

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

61287-1

Deuxième édition
Second edition
2005-09

**Applications ferroviaires –
Convertisseurs de puissance embarqués
sur le matériel roulant –**

**Partie 1:
Caractéristiques et méthodes d'essais**

**Railway applications –
Power converters installed
on board rolling stock –**

**Part 1:
Characteristics and test methods**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 61287-1:2005

Numérotation des publications

Depuis le 1er janvier 1997, les publications de la CEI sont numérotées à partir de 60000. Ainsi, la CEI 34-1 devient la CEI 60034-1.

Editions consolidées

Les versions consolidées de certaines publications de la CEI incorporant les amendements sont disponibles. Par exemple, les numéros d'édition 1.0, 1.1 et 1.2 indiquent respectivement la publication de base, la publication de base incorporant l'amendement 1, et la publication de base incorporant les amendements 1 et 2.

Informations supplémentaires sur les publications de la CEI

Le contenu technique des publications de la CEI est constamment revu par la CEI afin qu'il reflète l'état actuel de la technique. Des renseignements relatifs à cette publication, y compris sa validité, sont disponibles dans le Catalogue des publications de la CEI (voir ci-dessous) en plus des nouvelles éditions, amendements et corrigenda. Des informations sur les sujets à l'étude et l'avancement des travaux entrepris par le comité d'études qui a élaboré cette publication, ainsi que la liste des publications parues, sont également disponibles par l'intermédiaire de:

- Site web de la CEI (www.iec.ch)
- Catalogue des publications de la CEI

Le catalogue en ligne sur le site web de la CEI (www.iec.ch/searchpub) vous permet de faire des recherches en utilisant de nombreux critères, comprenant des recherches textuelles, par comité d'études ou date de publication. Des informations en ligne sont également disponibles sur les nouvelles publications, les publications remplacées ou retirées, ainsi que sur les corrigenda.

- IEC Just Published

Ce résumé des dernières publications parues (www.iec.ch/online_news/justpub) est aussi disponible par courrier électronique. Veuillez prendre contact avec le Service client (voir ci-dessous) pour plus d'informations.

- Service clients

Si vous avez des questions au sujet de cette publication ou avez besoin de renseignements supplémentaires, prenez contact avec le Service clients:

Email: custserv@iec.ch
Tél: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00

Publication numbering

As from 1 January 1997 all IEC publications are issued with a designation in the 60000 series. For example, IEC 34-1 is now referred to as IEC 60034-1.

Consolidated editions

The IEC is now publishing consolidated versions of its publications. For example, edition numbers 1.0, 1.1 and 1.2 refer, respectively, to the base publication, the base publication incorporating amendment 1 and the base publication incorporating amendments 1 and 2.

Further information on IEC publications

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC, thus ensuring that the content reflects current technology. Information relating to this publication, including its validity, is available in the IEC Catalogue of publications (see below) in addition to new editions, amendments and corrigenda. Information on the subjects under consideration and work in progress undertaken by the technical committee which has prepared this publication, as well as the list of publications issued, is also available from the following:

- IEC Web Site (www.iec.ch)
- Catalogue of IEC publications

The on-line catalogue on the IEC web site (www.iec.ch/searchpub) enables you to search by a variety of criteria including text searches, technical committees and date of publication. On-line information is also available on recently issued publications, withdrawn and replaced publications, as well as corrigenda.

- IEC Just Published

This summary of recently issued publications (www.iec.ch/online_news/justpub) is also available by email. Please contact the Customer Service Centre (see below) for further information.

- Customer Service Centre

If you have any questions regarding this publication or need further assistance, please contact the Customer Service Centre:

Email: custserv@iec.ch
Tel: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

61287-1

Deuxième édition
Second edition
2005-09

**Applications ferroviaires –
Convertisseurs de puissance embarqués
sur le matériel roulant –**

**Partie 1:
Caractéristiques et méthodes d'essais**

**Railway applications –
Power converters installed
on board rolling stock –**

**Part 1:
Characteristics and test methods**

© IEC 2005 Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

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'éditeur.

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 the publisher.

