de l'IEC 60077-1:1999.

### **4.3 Caractéristiques**

#### **4.3.1 Caractéristiques des composants**

##### **4.3.1.1 Spécifications**

Les composants doivent être conformes aux spécifications qui définissent leurs paramètres fonctionnels et physiques de façon suffisamment précise pour permettre une rénovation majeure ou l'approvisionnement d'un composant interchangeable provenant d'un autre fournisseur.

##### **4.3.1.2 Système qualité**

Les fournisseurs de composants doivent posséder un système qualité conforme.

#### **4.3.2 Caractéristiques des dispositifs à semiconducteurs**

Les dispositifs à semiconducteurs des circuits de puissance doivent être conformes aux spécifications de la série IEC 60747 et leur fonctionnement doit être assuré dans les conditions spécifiées dans la présente norme.

#### **4.3.3 Caractéristiques des transformateurs, des inductances et des condensateurs**

Les caractéristiques des transformateurs de puissance et des inductances utilisés dans les convertisseurs doivent être conformes aux exigences de l'IEC 60310. Celles des condensateurs doivent être conformes aux exigences de l'IEC 61881 et de l'IEC 60384-4.

S'il existe une contradiction entre les conditions d'utilisation spécifiées dans l'IEC 60384 et la série IEC 61881 et la présente norme, la présente norme prévaut. Il faut accorder une attention particulière aux essais et aux conditions d'exploitation, de chocs, de vibrations.

#### **4.3.4 Caractéristiques des convertisseurs**

##### **4.3.4.1 Caractéristiques géométriques – conformité aux dessins**

Le convertisseur doit être défini par des dessins qui fixent notamment:

- ses composants;
- ses points de fixation;
- les exigences d'accessibilité;
- les points de préhension pour sa manutention;
- les raccordements électriques et aérauliques ou les raccordements au système de refroidissement;
- les dimensions et tolérances;
- la masse totale calculée de l'ensemble convertisseur et du système de refroidissement;
- la position calculée du centre de gravité.

La spécification et la conception doivent faire l'objet d'un accord entre le fabricant et l'exploitant.

#### **4.3.4.2 Caractéristiques des systèmes de refroidissement**

Les paramètres essentiels du système de refroidissement doivent être définis dans la spécification qui doit faire l'objet d'un accord et qui peut inclure les éléments suivants:

- type de fluide de refroidissement;
- débits en fonctionnement permanent et pour les conditions transitoires;
- températures en entrée et en sortie;
- pression de fonctionnement (valeur assignée et valeur d'essai);
- différences de pression;
- puissance dissipée;
- des informations additionnelles (par exemple, des distances dans l'air aux parties adjacentes, les pertes de puissance), si la surface est utilisée à des fins de refroidissement;
- étanchéité des systèmes de refroidissement hermétiquement fermés (s'ils sont utilisés);
- type de filtre et ses exigences de maintenance (le cas échéant);
- informations de maintenance du fluide de refroidissement (par exemple des additifs pour le refroidissement de l'eau).

#### **4.3.4.3 Degré de protection**

S'il est spécifié, le degré de protection doit être choisi parmi ceux définis dans l'IEC 60529.

#### **4.3.4.4 Caractéristiques électriques**

##### **4.3.4.4.1 Grandeurs d'entrée**

Le convertisseur doit pouvoir être connecté à l'une ou plusieurs des alimentations précisées en 4.2.7. Le convertisseur peut être connecté à l'alimentation directement ou par le biais d'un équipement intermédiaire, par exemple un transformateur ou un filtre d'entrée.

L'exploitant doit spécifier les caractéristiques d'alimentation, en tenant compte des exigences de 4.2.8.

Le convertisseur, avec ses appareils de protection s'il en dispose, doit pouvoir résister aux surtensions d'entrée fournies en 4.2.7.2.4 et/ou 4.2.7.3.3, sans aucun dommage. L'exploitant doit indiquer s'il est exigé ou non que les appareils de protection utilisés soient réinitialisables.

#### **4.3.4.4.2 Grandeurs de sortie**

##### **4.3.4.4.2.1 Généralités**

Les valeurs assignées font référence au convertisseur et les valeurs du point de fonctionnement font référence à l'application.

##### **4.3.4.4.2.2 Valeurs assignées**

Les valeurs assignées des grandeurs de sortie suivantes doivent être définies dans la spécification:

- tension (fondamentale efficace – ou valeur moyenne);
- courant (fondamental efficace – ou valeur moyenne);
- courant de blocage;
- facteur de puissance de l'onde à fréquence fondamentale;
- fréquences (fréquence fondamentale, porteuse, et de modulation).

##### **4.3.4.4.2.3 Valeur du point de fonctionnement**

Les grandeurs de sorties doivent être définies par le fabricant dans une spécification contenant des points de fonctionnement particuliers selon 4.2.7. Il convient que la spécification comprenne les éléments suivants:

- la puissance (active, réactive);
- tension (fondamentale efficace – ou valeur moyenne);
- la forme d'onde de tension;
- courant (fondamental efficace – ou valeur moyenne);
- la valeur crête du courant;
- le temps admissible de fonctionnement à chaque point de fonctionnement particulier;
- fréquences (fondamentale, porteuse, de modulation).

Il convient que ces éléments fassent l'objet d'un accord entre le fabricant et l'exploitant.

##### **4.3.4.4.2.4 Valeurs spéciales**

Les caractéristiques en court-circuit et en circuit ouvert doivent être décrites conformément à 4.1.3.2. Toutes exigences particulières de la part de l'exploitant doivent être spécifiées conformément à 4.1.3.2.

Il convient que ces éléments fassent l'objet d'un accord entre le fabricant et l'exploitant.

##### **4.3.4.4.3 Rendement en puissance**

Le rendement en puissance doit être déterminé pour des caractéristiques de réseaux d'alimentation nominales (voir 4.2.7) pour un des points de fonctionnement de 4.3.4.4.2.3, préférentiellement aux conditions de fonctionnement assignées.

Le rendement doit être déterminé pour les deux directions du transit de puissance à travers le convertisseur, si applicable.

Il convient que ces éléments fassent l'objet d'un accord entre le fabricant et l'exploitant.

NOTE La définition du rendement en puissance est fournie dans l'IEC 60146-1-1.

#### **4.3.4.4.4 Séparation électrique**

Si le convertisseur assure la séparation électrique entre l'alimentation et la charge, cela doit être indiqué dans la spécification du convertisseur.

#### **4.3.4.4.5 Interfaces entre le convertisseur et l'unité de commande**

Si le convertisseur (partie de puissance) et l'unité de commande sont séparés, les interfaces fonctionnelles entre ceux-ci doivent être spécifiées.

### **4.4 Exigences techniques**

#### **4.4.1 Coordination de l'isolement**

Les lignes de fuite et les distances d'isolement dans l'air minimales doivent être conformes à et être contrôlées en vertu de l'IEC 62497-1:2010/AMD1:2013.

La détermination des distances d'isolement minimales se base sur la tension assignée de tenue aux chocs et sur l'environnement

Pour les altitudes supérieures à 2 000 m au-dessus du niveau de la mer, les facteurs de correction d'altitude pour les distances d'isolement doivent être appliqués conformément à l'IEC 62497-1:2010/AMD1:2013, Tableau A.9 et Tableau A.10. L'interpolation linéaire est permise.

La détermination des lignes de fuite minimales est basée sur la valeur de la tension d'isolement assignée, l'environnement et le matériau d'isolation.

L'exploitant doit fournir les informations exigées par le fabricant pour la définition de la coordination d'isolation.

#### **4.4.2 Exigences de CEM pour les convertisseurs**

##### **4.4.2.1 Généralités**

Les exigences de CEM pour les convertisseurs sont fournies dans l'IEC 62236-3-2.

L'exploitant doit déclarer les appareils de la part desquels on peut attendre des perturbations élevées et/ou une faible susceptibilité.

##### **4.4.2.2 Champs électromagnétiques**

###### **4.4.2.2.1 Interférences avec les équipements installés le long de la voie**

Les champs magnétiques du véhicule dus au convertisseur, qui peuvent influencer les équipements installés le long de la voie doivent être limités conformément à l'IEC 62236-3-2 ou spécifiés dans un plan de CEM individuel du projet.

Ce champ autorisé est un champ tolérable pour les capteurs et les circuits de communication installés le long de la voie.

###### **4.4.2.2.2 Effets sur les êtres humains**

Les champs magnétiques et tensions induites autorisés à l'intérieur des cabines de conduite ou des compartiments à voyageurs (et plus généralement tous les environnements où les passagers peuvent être présents) doivent être spécifiés par l'exploitant. L'utilisateur et le fabricant doivent se mettre d'accord sur les exigences requises au niveau du convertisseur.

Pour plus d'informations, voir Annexe C.

#### 4.4.3 Effets des défauts

Les effets produits par les défauts dans le convertisseur sur les composants tels que moteur, transformateur, filtre, etc., qui lui sont connectés, doivent être pris en considération. De manière analogue, les effets produits par les défauts dans le moteur, le transformateur, le filtre etc. sur le convertisseur doivent également être pris en considération. Ces effets produits par les défauts doivent être spécifiés et faire l'objet d'un accord entre le fabricant et l'exploitant.

Sauf spécification contraire, l'analyse des effets des modes de défaillance n'est pas exigée.

#### 4.5 Essais

##### 4.5.1 Généralités

###### 4.5.1.1 Vue d'ensemble

Les essais visent à prouver la conformité à la spécification correspondante.

Il est recommandé de limiter le nombre des essais coûteux à ceux qui sont nécessaires. La présente norme est conçue de sorte que la plupart des essais peuvent normalement être effectués dans l'atelier du fabricant.

S'il n'est pas possible de soumettre l'équipement à des essais dans l'atelier du fabricant par des méthodes définies et convenues, l'essai peut également être effectué dans un laboratoire spécialisé ou sur un véhicule. Les essais concernent principalement la partie de puissance du convertisseur y compris le dispositif de commande des semiconducteurs (SDU).

La méthode d'essai et les paramètres d'essai doivent être spécifiés par un accord entre le fabricant et l'exploitant.

Pour les essais du convertisseur, il est possible d'utiliser une unité de commande électronique (unité de commande de véhicule) différente de l'équipement de production.

###### 4.5.1.2 Catégories d'essais

###### 4.5.1.2.1 Généralités

Il existe trois catégories d'essais:

- les essais de type;
- les essais de série;
- les essais d'investigation.

NOTE Les essais combinés ne sont pas couverts par la présente norme.

###### 4.5.1.2.2 Essais de type

Avant d'exécuter les essais de type, l'équipement doit être vérifié par un essai de série (voir Tableau 3).

Les essais de type doivent être effectués pour vérifier qu'un produit satisfera aux exigences spécifiées et convenues entre le fabricant et l'exploitant.

Les essais de type doivent être réalisés sur un seul appareil d'une conception et d'un procédé de fabrication donnés. Pour cet essai, en principe, il convient que tous les composants du convertisseur soient identiques à ceux de l'équipement de production en série sauf quand l'exception de 4.5.1.1 concernant l'unité de contrôle/commande électronique est appliquée.

Si des modifications significatives sont effectuées sur le convertisseur après l'essai de type, il convient qu'un accord soit établi entre le fabricant et l'exploitant au sujet des parties répétées ou de tout l'essai.

Si les méthodes d'essai nécessitent l'utilisation de certains composants ou d'une unité de commande différents de ceux de la production en série, un accord entre le fabricant et l'exploitant est nécessaire.

Si un convertisseur complet ou l'un de ses éléments constitutifs est identique ou similaire à un appareil soumis à l'essai antérieurement, le fabricant peut présenter un procès-verbal des essais antérieurs qui doit couvrir au minimum les exigences contractuelles. Dans de tels cas, il n'est pas nécessaire, sauf convention contraire, de recommencer les essais.

Dans le cas d'une production d'un grand nombre de convertisseurs identiques, sous réserve d'accord préalable entre l'exploitant et le fabricant, certains de ces essais peuvent être répétés sur les convertisseurs ou l'une de leurs parties prélevée sur la production ou les livraisons courantes, de façon à confirmer que la qualité du produit est toujours conforme aux exigences spécifiées.

Les essais de type qui sont soumis à un accord entre le fabricant et l'exploitant ne doivent être effectués que si cela est indiqué dans la spécification.

#### **4.5.1.2.3 Essais individuels de série**

Les essais individuels de série sont effectués pour vérifier que le convertisseur est correctement assemblé et que tous les composants fonctionnent de façon appropriée et sûre. Les essais individuels de série doivent être effectués par le fabricant, sur chaque élément d'un type donné. Le fabricant et l'exploitant peuvent convenir d'adopter une méthode d'essai alternative. Cela peut permettre de réduire les essais individuels de série sur tous les convertisseurs ou peut exiger d'exécuter la totalité des essais sur un nombre réduit de convertisseurs choisis au hasard parmi ceux qui sont produits pour ce contrat.

Les essais individuels de série qui sont soumis à un accord entre le fabricant et l'exploitant ne doivent être effectués que si cela est indiqué dans la spécification.

#### **4.5.1.2.4 Essais d'investigation**

Les essais d'investigation, qui ont pour but de donner des renseignements complémentaires sur l'utilisation du convertisseur, doivent faire l'objet d'un accord préalable entre l'exploitant et le fabricant. La réalisation de ces essais n'est exigée que s'ils sont expressément spécifiés dans le contrat.

Les résultats des essais d'investigation ne peuvent pas être opposables à l'acceptation du matériel et ne peuvent entraîner l'application de pénalités.

NOTE Les essais d'investigation ne sont pas décrits par la présente norme.

### **4.5.2 Essais du convertisseur**

#### **4.5.2.1 Généralités**

Les essais de type et de série destinés à vérifier les caractéristiques générales des convertisseurs doivent être effectués conformément aux paragraphes indiqués dans le Tableau 3 et précisés de 4.5.3.1 à 4.5.3.22.

L'essai de série doit être effectué dans l'atelier. Il convient que le lieu où sont généralement exécutés les essais corresponde à celui indiqué dans le Tableau 3.

Tous ces essais des convertisseurs peuvent être effectués à la température ambiante de l'atelier ou du véhicule. La température ambiante pendant chaque essai de type doit être consignée.

Les essais de type et les essais de série destinés à vérifier les caractéristiques d'un type particulier de convertisseur doivent être effectués conformément aux exigences de cet article et (si applicable) des Articles 5 à 8 de la présente norme. En particulier, les essais avec charge spécifiée sont donnés dans l'Article 5 ou 7.

Essais séparés de différentes sorties: dans le cas d'un convertisseur à sorties multiples, il est nécessaire d'effectuer les essais électriques de type et de série pour chacune des sorties.

#### **4.5.2.2 Essais des composants et sous-ensembles du convertisseur**

##### **4.5.2.2.1 Généralités**

Les composants et sous-ensembles du convertisseur énumérés ci-dessous doivent être soumis aux essais conformément aux normes suivantes, avant leur montage dans le convertisseur:

- les dispositifs à semiconducteurs de puissance: IEC 60747;
- électronique de commande et composants à courant faible: IEC 60571;
- unités de commande des semiconducteurs (SDU): IEC 61287-1 et IEC 60571;
- transformateurs de puissance et inductances: IEC 60310;
- condensateurs électroniques de puissance: IEC 61881, IEC 60384-4;
- ensembles de dispositifs à semiconducteurs: le cas échéant, doivent être soumis à l'essai conformément à un programme d'essai fourni par le fabricant de l'ensemble de dispositifs à semiconducteurs;
- résistances de puissance: IEC 60322.

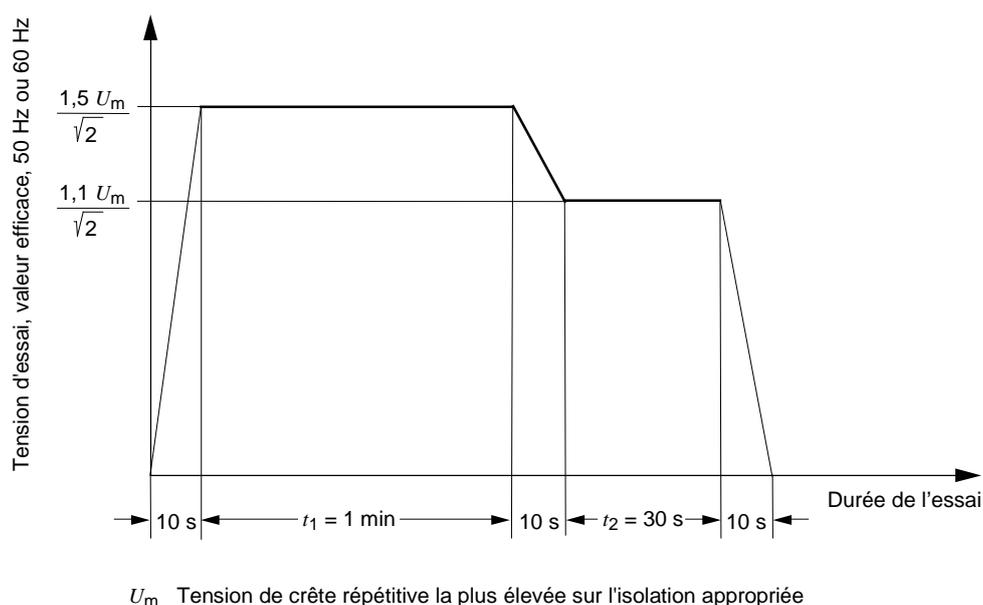
##### **4.5.2.2.2 Essai de décharges partielles**

Il s'agit d'un essai de composant. L'exécution de l'essai est soumise à la norme du composant en question.

Cet essai est exécuté pour vérifier l'isolement des composants élémentaires et des sous-ensembles.

Il est recommandé de réaliser cet essai pour les équipements fonctionnant sous 1 500 V ou plus et spécialement pour les nouveaux composants et ensembles de dispositifs à semiconducteurs ayant une nouvelle technologie d'isolement.

L'IEC 60270 fournit les méthodes d'essai et d'étalonnage et décrit certains types de circuits d'essai. Parmi ces méthodes d'essai, il est recommandé d'utiliser celle définie ci-après.



IEC 1882/14

**Figure 1 – Essai de décharges partielles – Tension en fonction du temps**

Une tension efficace alternative (50 Hz ou 60 Hz) de valeur égale à  $1,5 U_m / \sqrt{2}$  ou plus est appliquée. La tension est accélérée jusqu'à  $1,5 U_m / \sqrt{2}$  en 10 s et est maintenue pendant le temps  $t_1 = 1$  min (voir Figure 1). Pendant ce temps  $t_1$ , un certain nombre de décharges partielles peuvent être observées.

Après  $t_1$ , la tension est réduite à  $1,1 U_m / \sqrt{2}$  en 10 s. La tension  $1,1 U_m / \sqrt{2}$  est appliquée pendant  $t_2 = 30$  s. Pendant les cinq dernières secondes de  $t_2$ , le niveau des décharges partielles est mesuré.

Critères d'acceptation: l'acceptation est fondée sur le niveau mesuré de décharges partielles tel qu'il est spécifié par le fabricant.

EXEMPLE: Pour un composant, une valeur type pour satisfaire à l'essai est de 10 pC et pour un sous-ensemble 50 pC.

#### 4.5.2.3 Liste des essais de convertisseur

La liste des essais généraux à réaliser sur un convertisseur complet et leur classification sont données dans le Tableau 3 ci-dessous. La présente liste contient un minimum d'essais.

**Tableau 3 – Liste des essais**

Nature des essais	Emplacement	Essai de type	Essai individuel de série	Paragraphe
Inspection visuelle	W.S.		X	4.5.3.1
Vérification des dimensions et des tolérances	W.S.	X	<sup>b</sup>	4.5.3.2
Pesage	W.S.	X		4.5.3.3
Vérification du marquage	W.S.		X	4.5.3.4
Essais de performance du système de refroidissement	W.S./V	X		4.5.3.5
Essai de fuite	W.S./V		X	4.5.3.5.4
Essai du degré de protection	W.S.	X <sup>a</sup>		4.5.3.6

Nature des essais	Emplacement	Essai de type	Essai individuel de série	Paragraphe
Essai diélectrique	W.S.		X	4.5.3.7
Essai de résistance d'isolement	W.S.		X <sup>a</sup>	4.5.3.8
Essai de protection mécanique et électrique et appareils de mesure	W.S.	X	X	4.5.3.9
Essai à faible charge	W.S.		X	4.5.3.10
Essai de commutation	W.S./V	X		4.5.3.11
Mesure du bruit acoustique	W.S.	X		4.5.3.12
Essai d'échauffement	W.S.	X		4.5.3.13
Détermination des pertes électriques	W.S.	X		4.5.3.14
Essai de surtension d'alimentation et énergie transitoire	W.S./V	X		4.5.3.15
Variations rapides de charge	W.S./V	X <sup>a</sup>		4.5.3.16
Examen pour les exigences de sécurité	W.S.	X		4.5.3.17
Essais de résistance aux vibrations et aux chocs	W.S.	X		4.5.3.18
Essai de la compatibilité électromagnétique (CEM)	W.S./V	X		4.5.3.19
Essai de la variation de tension de ligne par palier	W.S./V	X <sup>a</sup>		4.5.3.20
Essai d'interruption d'alimentation de courte durée	W.S./V	X <sup>a</sup>		4.5.3.21
Partage du courant	W.S./V	X <sup>a</sup>		4.5.3.22
W.S.: L'essai doit être effectué dans l'atelier (workshop).				
W.S./V: L'essai peut être effectué dans l'atelier (workshop) ou sur le véhicule.				
NOTE Les essais énumérés dans ce tableau et effectués sur le véhicule sont considérés comme des essais de convertisseur mais peuvent également faire partie d'un essai combiné.				
<sup>a</sup> L'exécution de l'essai est soumise à un accord entre le fabricant et l'exploitant.				
<sup>b</sup> Certaines dimensions et tolérances peuvent être vérifiées par un essai de série, conformément aux exigences de la spécification.				

### 4.5.3 Description des essais

#### 4.5.3.1 Inspection visuelle

Il s'agit d'un essai individuel de série.

L'examen visuel a pour but de vérifier que le convertisseur ne présente pas de défaut d'aspect et que les traitements de surface sont respectés.

Il comprend la vérification de la présence de tous les composants, mécaniques et électriques, internes et d'interface, et de leurs connexions.

Par l'examen visuel, on vérifie également que les connecteurs électriques et mécaniques ont été correctement assemblés et que les connexions entre les composants suivent les parcours spécifiés.

Si l'examen visuel n'est pas suffisant pour vérifier que les exigences de sécurité spécifiées du convertisseur sont satisfaites, alors des essais supplémentaires appropriés doivent être effectués.

Critères d'acceptation: le convertisseur doit être exempt de défauts d'aspect, tous les composants électriques et mécaniques doivent être conformes aux spécifications et correctement assemblés et les exigences de sécurité sont satisfaites selon l'accord entre le fabricant et l'exploitant.

#### 4.5.3.2 Vérification des dimensions et des tolérances

Il s'agit d'un essai de type.

Les dimensions et leurs tolérances doivent être vérifiées.

Critères d'acceptation: toutes les dimensions choisies pour la vérification doivent se situer dans les tolérances spécifiées.

#### 4.5.3.3 Pesage

Il s'agit d'un essai de type.

Si la masse est spécifiée dans le contrat, le convertisseur doit être pesé.

Critères d'acceptation: la masse doit correspondre à la valeur spécifiée, dans les limites autorisées.

#### 4.5.3.4 Vérification du marquage

Il s'agit d'un essai individuel de série.

Critères d'acceptation: le marquage doit être conforme aux exigences de 4.1.2.

#### 4.5.3.5 Essais de performance du système de refroidissement

##### 4.5.3.5.1 Généralités

Il s'agit d'un essai de type.

Cet essai peut être réalisé soit sur un convertisseur complet soit sur un convertisseur partiellement fini qui est représentatif d'un convertisseur fini.

Il existe deux cas possibles: le convertisseur à système de refroidissement intégré et le convertisseur à système de refroidissement séparé.

##### 4.5.3.5.2 Convertisseur à système de refroidissement intégré

Cet essai a pour objet de mesurer le débit du fluide de refroidissement traversant les divers composants concernés et de vérifier qu'il est conforme au débit spécifié. Si le ou les groupes ventilateurs, pompes ou radiateurs font partie du convertisseur, l'essai doit être effectué:

- en plaçant le convertisseur dans les conditions aérauliques d'entrée ou de sortie spécifiées;
- en alimentant le système de refroidissement dans les conditions suivantes:

à la tension nominale et/ou la fréquence nominale de l'alimentation du ventilateur ou de la pompe;

à la tension nominale et/ou la fréquence correspondant à la valeur minimale spécifiée.