International Electrotechnical Commission, 3, rue de Varembé, PO Box 131, CH-1211 Geneva 20, Switzerland
Telephone: +41 22 919 02 11 Telefax: +41 22 919 03 00 E-mail: inmail@iec.ch Web: www.iec.ch



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE **XB**

Pour prix, voir catalogue en vigueur
For price, see current catalogue

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	6
1 Domaine d'application	10
2 Références normatives	12
3 Termes et définitions	14
3.1 Définitions liées aux équipements	14
3.2 Définitions se rapportant aux paramètres électriques	20
4 Articles communs	22
4.1 Généralités	22
4.2 Conditions de service	26
4.3 Caractéristiques	38
4.4 Exigences techniques	42
4.5 Essais	46
5 Convertisseur de traction direct	70
5.1 Convertisseurs à commutation de ligne pour moteurs à courant continu	70
5.2 Hacheurs pour moteurs à courant continu	76
5.3 Convertisseurs polyphasés pour moteurs à courant alternatif (onduleurs)	82
6 Convertisseur de traction indirect	84
6.1 Convertisseur de ligne	84
6.2 Convertisseur en cascade (onduleur)	88
7 Convertisseurs auxiliaires	88
7.1 Caractéristiques	88
7.2 Protection contre les courts-circuits	92
7.3 Choix de la tension d'isolement assignée	92
7.4 Essais	92
8 Unités de commande des semiconducteurs (SDU)	98
8.1 Expressions équivalentes	98
8.2 Cartes à circuit imprimé équipées	98
8.3 Fonction de la SDU	98
8.4 Exigences particulières pour la SDU	98
8.5 Conditions de service	100
8.6 Exigences d'isolation pour la SDU	100
8.7 Prescriptions de compatibilité électromagnétique	100
8.8 Essais de la SDU	100
Annexe A (normative) Disposition des schémas de circuits de base	102
Annexe B (informative) Liste récapitulative des accords entre le fabricant et l'exploitant	104
Annexe C (normative) Distances de sécurité minimales dans l'air basées sur la tension d'impulsion assignée U_{Ni}	108
Annexe D (normative) Lignes de fuite minimales pour les faibles valeurs de la tension d'isolement assignée U_{Nm} pour les matériaux autres que les matériaux de bobinage imprimés	110
Annexe E (normative) Définition des degrés de pollution	114

CONTENTS

FOREWORD.....	7
1 Scope.....	11
2 Normative references.....	13
3 Terms and definitions	15
3.1 Definitions related to equipment.....	15
3.2 Definitions related to electrical parameters.....	21
4 Common clauses	23
4.1 General	23
4.2 Service conditions	27
4.3 Characteristics	39
4.4 Technical requirements.....	43
4.5 Tests.....	47
5 Direct traction convertors.....	71
5.1 Line-commutated convertors for d.c. motors	71
5.2 Choppers for d.c. motors	77
5.3 Multiphase convertors for a.c. motors (inverters).....	83
6 Indirect traction convertors.....	85
6.1 Line convertor.....	85
6.2 Motor convertor.....	89
7 Auxiliary convertors	89
7.1 Characteristics	89
7.2 Short-circuit protection.....	93
7.3 Choice of rated insulation voltage	93
7.4 Tests.....	93
8 Semiconductor drive units (SDU).....	99
8.1 Equivalent expressions	99
8.2 Printed circuit board assemblies	99
8.3 Function of the SDU	99
8.4 Particular requirements for the SDU.....	99
8.5 Service conditions	101
8.6 Insulation requirements for the SDU.....	101
8.7 Electromagnetic compatibility requirements.....	101
8.8 Tests of the SDU	101
Annex A (normative) Arrangement of basic circuit diagrams	103
Annex B (informative) Recapitulation of agreements between the manufacturer and the user	105
Annex C (normative) Minimum clearances in air based on the rated impulse voltage U_{ni}	109
Annex D (normative) Minimum creepage distances for low values of rated insulation voltage U_{nm} for materials other than printed wiring material	111
Annex E (normative) Definition of pollution degrees	115

Annexe F (normative) Essais diélectriques pour les équipements – Niveaux d'essai (c.a.) de puissance de courte durée en fréquence U_a (kV r.m.s.) basée sur la tension d'impulsion assignée U_{Ni} (kV cr).....	116
Annexe G (normative) Tensions assignées d'impulsion U_{Ni} pour les circuits alimentés par la ligne de contact.....	118
Annexe H (informative) Lignes directrices pour les exigences de champ magnétique et les tensions induites.....	120

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 61287-1:2005

Withdrawn

Annex F (normative) Dielectric tests for equipment – Short-duration power-frequency (a.c.) test levels U_a (kV r.m.s.) based on the rated impulse voltage U_{Ni} (kVcr)	117
Annex G (normative) Rated impulse voltages U_{Ni} for circuits powered by the contact line.....	119
Annex H (informative) Guidelines for magnetic field and induced voltage requirements	121

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 61287-1:2005

Withdrawn

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

La Norme internationale CEI 61287-1 a été établie par le comité d'études 9 de la CEI: Matériels et systèmes électriques ferroviaires.

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition parue en 1995, et constitue une révision technique.