Critères d'acceptation: les grandeurs de tous les paramètres, qui sont énumérées pour la vérification dans la spécification d'essai, doivent se situer dans les limites spécifiées. Des tolérances dans l'équipement d'essai doivent être autorisées.

NOTE Dans certains cas, le débit peut être variable, par exemple lorsque l'énergie de freinage est utilisée pour alimenter le système de refroidissement.

#### **4.5.3.5.3 Convertisseur à système de refroidissement séparé**

Dans le cas d'un convertisseur sans système de refroidissement intégré, le but de cet essai est de vérifier que la baisse de pression à travers le convertisseur est conforme à la gamme spécifiée de valeurs et de mesurer le débit de fluide de refroidissement traversant les divers composants concernés et de vérifier l'accroissement de température ( $\Delta T$ ) du fluide de refroidissement dans des conditions de charge spécifiées du convertisseur. Cet essai peut être réalisé sur un modèle approprié du convertisseur.

Si les groupes ventilateurs, pompes ou radiateurs ne font pas partie du convertisseur, les essais doivent être effectués avec un groupe adapté ventilateur, pompe ou radiateur. Le débit et la pression du fluide de refroidissement doivent être conformes aux valeurs spécifiées par le fabricant du convertisseur ou dans la spécification. La baisse de pression doit être mesurée et la température d'entrée du fluide de refroidissement doit être notée.

Critères d'acceptation: les grandeurs de tous les paramètres, qui sont énumérées pour la vérification dans la spécification d'essai, doivent se situer dans les limites spécifiées. Des tolérances dans l'équipement d'essai doivent être autorisées.

#### **4.5.3.5.4 Essai de fuite**

Il s'agit d'un essai individuel de série.

Si un refroidissement de fluide en circuit fermé est utilisé, un essai de fuite doit être réalisé pour démontrer qu'aucune fuite ne se produit dans le système de refroidissement complet.

Critères d'acceptation: la méthode d'essai et son critère d'acceptation doivent être soumis à un accord entre le fabricant et l'exploitant.

Il convient que les appareils à caloduc soient soumis à l'essai avant d'être installés dans le convertisseur. Dans ce cas, un essai spécial avec le convertisseur n'est pas nécessaire.

#### **4.5.3.6 Essai du degré de protection**

Il s'agit d'un essai de type. L'exécution de l'essai fait l'objet d'un accord entre le fabricant et l'exploitant.

Si un essai du degré de protection est stipulé dans la spécification, il doit être réalisé conformément à l'IEC 60529, pour le degré de protection spécifié en 4.3.4.3. Pour les essais de poussière (IP 5X et IP 6X) sur de grands appareils (convertisseurs haute puissance complets), l'utilisation d'autres méthodes, comme celles décrites dans l'IEC 60529, est autorisée.

#### **4.5.3.7 Essai diélectrique**

##### **4.5.3.7.1 Généralités**

Il s'agit d'un essai individuel de série.

Les essais diélectriques sont effectués pour vérifier l'état correct d'un convertisseur complètement assemblé. Ils ne sont pas effectués pour vérifier l'isolation de composants élémentaires, les distances d'isolement ou les lignes de fuite.

Les bornes principales du convertisseur et les bornes des composants au sein du même circuit telles que les bornes des dispositifs décrits en 8.1 doivent être connectées les unes aux autres.

L'appareillage de connexion et les contacteurs doivent être fermés ou pontés.

Aucune partie du circuit du convertisseur ne doit être laissée flottante au cours de l'essai.

Les composants ou sous-ensembles qui n'ont pas de liaison métallique avec les circuits soumis à l'essai (par exemple les circuits de contrôle, moteurs et ventilateurs) doivent être connectés à la masse durant les essais diélectriques.

Si des composants ou des sous-ensembles assurent l'isolement entre différents niveaux de tension (par exemple transformateur d'impulsions, transducteurs, etc.), les bornes qui ne sont pas connectées au circuit soumis à l'essai doivent être connectées à la masse.

Si un composant ou un sous-ensemble n'est pas soumis à l'essai diélectrique du convertisseur, ses bornes doivent être connectées à la masse.

Des composants ou des sous-ensembles peuvent être déconnectés au cours de l'essai:

- limiteurs de tension protégeant l'isolation principale du convertisseur;
- condensateurs Y dans des filtres CEM;
- résistances de mise à la masse le cas échéant;
- sous-ensembles et composants soumis à l'essai préalablement.

La déconnexion de composants doit être citée dans le programme d'essai et le rapport d'essai.

L'essai suivant doit être effectué à la température ambiante de l'atelier.

Critères d'acceptation: l'essai est déclaré réussi si aucun défaut diélectrique ne se produit pendant que l'on applique la tension d'essai conformément à 4.5.3.7.4.

#### **4.5.3.7.2 Essai diélectrique de l'équipement de convertisseurs avec des parties installés séparément**

Chacune des parties de l'équipement doit être soumise à l'essai séparément selon la norme produit correspondante ou bien les parties doivent être connectées entre elles puis soumises à l'essai conformément à 4.5.3.7.3.

#### **4.5.3.7.3 Essai diélectrique d'un convertisseur monté dans une seule enveloppe**

- Convertisseur direct

La tension d'essai, conformément à 4.5.3.7.4 est appliquée entre les bornes connectées ensemble et l'enveloppe.

- Convertisseur indirect et système de convertisseur

Chaque partie du convertisseur peut être soumise à l'essai séparément avec une tension d'essai différente. La tension d'essai, conformément à 4.5.3.7.4, est appliquée entre les bornes connectées ensemble pour les besoins de l'essai et l'enveloppe (masse). Toutes les autres bornes sont raccordées à la masse pendant l'essai.

#### **4.5.3.7.4 Tension d'essai**

Le niveau de tension d'essai doit être sélectionné conformément à l'Annexe B de l'IEC 62497-1: 2010/AMD1:2013 pour l'essai à fréquence industrielle ou à courant continu qui s'appuie sur la tension assignée de tenue aux chocs.

Afin de prévenir les dommages préalables d'isolations solides de plus en plus utilisés, il convient que la tension d'essai soit appliquée pendant seulement 10 s.

Si la méthode d'essai choisie est la fréquence individuelle et si l'essai doit être répété, la tension d'essai doit être réduite à 80 % de la tension d'essai initiale.

Il convient que les spécifications applicables aux composants ou aux sous-ensembles attirent l'attention sur les essais diélectriques répétés sur le convertisseur complet.

#### **4.5.3.8 Essai de résistance d'isolement**

Il s'agit d'un essai individuel de série. L'exécution de l'essai fait l'objet d'un accord entre le fabricant et l'exploitant

Une minute après l'essai diélectrique, conformément à 4.5.3.7, la résistance d'isolement doit être mesurée en appliquant une tension d'essai de 500 V minimum en courant continu. La résistance d'isolement ne doit pas être inférieure à 1 M $\Omega$  pour des tensions assignées d'isolement ( $U_{Nm}$ ) ne dépassant pas 1 000 V.

Pour des valeurs plus élevées de  $U_{Nm}$ , la résistance d'isolement doit être supérieure à 1 000  $\Omega/V$ .

Les résistances de mise à la masse, le cas échéant, doivent être déconnectées autant qu'il est nécessaire au cours des essais d'isolement.

#### **4.5.3.9 Essai de protection mécanique et électrique et appareils de mesure**

##### **4.5.3.9.1 Généralités**

Il s'agit d'un essai de type et de série.

##### **4.5.3.9.2 Essai individuel de série**

L'essai de série a pour but de vérifier que la protection mécanique et électrique et les appareils de mesure fonctionnent correctement. Les circuits de puissance du convertisseur ne sont pas nécessairement mis sous tension pour cet essai.

Critères d'acceptation: la méthode d'essai et son critère d'acceptation sont de la responsabilité du fabricant et doivent faire l'objet d'un accord avec l'exploitant.

##### **4.5.3.9.3 Essai de type**

L'objet de cet essai est de vérifier que les équipements, mécaniques et électriques, de protection et de mesure, fonctionnent correctement dans toute la gamme des conditions d'exploitation selon la spécification de leur conception. Il convient normalement de mettre le convertisseur sous tension pour cet essai.

Critères d'acceptation: la méthode d'essai et son critère d'acceptation sont de la responsabilité du fabricant et doivent faire l'objet d'un accord avec l'exploitant.

##### **4.5.3.10 Essai à faible charge**

Il s'agit d'un essai individuel de série.

Cet essai consiste à vérifier que les circuits de puissance du convertisseur fonctionnent de manière appropriée. Pendant l'essai, le convertisseur complet (ou ses composants côté ligne, côté générateur ou côté charge) est alimenté selon la tension d'entrée nominale normale et est mis en fonctionnement avec un courant de sortie devant faire l'objet d'un accord (les exceptions sont définies en 5.2.2.5 et 6.2.3.2). Une charge adaptée est choisie. Cette charge peut être la charge spécifiée ou une charge de substitution telle que les résistances et les inductances. Toutes les sorties de signaux et de puissance du convertisseur doivent être vérifiées.

Si des composants sont connectés en série, la répartition correcte de leur tension doit être conforme aux tolérances spécifiées.

Cet essai est un essai de courte durée à une puissance inférieure à la puissance de sortie assignée et il n'est pas destiné à vérifier l'échauffement.

Dans le cas d'un convertisseur indirect, le convertisseur côté ligne, côté générateur ou côté charge peut être soumis à l'essai indépendamment.

Critères d'acceptation: toutes les fonctions qui sont spécifiées dans la spécification d'essai doivent être exécutées sans difficultés. Les grandeurs de tous les paramètres, qui sont énumérées pour la vérification dans la spécification d'essai, doivent se situer dans les limites spécifiées.

#### **4.5.3.11 Essai de commutation**

Il s'agit d'un essai de type.

Le présent essai est effectué pour vérifier que le convertisseur commutera le courant de sortie instantané spécifié maximal. La tension d'entrée est choisie pour appliquer les conditions les plus défavorables aux semiconducteurs (tension maximale pour les appareils de puissance à pouvoir d'extinction tels que GTO et IGBT, et tension minimale pour un circuit de thyristor à commutation forcée).

Critères d'acceptation: l'essai est déclaré satisfaisant si le courant de sortie commuté est égal ou supérieur à la valeur maximale spécifiée pour le convertisseur sans dommage sur aucun composant.

#### **4.5.3.12 Mesure du bruit acoustique**

##### **4.5.3.12.1 Généralités**

Il s'agit d'un essai de type.

##### **4.5.3.12.2 Méthodes d'essais**

La méthode est définie par l'IEC 60076-10:2001<sup>1</sup> dans laquelle le terme "transformateur" doit être remplacé par "convertisseur" et dans laquelle les Articles 3, 4, 6 (à l'exclusion de 6.2 et 6.3), 7 (à l'exclusion de 7.3), et 11 ainsi que 10.3 et l'Annexe A sont applicables.

NOTE L'IEC 60076-10:2001 spécifie la méthode de détermination du niveau de puissance acoustique. Dans le cadre de la présente norme, seule une partie de la norme IEC 60076-10:2001 relative à la méthode de mesure de la pression acoustique à 1 m de distance de la surface émissive principale est utilisée.

##### **4.5.3.12.3 Conditions d'exploitation**

Durant l'essai, le convertisseur doit être en fonctionnement. Pour un convertisseur auxiliaire, le point de fonctionnement doit être défini par la puissance de sortie assignée. S'il existe des modes de fonctionnement particuliers, par exemple un moteur-compresseur de démarrage, le mode de fonctionnement correspondant au niveau de bruit maximal sera déterminé par un essai préliminaire et doit être choisi en tant que point de fonctionnement. Pour un convertisseur de traction, le point de fonctionnement doit être convenu entre le fabricant et l'exploitant.

##### **4.5.3.12.4 Conditions particulières**

Dans certains cas, il est possible d'avoir des conditions particulières telles que:

- l'émergence de la fréquence audible fixe;
- le système de refroidissement avec plusieurs vitesses.

---

<sup>1</sup> Cette publication est disponible en anglais seulement.

Les conditions d'essais correspondantes doivent être définies par un accord entre le fabricant et l'exploitant.

#### **4.5.3.13 Essai d'échauffement**

##### **4.5.3.13.1 Généralités**

Il s'agit d'un essai de type.

Le fabricant doit définir dans la spécification d'essais de type une liste de composants dont l'échauffement doit être mesuré. L'exploitant peut modifier cette liste.

La température des composants énumérés doit être mesurée lorsque le convertisseur est soumis au profil de charge ou à des conditions équivalentes. Les conditions d'essai doivent être définies par accord entre le fabricant et l'exploitant. Pour un convertisseur auxiliaire, voir 7.5.7.

La méthode de mesure pour chaque composant de cette liste doit être spécifiée: directe (4.5.3.13.2), indirecte (4.5.3.13.3) ou par calcul par rapport à un point de référence mesuré (4.5.3.13.4). De même, un accord doit être conclu pour déterminer si l'essai doit être effectué sur une partie de circuit ou sur tout le circuit.

L'échauffement est défini par la différence de température entre la température en entrée du fluide de refroidissement au convertisseur et la température du composant concerné. Les conditions de ventilation ou les conditions de circulation d'un agent de refroidissement liquide utilisé pour cet essai doivent être conformes à celles fournies en 4.5.3.5.

Dans le cas d'un refroidissement par convection d'air naturel ou par convection supportée du fait du mouvement du véhicule, l'essai doit être effectué par simulation des conditions de refroidissement spécifiées.

Dans le cas des convertisseurs à très haute puissance dont le cycle de service ne peut pas être reproduit dans l'atelier, des essais peuvent être réalisés à charge réduite ou sur les sous-circuits (partie du convertisseur). Les méthodes de réalisation de ces essais doivent être indiquées dans la spécification d'essai de type.

La température maximale de chaque composant doit être calculée à partir des résultats de l'essai d'échauffement par extrapolation en tenant compte des différences entre les conditions de l'essai d'échauffement et les conditions d'exploitation spécifiées.

Critères d'acceptation: Cet essai est déclaré satisfaisant si la température maximale extrapolée de chaque composant ne dépasse pas la limite spécifiée.

##### **4.5.3.13.2 Mesure de température directe**

La température peut être mesurée directement à l'aide d'un capteur de température (thermomètre à résistance, thermocouple, autocollant thermosensible, caméra infrarouge, etc.) par exemple sur les éléments suivants:

- barres omnibus;
- résistances;
- condensateurs;
- transformateurs de type sec et bobines d'inductance (IEC 60310);
- jonctions de connexion;
- radiateurs.

#### 4.5.3.13.3 Mesure de la température indirecte

La température est dérivée des mesures d'autres paramètres physiques tels que la tension, le courant, la résistance, etc. Par exemple:

- la température moyenne d'un enroulement par la mesure de la variation de la résistance du courant continu;
- la température moyenne d'une résistance de freinage par la mesure de la variation de la tension et du courant.

#### 4.5.3.13.4 Méthode de calcul de la température

Avec des composants possédant une densité de puissance dissipée interne élevée, spécialement dans des conditions de surtension, la zone où la température critique peut être dépassée est souvent non accessible pour une mesure directe de la température.

Par exemple:

- la jonction des semiconducteurs de puissance (IEC 60747-15);
- la partie active des dispositifs d'arrêt de tension;
- le fil de fusion de fusibles;
- les transformateurs immergés et les bobines d'inductance (IEC 60310).

Dans de tels cas, la température est directement mesurée à un point proche de la zone critique.

La différence de température entre ce point et la zone critique doit être calculée. Le calcul est fondé sur les données fournies par le fabricant du composant ou par le fabricant du convertisseur qui doit être capable de fournir les résultats d'essai pour confirmer ces données.

#### 4.5.3.14 Détermination des pertes électriques

Il s'agit d'un essai de type.

Cet essai est exécuté dans le but de calculer le rendement énergétique. Les pertes de puissance du convertisseur peuvent être déterminées par calcul ou par mesure. A la demande de l'exploitant, les arguments conduisant au choix de la méthode doivent être fournis par le fabricant.

Pour les parties de l'équipement déjà soumises à l'essai et d'un usage courant, il est permis de remplacer l'essai par le calcul fondé sur les mesures précédentes.

Critères d'acceptation: le rendement doit être conforme aux exigences formulées en 4.3.4.4.3.

NOTE Cet essai n'est pas applicable aux convertisseurs pour lesquels il n'est pas possible de vérifier le rendement énergétique par mesure à cause de la précision limitée des mesures. Cela est généralement valide pour les convertisseurs sans filtres ou transformateurs intégrés.

#### 4.5.3.15 Essai de surtension d'alimentation et énergie transitoire

Il s'agit d'un essai de type.

On doit confirmer que le convertisseur est en mesure de résister à la surtension et aux surtensions d'énergie transitoire, telles que spécifiées en 4.2.7.

Si l'exploitant en convient, cet essai peut être remplacé par un calcul.

#### **4.5.3.16 Variations rapides de charge**

Il s'agit d'un essai de type. L'exécution de l'essai fait l'objet d'un accord entre le fabricant et l'exploitant

L'autoprotection, le cas échéant, doit être en fonctionnement.

La tension d'essai doit être choisie par un accord entre le fabricant et l'exploitant.

Les conditions d'essai sont décrites en 5.1.3.5, 5.2.2.7, et 7.5.8.

Deux types d'essais peuvent être exécutés:

- essai de court-circuit;
- essai de coupure de charge.

Les critères d'acceptation doivent être indiqués dans la spécification de l'essai.

#### **4.5.3.17 Examen pour les exigences de sécurité**

Il s'agit d'un essai de type.

L'inspection est prévue pour vérifier que la conception du convertisseur satisfait aux normes de sécurité qui sont spécifiées dans le contrat. Les méthodes de réalisation de l'examen doivent être spécifiées et il convient qu'elles fassent l'objet d'un accord entre le fabricant et l'exploitant.

Il convient de prêter attention au fait que des tensions dangereuses peuvent être présentes dans les condensateurs pendant un certain temps après la déconnexion du convertisseur. Les exigences minimales sont fournies dans l'IEC 61991. La spécification doit indiquer les dispositions applicables y compris les critères d'acceptation.

#### **4.5.3.18 Essais de résistance aux vibrations et aux chocs**

Il s'agit d'un essai de type.

Voir l'IEC 61373 et 4.2.5.1.

Si une masse de convertisseur est supérieure à 500 kg, on peut ne soumettre à l'essai que le sous-ensemble. Pour un convertisseur de masse supérieure à 500 kg, un essai de chocs et de vibrations peut être convenu entre le fabricant et l'exploitant (essai de type facultatif). Si aucun essai de chocs et de vibrations n'est réalisé, un calcul de stabilité de FEM doit être fourni par le fabricant.

#### **4.5.3.19 Essai de la compatibilité électromagnétique (CEM)**

Il s'agit d'un essai de type.

Les essais de compatibilité électromagnétique du convertisseur sont spécifiés dans l'IEC 62236-3-2.

#### **4.5.3.20 Essai de la variation de tension de ligne par palier**

Il s'agit d'un essai de type. L'exécution de l'essai fait l'objet d'un accord entre le fabricant et l'exploitant

Cet essai est prévu pour vérifier la performance convenue du convertisseur sous des variations soudaines de tension de ligne comme spécifié en 4.2.7.3.2. Si l'exploitant en convient, cet essai peut être remplacé par un calcul.

Critères d'acceptation: les écarts de courants et de tensions, énumérés pour la vérification dans la spécification d'essai, ne doivent pas se situer en dehors des tolérances spécifiées.

#### **4.5.3.21 Essai d'interruption d'alimentation de courte durée**

Il s'agit d'un essai de type. L'exécution de l'essai fait l'objet d'un accord entre le fabricant et l'exploitant.

Cet essai est prévu pour vérifier qu'une interruption d'alimentation de la tension de ligne de toute durée n'endommage pas le convertisseur et que la consommation de courant demeure dans les limites spécifiées, indépendamment des conditions de charge du convertisseur. Il convient que les conditions d'essai fassent l'objet d'un accord entre le fabricant et l'exploitant. Si l'exploitant en convient, cet essai peut être remplacé par un calcul.

Critères d'acceptation: les écarts de courants et de tensions, énumérés pour la vérification dans la spécification d'essai, ne doivent pas se situer en dehors des tolérances spécifiées.

#### **4.5.3.22 Partage du courant**

Il s'agit d'un essai de type. L'exécution de l'essai fait l'objet d'un accord entre le fabricant et l'exploitant.

L'objet de cet essai est de vérifier la répartition correcte du courant entre des sous-ensembles connectés en parallèle. La mesure de la répartition du courant entre des dispositifs à semiconducteurs directement connectés en parallèle dans un sous-ensemble ne fait pas partie de l'essai de type du convertisseur.

Il est autorisé de remplacer la connexion normale à ces composants par une connexion spéciale comportant un capteur de courant.

Critères d'acceptation: l'essai est réussi si la répartition de courant est supérieure ou égale aux tolérances spécifiées.

### **4.5.4 Défaillances de composants pendant les essais de type**

Si des défaillances de composants se produisent pendant n'importe lequel des essais de type, le fabricant doit remplacer les composants défaillants à ses propres frais et, avant que l'essai concerné soit répété, le fabricant doit effectuer une investigation pour vérifier que la spécification de ce composant est conforme à l'application. Il n'est pas nécessaire de répéter l'essai, si la défaillance du composant mentionné ci-dessus n'est manifestement pas attribuable à l'essai de type concerné. Si aucune défaillance ne se produit au cours de l'essai répété, l'essai de type doit être considéré comme réussi.

Si, cependant, une défaillance supplémentaire se produit, l'essai de type doit être considéré comme non réussi et le fabricant doit rechercher la cause de la défaillance et corriger la conception avant que l'essai de type ne puisse être réalisé.

## **5 Convertisseurs de traction direct**

### **5.1 Convertisseurs à commutation de ligne pour moteurs à courant continu**

#### **5.1.1 Généralités**

Le convertisseur est un redresseur à commutation de ligne (avec thyristors) et peut être connecté à une ligne, un générateur ou transformateur de ligne.

## 5.1.2 Caractéristiques

### 5.1.2.1 Interface entre le moteur et le convertisseur

Les caractéristiques des moteurs de traction sont traitées dans l'IEC 60349-1.

Il est nécessaire de déclarer dans une spécification particulière l'interface entre le moteur et le convertisseur y compris les caractéristiques suivantes.

Les valeurs caractéristiques des grandeurs de sortie du convertisseur (valeurs assignées, variations, etc.):

- courant direct assigné;
- courant direct maximal tenant compte du profil de charge;
- tension à courant continu (tension directe à vide, tension directe assignée);
- le résidu harmonique de la tension à courant continu (en particulier dans des conditions de commande où les valeurs élevées de composants d'ordre faible sont attendues);
- le taux d'ondulation (courant) à courant continu, pour les conditions de commande donnant les valeurs maximales relatives aux inductances de lissage spécifiées.

Les valeurs caractéristiques du moteur (valeurs assignées, variations, etc.):

- puissance assignée;
- tension ou f.é.m. (diverses vitesses pour la traction et le freinage);
- courant;
- ondulation maximale admissible, tenant compte du profil de charge;
- type de moteur à courant continu (série, compound, etc.);
- impédance ou schéma équivalent en fonction de la fréquence et du courant;
- caractéristiques inducteurs;
- tension entre les bornes de moteur et la terre.

### 5.1.2.2 Interface entre le transformateur principal et le convertisseur

Les caractéristiques des transformateurs principaux sont traitées dans l'IEC 60310.

Il est nécessaire d'indiquer dans une spécification particulière, l'interface entre le transformateur et le convertisseur y compris les caractéristiques suivantes:

- les caractéristiques du réseau d'alimentation définies en 4.2.7;
- les valeurs caractéristiques des grandeurs d'entrée à courant alternatif du convertisseur (valeurs assignées, variations, tolérances, etc.):
  - le nombre d'enroulements du convertisseur;
  - la tension à vide du côté convertisseur;
  - le courant alternatif assigné du côté convertisseur;
  - le courant alternatif maximal du côté convertisseur, tenant compte du profil de charge;
  - l'inductance de commutation;
  - la fréquence de la tension de ligne;
  - les composantes harmoniques du courant alternatif dans des conditions spécifiées;
  - le courant de court-circuit après une défaillance de commutation.

### 5.1.3 Essais

#### 5.1.3.1 Généralités

Aucune modification du circuit de puissance du convertisseur n'est permise, mais la méthode de pilotage d'essai peut être modifiée en assurant au moins la même contrainte pour le convertisseur que dans l'application prévue. Un équipement de régulation du banc d'essai peut être utilisé à condition que le fonctionnement du convertisseur ne soit pas modifié.

Les essais spécifiés dans ce paragraphe sont ajoutés à ceux spécifiés en 4.5.

Pour ces essais, l'inductance de lissage doit être considérée comme faisant partie du convertisseur.

Les essais suivants fournis dans le Tableau 4 sont des essais de type et peuvent être effectués dans l'atelier ou sur le véhicule.

**Tableau 4 – Essais complémentaires pour des convertisseurs de traction directs**

Nature des essais	Emplacement	Essai de type	Essai individuel de série	Paragraphe
Mesure de la régulation de la tension directe	W.S./V	X		5.1.3.2
Essai de courant d'ondulation de charge	W.S./V	X		5.1.3.3
Essai de court-circuit	W.S./V	X <sup>a</sup>		5.1.3.4
Essai de coupure de charge	W.S./V	X <sup>a</sup>		5.1.3.5
Essai d'interruption d'alimentation de courte durée en mode par récupération	W.S./V	X		5.1.3.6
W.S./V: L'essai peut être effectué dans l'atelier (workshop) ou sur le véhicule.				
<sup>a</sup> L'exécution de l'essai est soumise à un accord entre le fabricant et l'exploitant.				

#### 5.1.3.2 Mesure de la régulation de la tension directe

Il s'agit d'un essai de type.

La tension est mesurée directement aux bornes du convertisseur en excluant les chutes de tension de la réactance de lissage, et à l'impédance et à la tension de ligne spécifiées.

Critères d'acceptation: la régulation de tension directe doit se situer dans les limites spécifiées par le fabricant.

#### 5.1.3.3 Essai de courant d'ondulation de charge

Il s'agit d'un essai de type.

Pour la tension de ligne spécifiée et la charge spécifiée, on doit mesurer, en des points de fonctionnement correspondant au courant d'ondulation maximal, la valeur de la composante continue, la valeur efficace et la valeur minimale et maximale du courant d'ondulation. L'essai doit être effectué avec l'impédance de lissage spécifiée. Le moteur peut être remplacé par une source de tension et une impédance appropriées.

Critères d'acceptation: Cet essai est déclaré réussi si la valeur du courant d'ondulation est inférieure ou égale à la valeur caractéristique spécifiée en 5.1.2.1.

#### 5.1.3.4 Essai de court-circuit

Il s'agit d'un essai de type. L'exécution de l'essai fait l'objet d'un accord entre le fabricant et l'exploitant.

Cet essai est effectué pour vérifier la protection du convertisseur contre les surintensités (par exemple, le contournement du moteur).

La spécification d'essai est rédigée par le fabricant.

L'essai doit être effectué avec les éléments suivants:

- la tension de ligne assignée la plus élevée;
- l'impédance d'entrée équivalente;
- le courant maximal;
- tous les appareils de protection nécessaires (composants installés dans le véhicule ou possédant les mêmes caractéristiques de protection);
- une charge simulant le moteur à courant continu y compris la réactance de lissage efficace;
- un appareil de court-circuit simulant le chemin de court-circuit.

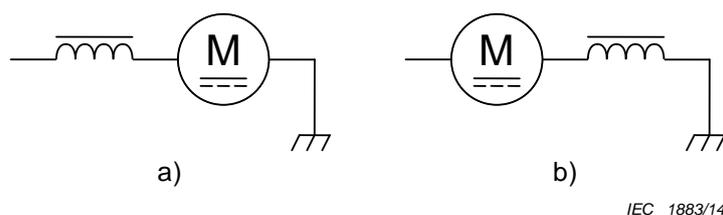
Pour des moteurs en série, il est possible d'avoir les connexions illustrées dans la Figure 2a) et 2b). Dans le cas de la Figure 2a), le contournement affecte uniquement l'enroulement d'induit et de ce fait seule la résistance de la charge simulée dans la Figure 2c) doit être court-circuitée. Dans le cas de la Figure 2b), toute la charge simulée doit être court-circuitée comme l'illustre la Figure 2d).

Une fois que le courant de la charge simulée a atteint les conditions continues, l'appareil de court-circuit doit être fermé. Le courant de défaut résultant doit être détecté et éliminé par le dispositif de protection contre le défaut dans le temps total spécifié pour le fonctionnement de ce dispositif.

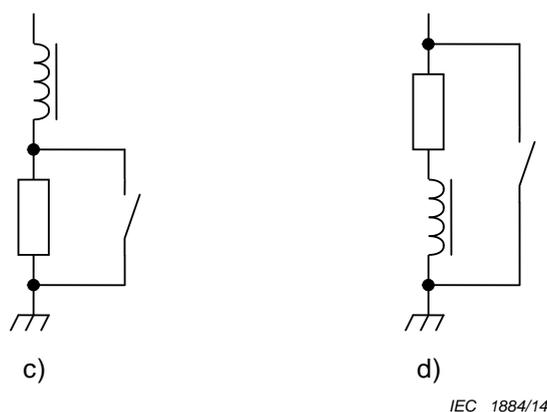
Sauf spécification contraire, les fusibles, s'ils existent, ne doivent pas être détruits durant cet essai.

Cet essai doit être effectué une fois et la forme d'onde de surintensité doit être enregistrée.

Critères d'acceptation: l'essai est déclaré réussi si aucun composant n'est endommagé pendant l'essai.



Figures 2a) et 2b) – Connexions induit/inducteur de moteurs série



Figures 2c) et 2d) – Connexion de court-circuit de charge simulée

### Figure 2 – Configuration des moteurs série

#### 5.1.3.5 Essai de coupure de charge

Il s'agit d'un essai de type. L'exécution de l'essai fait l'objet d'un accord entre le fabricant et l'exploitant

Cet essai est destiné à vérifier que le convertisseur ne subira aucun dommage lorsque la charge est déconnectée de manière soudaine. L'équipement de protection doit être en fonctionnement.

Cet essai doit être effectué avec une tension correspondant à la tension de ligne nominale.

Les formes d'onde de la tension d'entrée et de sortie doivent être enregistrées.

Critères d'acceptation: aucun dommage pendant cet essai.

#### 5.1.3.6 Essai d'interruption d'alimentation de courte durée en mode par récupération

Il s'agit d'un essai de type.

Le but de l'essai d'interruption d'alimentation de courte durée est décrit en 4.5.3.21. On doit vérifier particulièrement que, indépendamment du temps d'interruption, ni la tension du moteur ni le courant du moteur ne doivent dépasser une valeur spécifiée.

Critères d'acceptation: aucun dommage pendant cet essai, aucun des courants ni aucune des tensions ne doivent dépasser les valeurs spécifiées.

## 5.2 Hacheurs pour moteurs à courant continu

### 5.2.1 Caractéristiques

#### 5.2.1.1 Généralités

Les caractéristiques du réseau d'alimentation sont définies en 4.2.7.

Les caractéristiques des moteurs de traction sont traitées dans l'IEC 60349-1.

#### 5.2.1.2 Interface entre le moteur et le convertisseur

Il est nécessaire d'indiquer dans une spécification particulière convenue entre les fabricants de moteurs et de convertisseurs, l'interface entre le moteur et le convertisseur y compris les caractéristiques suivantes:

- Les valeurs caractéristiques des grandeurs de sortie du convertisseur (valeurs assignées, variations, etc.):
  - impédance supplémentaire (inductances de lissage);
  - courant assigné;
  - courant maximal, tenant compte du profil de charge;
  - courant de crête;
  - tension;
  - fréquence;
  - profil de charge;
- les valeurs caractéristiques du moteur (valeurs assignées, variations, etc.):
  - puissance assignée;
  - tension ou f.é.m. (diverses vitesses pour la traction ou le freinage);
  - courant;
  - ondulation maximale admissible, tenant compte du profil de charge;
  - type de moteur à courant continu (série, compound, etc.);
  - impédance ou schéma équivalent en fonction de la fréquence et du courant;
  - caractéristiques inducteurs;
  - tension entre les bornes de moteur et la terre.

### 5.2.2 Essais

#### 5.2.2.1 Généralités

Aucune modification du circuit de puissance du convertisseur n'est permise, mais la méthode de pilotage d'essai peut être modifiée en assurant au moins la même contrainte pour le convertisseur que dans l'application prévue. Un équipement de régulation du banc d'essai peut être utilisé à condition que le fonctionnement du convertisseur ne soit pas modifié.

Les essais spécifiés dans ce paragraphe sont ajoutés à ceux spécifiés en 4.5.

Pour ces essais, l'inductance de lissage doit être considérée comme faisant partie du convertisseur.

Les essais suivants fournis dans le Tableau 5 peuvent être effectués dans l'atelier ou sur le véhicule.

**Tableau 5 – Essais supplémentaires pour les hacheurs  
pour les moteurs à courant continu**

Nature des essais	Emplacement	Essai de type	Essai individuel de série	Paragraphe
Essai de tension de sortie	W.S./V	X		5.2.2.2
Tension maximale de sortie	W.S.	X		5.2.2.3
Tension minimale de sortie	W.S.	X		5.2.2.4
Essai à faible charge	W.S.		X	5.2.2.5
Essai de courant d'ondulation de charge	W.S./V	X		5.2.2.6
Essai de coupure de charge	W.S.	X <sup>a</sup>		5.2.2.7
Essai de court-circuit	W.S./V	X <sup>a</sup>		5.2.2.8
W.S.: L'essai doit être effectué dans l'atelier (workshop).				
W.S./V: L'essai peut être effectué dans l'atelier (workshop) ou sur le véhicule.				
<sup>a</sup> L'exécution de l'essai est soumise à un accord entre le fabricant et l'exploitant.				

#### 5.2.2.2 Essai de tension de sortie

Il s'agit d'un essai de type.

La tension est mesurée directement aux bornes du convertisseur en excluant les chutes de tension de l'inductance de lissage.

Critères d'acceptation: l'essai est déclaré réussi lorsque la tension de sortie demeure dans les limites spécifiées dans des conditions spécifiées.

#### 5.2.2.3 Tension maximale de sortie

Il s'agit d'un essai de type.

Pour la tension d'entrée minimale et le courant de sortie maximal, la tension de sortie moyenne du convertisseur doit correspondre à la valeur déclarée dans des conditions spécifiques (par exemple, la fréquence, le temps d'arrêt minimal, etc.).

Critères d'acceptation: la tension de sortie doit être égale ou supérieure à la valeur spécifiée.

#### 5.2.2.4 Tension minimale de sortie

Il s'agit d'un essai de type.

Pour la tension d'entrée maximale et le courant de sortie minimal, la tension de sortie moyenne du convertisseur doit avoir une valeur égale ou inférieure à la valeur déclarée minimale dans des conditions spécifiées (par exemple, la fréquence, le temps de fonctionnement minimal, etc.).

Critères d'acceptation: la tension de sortie doit être égale ou inférieure à la valeur spécifiée.

#### 5.2.2.5 Essai à faible charge

Il s'agit d'un essai de routine.

Le but de l'essai à faible charge est décrit en 4.5.3.10. De plus, pour un hacheur polyphasé chaque phase peut être soumise à l'essai séparément.

Critères d'acceptation: voir 4.5.3.10.

#### **5.2.2.6 Essai de courant d'ondulation de charge**

Il s'agit d'un essai de type.

Pour la tension d'alimentation spécifiée et la charge spécifiée, on doit mesurer, en des points de fonctionnement correspondant à l'ondulation maximale, la valeur de la composante continue, la valeur efficace de la composante d'ondulation et la valeur crête à crête de l'ondulation.

L'essai doit être réalisé avec l'inductance de lissage spécifiée.

Critères d'acceptation: l'essai est considéré comme satisfaisant si la valeur du courant d'ondulation est égale ou inférieure à la valeur donnée en 5.2.1.2.

Pour les hacheurs polyphasés, cet essai peut être remplacé par le calcul, si cela est convenu entre le fabricant et l'exploitant.

#### **5.2.2.7 Essai de coupure de charge**

Il s'agit d'un essai de type. L'exécution de l'essai fait l'objet d'un accord entre le fabricant et l'exploitant

Cet essai est destiné à vérifier que le convertisseur ne subira aucun dommage lorsque la charge est déconnectée de manière soudaine. L'équipement de protection doit être en fonctionnement.

Cet essai doit être effectué avec une tension correspondant à la tension de ligne nominale.

Lorsque le courant dans l'inductance de filtre de ligne a atteint sa valeur maximale (condition correspondant au courant de charge maximal avec la valeur maximale du rapport de conduction), la coupure de la charge sera réalisée par un blocage rapide du convertisseur à l'aide de son équipement de commande.

Les formes d'onde de la tension d'entrée et de sortie doivent être enregistrées. Si des surtensions dangereuses sont attendues sur certains composants, ces tensions doivent également être enregistrées.

Critères d'acceptation: la valeur maximale de la surtension doit être inférieure ou égale à la valeur spécifiée.

#### **5.2.2.8 Essai de court-circuit**

Il s'agit d'un essai de type. L'exécution de l'essai fait l'objet d'un accord entre le fabricant et l'exploitant.

Cet essai est effectué pour vérifier la protection du convertisseur contre les surintensités (par exemple, le contournement du moteur).

L'essai doit être effectué avec les éléments suivants:

- la tension de ligne assignée la plus élevée;
- l'impédance d'entrée équivalente;
- le courant maximal;
- tous les appareils de protection nécessaires (composants installés dans le véhicule ou possédant les mêmes caractéristiques de protection);

- une charge simulant le moteur à courant continu y compris toute la résistance de lissage efficace;
- un appareil de court-circuit simulant le chemin de court-circuit.

Par exemple, si le convertisseur est prévu pour résister à un tel court-circuit, un dispositif de court-circuit doit être raccordé en parallèle avec la charge conformément à la Figure 2. Pour des moteurs en série, il est possible d'avoir les connexions illustrées dans les Figures 2a) et 2b). Dans le cas de la Figure 2a), le contournement affecte uniquement l'enroulement d'induit et de ce fait seule la résistance de la charge simulée dans la Figure 2c) doit être court-circuitée. Dans le cas de la Figure 2b), la charge simulée dans sa totalité doit être court-circuitée comme l'illustre la Figure 2d).

Une fois que le courant de la charge simulée a atteint les conditions continues, l'appareil de court-circuit doit être fermé. Le courant de défaut résultant doit être détecté et éliminé par le dispositif de protection contre le défaut dans le temps total spécifié pour le fonctionnement de ce dispositif.

Sauf spécification contraire, les fusibles, s'ils existent, ne doivent pas être détruits durant cet essai.

Cet essai doit être effectué une fois et la forme d'onde de surintensité doit être enregistrée.

Critères d'acceptation: l'essai est déclaré réussi si aucun composant n'est endommagé.

### **5.3 Convertisseurs polyphasés pour moteurs à courant alternatif (onduleurs)**

#### **5.3.1 Généralités**

Les moteurs de traction polyphasés peuvent être tournants ou linéaires. Les convertisseurs pour les moteurs linéaires à stator fixe sont exclus.

#### **5.3.2 Caractéristiques**

##### **5.3.2.1 Généralités**

Les caractéristiques des moteurs de traction sont traitées dans l'IEC 60349-2 et l'IEC 60349-4. Les échanges d'informations entre le fabricant du moteur, le fabricant du convertisseur et celui du dispositif de commande sont spécifiés dans l'IEC 60349-2 et l'IEC 60349-4.

##### **5.3.2.2 Interfaces entre le moteur et le convertisseur (onduleur)**

L'interface ou les interfaces entre le moteur et le convertisseur doivent être définies dans une spécification particulière, convenue entre les fabricants de moteurs et de convertisseurs, qui comprend les éléments suivants:

- harmonique de tension ou de courant qui ont une influence sur les performances du moteur (par des pertes de puissance additionnelles, l'ondulation de couple, etc.);
- caractéristiques électriques du moteur (son schéma de circuit équivalent, à la fréquence fondamentale et son inductance pour le calcul  $di/dt$ , le courant magnétisant, les courants harmoniques, etc.);
- profil de charge;
- la puissance de sortie assignée de l'onduleur;
- la plage de fréquence fondamentale et modulation;
- la tension de sortie de l'onduleur incluant la tension de crête répétitive, la tension entre les bornes d'onduleur et la masse, le taux d'augmentation de tension;
- courant assigné;
- la tension entre les bornes de moteur et la masse;

- le comportement du moteur y compris les engrenages lorsqu'il existe un court-circuit aux bornes du moteur.

Ces quantités doivent être définies pour chaque mode de fonctionnement.

### **5.3.3 Essais**

#### **5.3.3.1 Généralités**

Aucune modification du circuit de puissance du convertisseur n'est permise, mais la méthode de pilotage d'essai peut être modifiée en assurant au moins la même contrainte pour le convertisseur que dans l'application prévue. Un équipement de régulation du banc d'essai peut être utilisé à condition que le fonctionnement du convertisseur ne soit pas modifié.

Les essais spécifiés dans ce paragraphe sont ajoutés à ceux spécifiés en 4.5.

#### **5.3.3.2 Essai de commutation supplémentaire**

Il s'agit d'un essai de type.

Cet essai est exécuté dans le but de vérifier la capacité de commutation pour les temps de "conduction" et "d'extinction" minimum.

Généralement, pour simuler les conditions les plus défavorables, il est nécessaire de choisir les conditions d'entrée et de sortie différentes pour les essais de "conduction" et d' "extinction".

Critères d'acceptation: cet essai est considéré comme satisfaisant si les valeurs mesurées des paramètres d'exploitation de toutes les parties du circuit de commutation (semiconducteur de puissance, circuit d'amortissement, inductance, etc.) sont en conformité avec les valeurs spécifiées.

## **6 Convertisseurs de traction indirects**

### **6.1 Généralités**

Le présent article s'applique aux convertisseurs indirects alimentant des moteurs à courant continu ou polyphasés. Un convertisseur de traction indirect est composé d'une section d'entrée appelée convertisseur de ligne et une section de sortie appelée convertisseur de moteur (onduleur).

### **6.2 Convertisseur de ligne**

#### **6.2.1 Généralités**

Un convertisseur de ligne est connecté à la ligne ou à un transformateur de ligne ou encore à un générateur et crée une liaison intermédiaire, principalement pour alimenter un convertisseur de traction.

La liaison intermédiaire est une partie fonctionnelle de la ligne du convertisseur.

Si un convertisseur auxiliaire est alimenté par le convertisseur de ligne, 7.2.2.2 est applicable au convertisseur auxiliaire.

#### **6.2.2 Caractéristiques**

##### **6.2.2.1 Caractéristiques d'entrée**

Les caractéristiques du réseau d'alimentation sont définies en 4.2.7.

Dans le cas d'une alimentation à courant alternatif monophasé, le convertisseur peut être utilisé pour contrôler le facteur de puissance et le résidu harmonique du côté courant alternatif; le facteur de puissance et le résidu harmonique doivent être spécifiés dans la spécification. L'interface entre le transformateur et le convertisseur doit être spécifiée comme indiqué en 5.1.2.2, et les caractéristiques du transformateur, y compris son inductance de fuite et son inductance mutuelle, doivent être spécifiées conformément à l'IEC 60310.

#### **6.2.2.2 Caractéristiques de sortie**

Les grandeurs de sortie relatives au type de liaison intermédiaire doivent être spécifiées.

Il est nécessaire de spécifier en tant que grandeurs additionnelles, les valeurs assignées, la variation, les valeurs maximales et minimales ainsi que le taux d'ondulation correspondant au type de liaison intermédiaire.

Les composantes à courant continu de ces valeurs sont les valeurs d'entrée du convertisseur de traction qui est connecté à la liaison intermédiaire.

Un convertisseur auxiliaire peut être alimenté à partir de la sortie du convertisseur de ligne principal.

#### **6.2.2.3 Exigences en cas de court-circuit**

L'exploitant doit spécifier dans la spécification si le convertisseur est résistant au court-circuit ou non.

Le comportement du convertisseur en cas de court-circuit doit être décrit dans la spécification.

#### **6.2.2.4 Choix de la tension d'isolement assignée**

Si un transformateur d'isolement est prévu, le niveau de tension de sortie doit être considéré comme pertinent pour la conception et la sécurité du côté sortie.

Si un transformateur d'isolement n'est pas prévu, le niveau de tension d'entrée doit être considéré comme pertinent pour la conception et l'isolation.

Conformément à l'IEC 61991, le fabricant peut sélectionner un niveau de tension inférieur (par exemple, le niveau de sortie) en prenant en considération les points suivants:

- la conception et la protection du convertisseur (court-circuiteur ou autres équipements);
- les niveaux d'isolement de la charge;
- les règles de sécurité.

Cela doit faire l'objet d'un accord entre le fabricant et l'exploitant.

### **6.2.3 Essais**

#### **6.2.3.1 Généralités**

Le convertisseur de ligne peut faire l'objet d'un essai séparé à partir du convertisseur de moteur. Le paragraphe 5.3.3.1 s'applique à 6.2.3.2.

#### **6.2.3.2 Essai à faible charge**

Il s'agit d'un essai de routine.

Pour l'exécution de l'essai et les critères d'acceptation, voir 4.5.3.10.

Si le convertisseur de ligne est essayé indépendamment du système de convertisseur, le convertisseur de ligne peut être alimenté soit à partir du côté entrée soit du côté sortie.

Si le convertisseur de ligne est alimenté par le côté sortie, le côté ligne peut être simulé par une charge de substitution.

### **6.2.3.3 Essai d'échauffement**

Il s'agit d'un essai de type.

Pour l'exécution de l'essai et les critères d'acceptation, voir 4.5.3.13.

Si un système de refroidissement commun est prévu, l'essai d'échauffement doit être effectué avec le convertisseur indirect complet.

S'il n'est pas possible de reconstituer tout le convertisseur indirect pour cet essai, les conditions de refroidissement pour chaque partie du convertisseur indirect doivent être les mêmes que dans l'application.

## **6.3 Convertisseur de moteur**

### **6.3.1 Convertisseur en cascade pour moteurs à courant continu (hacheur ou redresseur)**

Les paragraphes 5.1 et 5.2 s'appliquent au présent paragraphe.

### **6.3.2 Convertisseur en cascade pour moteurs à courant alternatif (onduleur)**

Le paragraphe 5.3 s'applique au présent paragraphe.

## **7 Convertisseurs auxiliaires**

### **7.1 Généralités**

Un convertisseur auxiliaire peut être soit un convertisseur direct soit indirect, en raison de ses caractéristiques d'entrée.

### **7.2 Caractéristiques**

#### **7.2.1 Conditions de démarrage des convertisseurs auxiliaires**

Le convertisseur auxiliaire est le plus souvent le premier à fonctionner, il est donc nécessaire de spécifier ses conditions de démarrage.

Les principaux modes de démarrage sont les suivants:

- Démarrage direct sous la tension d'entrée  
L'énergie nécessaire au démarrage du convertisseur est fournie par la tension d'entrée du convertisseur lui-même.
- Démarrage par batterie principale du véhicule  
L'énergie nécessaire au démarrage du convertisseur est fournie par la batterie principale du véhicule.
- Démarrage sur batterie auxiliaire  
L'énergie nécessaire au démarrage du convertisseur est fournie par une batterie auxiliaire spécifique au convertisseur.

Le mode de démarrage doit faire l'objet d'un accord entre le fabricant et l'exploitant.

## **7.2.2 Conditions et caractéristiques d'entrée**

### **7.2.2.1 Connexion à la ligne**

Le convertisseur est connecté directement à l'alimentation de ligne ou à un enroulement auxiliaire du transformateur principal; de ce fait les caractéristiques de la tension d'entrée sont celles qui sont définies en 4.2.7. Les caractéristiques d'entrée sont fournies conformément à 4.3.4.4.1.

Si le convertisseur n'est pas relié directement à la ligne, toutes les caractéristiques de l'alimentation électrique doivent être spécifiées.

### **7.2.2.2 Connexion au convertisseur de traction**

Le convertisseur auxiliaire est connecté à une liaison intermédiaire, ou au filtre d'entrée principal. Toutes les caractéristiques d'entrée (conditions continues et transitoires) doivent être spécifiées.

### **7.2.2.3 Connexion à une barre omnibus alimentée par un autre convertisseur auxiliaire ou par une batterie**

Les caractéristiques d'entrée (conditions continues et transitoires) doivent être spécifiées (voir 4.3.4.4.1).

## **7.2.3 Caractéristiques de sortie**

### **7.2.3.1 Généralités**

Un convertisseur auxiliaire peut posséder une sortie ou des sorties multiples.

### **7.2.3.2 Liste des caractéristiques de sortie**

Un convertisseur auxiliaire peut délivrer plusieurs tensions de sortie de nature différente.

Pour chaque sortie, au moins les caractéristiques suivantes doivent être spécifiées:

- la sortie à courant continu:
  - puissance permanente maximale (à une tension spécifiée);
  - tension et tolérance;
  - dans le cas d'une charge de batterie: caractéristiques de charge (par exemple limitation du courant de charge, tension survoltée, coefficient de compensation de température de la tension de charge);
  - courant continu et ondulation de la tension dans des conditions assignées;
  - surcharge admissible;
  - courant de crête instantané maximal;
- la sortie à courant alternatif:
  - puissance permanente maximale (puissance apparente et facteur de puissance fondamentale ou puissance active);
  - tension fondamentale et tolérance statique;
  - fréquence et tolérance statique;
  - taux de déformation harmonique totale de la tension dans les conditions spécifiées;
  - surcharge admissible;
  - courant de crête instantané maximal;
  - tension en mode commun;

- dans le cas où il n'y a aucun filtre de sortie sinusoïdal:
  - a) spectre harmonique de tension et valeur efficace totale dans les conditions spécifiées;
  - b) tension de crête maximale;
  - c) taux maximal d'augmentation de tension instantanée;
- possibilité de charge asymétrique et de charge du point neutre ou de connexion neutre.

### 7.2.3.3 Puissance de sortie

Un convertisseur auxiliaire est conçu pour une puissance permanente de sortie maximale et/ou pour un profil de charge. En complément à la puissance permanente maximale, le convertisseur auxiliaire peut avoir une capacité de surcharge. Cette surcharge est définie par un courant maximal fourni pendant un temps spécifié.

Les puissances assignées d'un convertisseur auxiliaire doivent être conformes aux caractéristiques suivantes:

- puissance de sortie continue maximale (puissance assignée) ou profil de charge;
- surcharge de longue durée;
- surcharge de courte durée.

Il convient que l'exploitant fournisse un catalogue de toutes les charges et de leur service au fabricant du convertisseur de puissance auxiliaire afin de permettre un calibrage adapté. Les séquences de démarrage de la charge et les stratégies de gestion des défaillances doivent être développées de sorte à minimiser les exigences en termes de puissance.

Il convient que l'exploitant fournisse les informations suivantes pour les conditions normales et de surcharge de longue durée, hivernales et estivales:

- histogramme des températures ambiantes extérieures du convertisseur (ou du fluide de refroidissement);
- type de charge (moteur de compresseur, ventilateur, charge non linéaire, etc.), tension, mono- ou triphasé;
- charge de rotor bloqué (kVA, facteur de puissance);
- charge en conditions continues (kVA, facteur de puissance);
- service (court terme, long terme);
- séquence de démarrage.

### 7.2.3.4 Commande de tension et de fréquence

La tension de sortie à courant alternatif du convertisseur peut correspondre aux deux types suivants:

- à fréquence fixe;
- à fréquence variable: dans ce cas, des caractéristiques de commande supplémentaires doivent être spécifiées, telles que:
  - la plage de variation de fréquence;
  - si la fréquence varie de façon continue ou par pas;
  - la relation entre la tension et la fréquence;
  - le temps de rampe.

## 7.3 Protection contre les courts-circuits

L'exploitant doit spécifier dans la spécification si le convertisseur est résistant au court-circuit ou non.

Le comportement du convertisseur en cas de court-circuit doit être décrit dans la spécification.

#### 7.4 Choix de la tension d'isolement assignée

Si un transformateur d'isolement est prévu, le niveau de tension de sortie doit être considéré comme pertinent pour la conception et la sécurité du côté sortie.

Si un transformateur d'isolement n'est pas prévu, le niveau de tension d'entrée doit être considéré comme pertinent pour la conception et la sécurité.

Conformément à l'IEC 61991, le fabricant peut sélectionner un niveau de tension inférieur (par exemple le niveau de sortie) en prenant en considération les points suivants:

- la conception et la protection du convertisseur (court-circuiteur ou autres équipements);
- les niveaux d'isolement de la charge;
- les règles de sécurité.

Cela doit faire l'objet d'un accord entre le fabricant et l'exploitant.

### 7.5 Essais

#### 7.5.1 Généralités

En complément aux essais énumérés dans le Tableau 3, les essais suivants doivent être effectués.

Tous les essais supplémentaires figurant dans le Tableau 6 doivent être effectués avec une unité de commande de la production en série.

**Tableau 6 – Essais supplémentaires pour les convertisseurs auxiliaires**

Nature des essais	Emplacement	Essai de type	Essai individuel de série	Paragraphe
Essais des caractéristiques de sortie	W.S.	X		7.5.2
Essai de démarrage et de redémarrage	W.S.	X		7.5.3
Essai de court-circuit	W.S. <sup>a</sup>	X		7.5.4
Vérification des plages de tensions et de fréquences	W.S.	X		7.5.5
Essai de capacité de surcharge	W.S.	X		7.5.6
Essai d'échauffement	W.S.	X		7.5.7
Essai de coupure de charge	W.S.	X		7.5.8
W.S.: L'essai doit être effectué dans l'atelier (workshop).				
<sup>a</sup> Si le convertisseur est résistant aux courts-circuits, cet essai doit être effectué. Cet essai doit démontrer que le comportement du convertisseur est conforme aux valeurs spécifiées en 7.2.				

#### 7.5.2 Essais des caractéristiques de sortie

Il s'agit d'un essai de type.

Cet essai est effectué pour vérifier que les caractéristiques électriques suivantes (si applicables) sont conformes aux conditions d'essai convenues:

- la sortie à courant continu:
  - tension et tolérance;
  - dans le cas d'une charge de batterie: caractéristiques de charge (par exemple limitation du courant de charge, tension survoltée, coefficient de compensation de température de la tension de charge);

- courant continu et ondulation de la tension;
- limite de courant et de tension (le cas échéant);
- la sortie à courant alternatif:
  - tension fondamentale et tolérance statique;
  - fréquence et tolérance statique;
  - taux de déformation harmonique totale de la tension dans les conditions de charge spécifiées;
  - tension en mode commun;
  - dans le cas où il n'y a aucun filtre de sortie sinusoïdal:
    - a) spectre harmonique de tension et valeur efficace totale dans les conditions spécifiées;
    - b) tension de crête maximale;
    - c) taux maximal d'augmentation de tension instantanée.

Sauf accord contraire, cet essai doit être réalisé:

- aux tensions d'entrée minimale, assignée et maximale;
- à la puissance minimale, assignée et de surcharge;
- avec et sans la charge asymétrique spécifiée et/ou la charge du point neutre ou de connexion neutre.

La charge peut être une charge de substitution. Cependant, il convient de démontrer par calcul la satisfaction aux exigences sur toute la plage d'exploitation avec les charges spécifiées.

Critères d'acceptation: cet essai est déclaré réussi si les valeurs mesurées sont conformes à celles qui sont spécifiées.

### **7.5.3 Essai de démarrage et de redémarrage**

Il s'agit d'un essai de type.

Cet essai est effectué pour vérifier les caractéristiques décrites en 7.2.1.

Cet essai doit être réalisé pour des caractéristiques d'entrée spécifiées minimales et maximales.

Critères d'acceptation: le convertisseur démarre de façon satisfaisante et les valeurs mesurées sont celles qui sont spécifiées.

### **7.5.4 Essai de court-circuit**

Il s'agit d'un essai de type.

Pour un convertisseur de sortie multiple, cet essai doit être effectué pour toutes les sorties protégées contre les courts-circuits.

Critères d'acceptation: aucun dommage ne se produit sur les composants du convertisseur pendant l'essai.

### **7.5.5 Vérification des plages de tensions et de fréquences**

Il s'agit d'un essai de type.

Les combinaisons des valeurs d'entrée et de sortie à soumettre à l'essai doivent être telles que le fonctionnement correct est vérifié sur toute la plage de fonctionnement avec un minimum d'essais.

Critères d'acceptation: lorsque la ou les charges de sortie et la tension d'entrée sont à leurs valeurs limites, la ou les tensions de sortie, la fréquence fondamentale et la fréquence de commutation doivent demeurer dans la plage spécifiée (7.2.3.4).

#### **7.5.6 Essai de capacité de surcharge**

Il s'agit d'un essai de type.

Cet essai doit être effectué pour vérifier la capacité de surcharge telle définie en 7.2.3.3.

Critères d'acceptation: l'essai est réussi si le convertisseur fournit la surcharge pendant le temps spécifié sans subir aucun dommage et sans dépasser une température critique (voir 4.5.3.13 ainsi que 7.2.3.3).

#### **7.5.7 Essai d'échauffement**

Il s'agit d'un essai de type.

Cet essai doit être effectué dans des conditions de sortie assignées conformément à 7.2.3.3.

Le fabricant et l'exploitant doivent convenir, avant l'essai, d'une liste de points de mesure (par exemple à l'intérieur d'un dissipateur thermique principal, cubique, etc.) dont la température doit être mesurée.

Dans le cas d'un refroidissement par convection d'air naturel ou par convection supportée du fait du mouvement du véhicule, l'essai doit être effectué dans les conditions de refroidissement spécifiées.

Dans le cas des convertisseurs à très haute puissance dont le cycle de service ne peut pas être reproduit dans l'atelier, les valeurs appropriées de température déterminées par calcul peuvent être vérifiées par des essais de charges réduites ou par des essais du sous-circuit (partie du convertisseur) dans des conditions contrôlées.

Critères d'acceptation: les méthodes de réalisation de cet essai et les exigences relatives à l'acceptation doivent être indiquées dans la spécification d'essai.

#### **7.5.8 Essai de coupure de charge**

Il s'agit d'un essai de type.

Cet essai est destiné à vérifier que le convertisseur ne subit aucun dommage lorsque la charge est déconnectée de manière soudaine.

Un contacteur est connecté en série avec la charge. Après que le courant dans la charge a atteint une condition continue, le contacteur interrompt le courant. La variation de tension résultante doit être enregistrée.

Critères d'acceptation: l'essai est déclaré réussi si la variation de tension est conforme aux valeurs spécifiées, et si aucun dommage ne se produit sur aucun composant dans le convertisseur pendant l'essai.

Dans le cas de sorties multiples, il convient que cet essai soit répété pour chaque sortie et il est nécessaire de vérifier si les autres caractéristiques de sortie sont conformes aux valeurs spécifiées.

## 8 Unités de commande des semiconducteurs (SDU)

### 8.1 Expressions équivalentes

Dans ce paragraphe, les expressions suivantes sont destinées à être équivalentes:

"Base"	équivalent à	"Gâchette"
"Source" et "Émetteur"	équivalent à	"Cathode"
"Drain" et "Collecteur"	équivalent à	"Anode"
"Gate Drive Unit (GDU)"	équivalent à	"SDU"

### 8.2 Cartes à circuit imprimé équipées

Toutes les cartes à circuit imprimé de la SDU sont couvertes par l'IEC 60571, à l'exception des composants responsables de l'isolation, qui sont couverts par la présente norme.

### 8.3 Fonction de la SDU

La SDU transforme les commandes de commutation qui sont créées par l'électronique de commande en courant de gâchette et en tension gâchette/cathode, qui sont appropriés pour commander le semiconducteur connecté à celle-ci.

Les commandes de commutation sont transmises électriquement, magnétiquement ou optiquement. Les semiconducteurs peuvent être commandés par le courant (par exemple les thyristors, les transistors bipolaires, les thyristors blocables) ou par la tension (par exemple les transistors à effet de champ, les transistors bipolaires à grille isolée, les thyristors à commande MOS).

### 8.4 Exigences particulières pour la SDU

**8.4.1** La SDU doit être en mesure de forcer le semiconducteur à commuter le courant crête à l'état passant de l'application, sans détérioration.

**8.4.2** Le fabricant doit décrire le comportement de la SDU si la gâchette du semiconducteur est court-circuitée à la cathode ou est à circuit ouvert.

**8.4.3** Le convertisseur et la SDU ne doivent pas être endommagés dans le cas d'interruption de l'alimentation électrique de la SDU. Le fabricant doit s'assurer qu'une énergie suffisante est disponible dans la SDU pour générer les impulsions nécessaires pour mettre le convertisseur dans un état sans risque.

### 8.5 Conditions de service

Les conditions de service données en 4.2 doivent être présumées.

### 8.6 Exigences d'isolation pour la SDU

Il faut accorder une attention particulière au fait que la SDU a fréquemment des parties au niveau des potentiels de masse, électroniques et au niveau de l'énergie captable et possède une fonction d'isolation. En appliquant les valeurs données en 4.4.1, cet état de fait doit être pris en compte.

### 8.7 Exigences de compatibilité électromagnétique

Il faut accorder une attention particulière à la compatibilité électromagnétique de la SDU. La responsabilité de l'évaluation de la compatibilité électromagnétique entre la SDU et les autres parties du convertisseur demeure celle du fabricant du convertisseur. Pour les accès entre la

SDU et les composants dans l'environnement du convertisseur, les exigences CEM applicables sont spécifiées dans l'IEC 62236-3-2.

### **8.8 Essais de la SDU**

Avant de monter la SDU dans le convertisseur, la SDU doit être soumise à des essais conformément à l'IEC 60571 (voir 4.5.2.2).

Les caractéristiques de la SDU (qui ne sont pas encore couvertes dans l'IEC 60571) doivent être prouvées par un essai de type selon le programme d'essai.

Après le montage dans le convertisseur, la SDU doit fonctionner au niveau de ses interfaces (alimentation électrique, électronique de commande, et semiconducteur) comme spécifié dans toutes les conditions de service.

La SDU doit mener à bien tous les essais de type et de série du convertisseur selon 4.5.

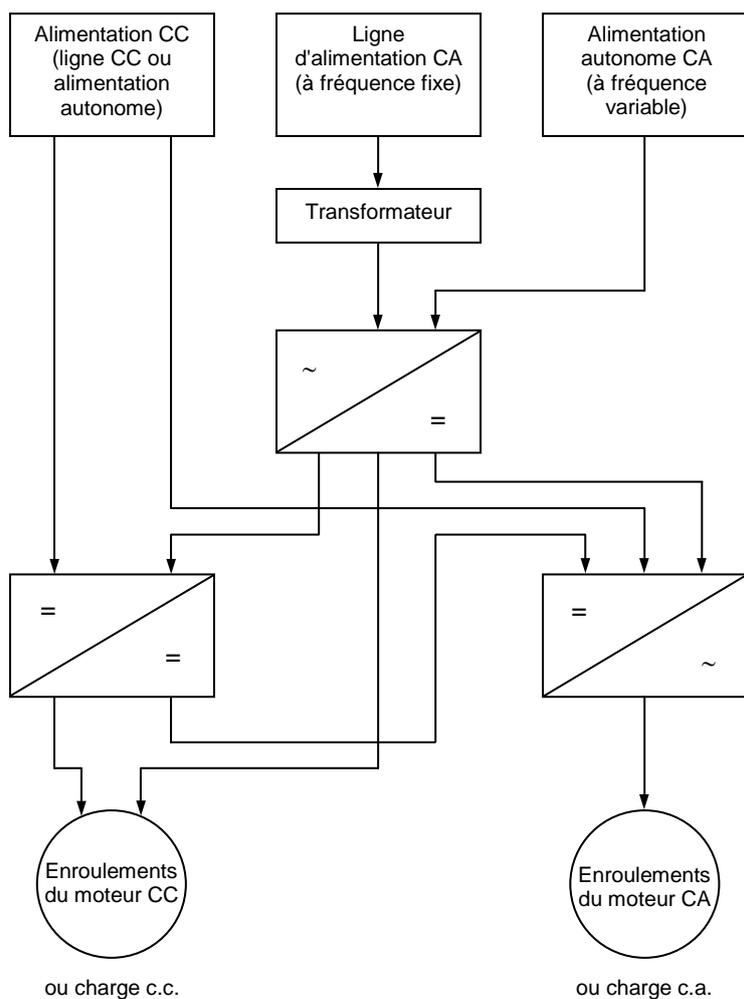
Il convient d'accorder une attention particulière au cas où la SDU fait partie du système de protection.

## Annexe A (normative)

### Disposition des schémas de circuits de base

Différentes combinaisons des circuits de base sont possibles.

Le schéma de la Figure A.1 fournit les combinaisons les plus courantes de schémas de circuits entre l'alimentation et le moteur de traction ou autres charges.



IEC 1885/14

NOTE Les appareils passifs, tels que les filtres et le stockage d'énergie ne sont pas illustrés.

**Figure A.1 – Exemples de combinaisons**

## Annexe B (informative)

### Liste récapitulative des accords entre le fabricant et l'exploitant

**Tableau B.1 – Liste récapitulative des accords  
entre le fabricant et l'exploitant (1 de 3)**

Paragraphe	Titre	Commentaire
4.1.1	Conception	Processus de conception
4.1.3.1	Documentation fournie par le fabricant	
4.1.3.2	Documentation à fournir par l'exploitant	
4.1.4.1	Fiabilité	Objectif de fiabilité
4.1.4.2	Disponibilité	Objectif de disponibilité
4.1.4.3	Maintenabilité	Exigences de maintenance
4.1.4.4	Sécurité	Exigences de sécurité
4.1.5	Durée de vie utile	
4.2.1	Généralités	Classe des conditions de service particulières
4.2.3.1	Température ambiante	
4.2.3.2	Températures de démarrage	
4.2.5.2	Autres accélérations	
4.2.6	Profil de charge	
4.2.7.1	Généralités	
4.2.7.2.2	Variation par palier de la tension de ligne	
4.2.7.2.3	Distorsion de la tension de ligne à courant alternatif	
4.2.7.2.4	Surtension dans les réseaux à courant alternatif	IEC 60850
4.2.7.2.5	Impédance des réseaux à courant alternatif	
4.2.7.3.1	Caractéristiques principales de la tension de ligne à courant continu	
4.2.7.3.2	Variation par palier de la tension de ligne	
4.2.7.3.3	Surtension dans les réseaux à courant continu	IEC 60850
4.2.7.3.4	Inductance et résistance du réseau à courant continu	
4.2.7.3.5	Distorsion de la tension de ligne à courant continu	
4.2.7.4	Autres systèmes d'alimentation	
4.2.8.2	Interférences avec le réseau d'alimentation (émission)	
4.2.8.4	Interférences avec les réseaux de signalisation	
4.2.9	Limitations du courant d'entrée	
4.2.10.1	Bruit acoustique	Valeurs inférieures Choix de la classe
4.3.4.1	Caractéristiques géométriques – conformité aux dessins	Masse contractuelle et essai correspondant (4.5.3.2, 4.5.3.3)
4.3.4.2	Caractéristiques des systèmes de refroidissement	

**Tableau B.1 (2 de 3)**

Paragraphe	Titre	Commentaire
4.3.4.4.1	Grandeurs d'entrée	Grandeurs d'entrée conformément à 4.2.7 et 4.2.8 Caractéristiques du réseau d'alimentation Valeurs limites harmoniques et impédance d'entrée Appareils de protection réinitialisables
4.3.4.4.2.2	Valeurs assignées	
4.3.4.4.2.3	Valeur du point de fonctionnement	
4.3.4.4.2.4	Valeurs spéciales	Caractéristiques de court-circuit et circuit ouvert Exigences particulières
4.3.4.4.3	Rendement en puissance	
4.3.4.4.4	Séparation électrique	
4.3.4.4.5	Interfaces entre le convertisseur et l'unité de commande	
4.4.1	Coordination de l'isolement	Tension assignée de tenue aux chocs Tension assignée d'isolement
4.4.2.1	Généralités	Perturbations élevées, appareils de faible susceptibilité
4.4.2.2.2	Effets sur les êtres humains	
4.4.3	Effets des défauts	
4.5.1.1	Vue d'ensemble	Spécification d'essai
4.5.1.2.2	Essais de type	
4.5.1.2.3	Essais individuels de série	
4.5.1.2.4	Essais d'investigation	
4.5.2.3	Liste des essais de convertisseur	
4.5.3.1	Inspection visuelle	
4.5.3.5.4	Essai de fuite	
4.5.3.6	Essai du degré de protection	
4.5.3.8	Essai de résistance d'isolement	
4.5.3.9	Essai de protection mécanique et électrique et appareils de mesure	
4.5.3.10	Essai à faible charge	Courant de sortie
4.5.3.12.3	Conditions d'exploitation	
4.5.3.12.4	Conditions particulières	
4.5.3.13	Essai d'échauffement	
4.5.3.14	Détermination des pertes électriques	
4.5.3.15	Essai de surtension d'alimentation et énergie transitoire	
4.5.3.16	Variations rapides de charge	
4.5.3.17	Examen pour les exigences de sécurité	
4.5.3.18	Essais de résistance aux vibrations et aux chocs	
4.5.3.20	Essai de la variation de tension de ligne par palier	
4.5.3.21	Essai d'interruption d'alimentation de courte durée	
4.5.3.22	Partage du courant	
5.1.2.1	Interface entre le moteur et le convertisseur	

**Tableau B.1 (3 de 3)**

<b>Paragraphe</b>	<b>Titre</b>	<b>Commentaire</b>
5.1.2.2	Interface entre le transformateur principal et le convertisseur	
5.1.3.1	Généralités	
5.1.3.4	Essai de court-circuit	
5.1.3.5	Essai de coupure de charge	
5.2.1	Caractéristiques	Interface entre le moteur et le convertisseur
5.2.2.1	Généralités	
5.2.2.6	Essai de courant d'ondulation de charge	
5.2.2.7	Essai de coupure de charge	
5.2.2.8	Essai de court-circuit	
5.3.2	Caractéristiques	Interface entre le moteur et l'onduleur
6.2.2.1	Caractéristiques d'entrée	Facteur de puissance et résidu harmonique
6.2.2.3	Exigences en cas de court-circuit	Résistant aux courts-circuits Comportement en court-circuit
6.2.2.4	Choix de la tension d'isolement assignée	Niveau inférieur de tension
7.2.1	Conditions de démarrage des convertisseurs auxiliaires	Mode de démarrage
7.2.2	Conditions et caractéristiques d'entrée	
7.2.3.2	Liste des caractéristiques de sortie	
7.2.3.3	Puissance de sortie	
7.3	Protection contre les courts-circuits	
7.4	Choix de la tension d'isolement assignée	
7.5.2	Essais des caractéristiques de sortie	
7.5.7	Essai d'échauffement	

## **Annexe C** (informative)

### **Lignes directrices pour les exigences de champ magnétique et les tensions induites**

Il n'existe pas de norme IEC sur ce sujet, mais il existe quelques lignes directrices nationales et autres, et on peut par exemple consulter les documents suivants:

- DIN VDE 0848-3-1, *Sicherheit in elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Feldern.*
- International commission on non-ionizing radiation protection (ICNIRP), *Guidelines for limiting exposure to time varying electric, magnetic and electromagnetic fields up to 300 GHz.*
- IEC/TS 62597, *Procédures de mesure des niveaux de champ magnétique générés par les appareils électriques et électroniques dans l'environnement ferroviaire en regard de l'exposition humaine.*

## Bibliographie

NOTE Les documents suivants servent de lignes directrices ou sont liés à la présente Norme internationale.

IEC 60050-151:2001, *Vocabulaire Electrotechnique International – Partie 151: Dispositifs électriques et magnétiques*

IEC 60050-702:1992, *Vocabulaire Electrotechnique International – Chapitre 702: Oscillations, signaux et dispositifs associés*

IEC 60112, *Méthode de détermination des indices de résistance et de tenue au cheminement des matériaux isolants solides*

IEC 60146-1-1, *Convertisseurs à semiconducteurs – Exigences générales et convertisseurs commutés par le réseau – Partie 1-1: Spécification des exigences de base*

IEC 60216 (toutes les parties), *Matériaux isolants électriques – Propriétés d'endurance thermique*

IEC 60384-1, *Condensateurs fixes utilisés dans les équipements électroniques – Partie 1: Spécification générique*

IEC 60587, *Matériaux isolants électriques utilisés dans des conditions ambiantes sévères – Méthodes d'essai pour évaluer la résistance au cheminement et à l'érosion*

IEC 60664-1:2007, *Coordination de l'isolement des matériels dans les systèmes (réseaux) à basse tension – Partie 1: Principes, exigences et essais*

IEC 60747-15, *Dispositifs à semiconducteurs – Dispositifs discrets – Partie 15: Dispositifs de puissance à semiconducteurs isolés*

IEC 61377-1, *Applications ferroviaires – Matériel roulant – Partie 1: Essais combinés de moteurs à courant alternatif alimentés par onduleur et de leur régulation*

IEC 61377-2, *Applications ferroviaires – Matériel roulant – Essais combinés – Partie 2: Moteurs de traction à courant continu alimentés par hacheur et leur régulation*

IEC 61377-3, *Applications ferroviaires – Matériel roulant – Partie 3: Essais combinés des moteurs à courant alternatif, alimentés par un convertisseur à deux étages, et leur régulation*

IEC 62520, *Applications ferroviaires – Traction électrique – Moteurs à induction linéaires (LIM) du type à primaire court alimentés par des convertisseurs de puissance*

IEEE Std 1476, *IEEE Standard for Passenger Train Auxiliary Power Systems Interfaces*

CLC/TS 50535, *Applications ferroviaires – Convertisseur auxiliaire pour les véhicules ferroviaires*

---





INTERNATIONAL  
ELECTROTECHNICAL  
COMMISSION

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

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