Les changements majeurs par rapport à l'édition précédente sont les suivants: cette édition inclut des mises à jour nécessaires par rapport à l'état actuel de la technique. Elle prend aussi en compte des normes génériques sur le matériel ferroviaire comme les parties concernées des séries CEI 62236 et CEI 62278, et des normes techniques générales sur le matériel ferroviaire telles que la CEI 60850 et les parties concernées des séries CEI 60077, CEI 60349 et CEI 61377. Cette révision a été rédigée dans le but d'une harmonisation avec l'EN 50207 (1998).

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**RAILWAY APPLICATIONS –
POWER CONVERTORS 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 provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with an IEC Publication.
- 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 second edition cancels and replaces the first edition published in 1995. This edition constitutes a technical revision.

This edition includes the following technical changes from 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 62236 and IEC 62278 series and general railway technical standards as IEC 60850 and relevant parts of IEC 60077, IEC 60349 and IEC 61377 series. This revision has been drafted with considerations of harmonization with EN 50207 (1998).

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
9/864/FDIS	9/872/RVD

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

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

La série CEI 61287 comprend les parties suivantes sous le titre général *Applications ferroviaires – Convertisseurs de puissance embarqués sur le matériel roulant*:

Partie 1: Caractéristiques et méthodes d'essais

Partie 2: Informations techniques supplémentaires

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

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

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

FDIS	Report on voting
9/864/FDIS	9/872/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.

The IEC 61287 series contains the following parts under the general title *Railway applications – Power converters installed on board rolling stock*:

Part 1: Characteristics and test methods

Part 2: Additional technical information

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until the maintenance result 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.

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

Partie 1: Caractéristiques et méthodes d'essais

1 Domaine d'application

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 ainsi que ses dispositions de montage contenant

- les ensembles montés à semiconducteurs,
- les systèmes de refroidissement intégrés,
- les composants de la liaison intermédiaire à courant continu, y compris tous les filtres nécessaires associés à la liaison à courant continu,
- 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 tels que les générateurs, les batteries et autres sources d'énergie électrique.

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

NOTE L'équipement de commande électronique des convertisseurs et les capteurs non liés 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 la CEI 60571.

La présente norme définit la terminologie, les conditions de service, les caractéristiques générales et les méthodes d'essais des convertisseurs électroniques de puissance embarqués sur le matériel roulant.

RAILWAY APPLICATIONS – POWER CONVERTORS INSTALLED ON BOARD ROLLING STOCK –

Part 1: Characteristics and test methods

1 Scope

This International Standard is applicable to power electronic convertors 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 convertor assembly together with its mounting arrangements containing

- semiconductor device assemblies;
- integrated cooling systems;
- components of the intermediate d.c. link, including any necessary filters associated with the d.c. link;
- semiconductor drive units (SDU) and related sensors;
- incorporated protection circuits.

The following types of power sources are taken into consideration:

- a.c. contact lines,
- d.c. contact lines,
- on-board supplies such as generators, batteries and other electric power sources.

This standard excludes convertors which provide the electronic control supply for SDU and other supplies relevant to the convertor operation such as sensors.

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

This standard defines terminology, service conditions, general characteristics and test methods of electronic power convertors onboard of rolling stock.

2 Références normatives

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

CEI 60050-551:1998, *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) – Partie 551: Electronique de puissance*

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

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

CEI 60112, *Méthode de détermination des indices de résistance et de tenue au cheminement des matériaux isolants solides*

CEI 60146-1-1, *Convertisseurs à semiconducteurs – Spécifications communes et convertisseurs commutés par le réseau – Partie 1-1: Spécifications des clauses techniques de base*

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

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

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

CEI 60349-1:1999, *Traction électrique – Machines électriques tournantes des véhicules ferroviaires et routiers – Partie 1: Machines autres que les moteurs à courant alternatif alimentés par convertisseur électronique*
Amendement 1 (2002)

CEI 60349-2:2002, *Traction électrique – Machines électriques tournantes des véhicules ferroviaires et routiers – Partie 2: Moteurs à courant alternatif alimentés par convertisseurs électroniques*

CEI 60384 (toutes les parties), *Condensateurs fixes utilisés dans les équipements électroniques*

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

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

CEI 60571, *Equipements électroniques utilisés sur les véhicules ferroviaires*

2 Normative references

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

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

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

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

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 60349-1:1999, *Electric traction – Rotating electrical machines for rail and road vehicles – Part 1: Machines other than electronic convertor-fed alternating current motors*
Amendment 1 (2002)

IEC 60349-2:2002, *Electric traction – Rotating electrical machines for rail and road vehicles – Part 2: Electronic convertor-fed alternating current motors*

IEC 60384 (all parts), *Fixed capacitors for use in electronic equipment*

IEC 60384-4, *Fixed capacitors for use in electronic equipment – Part 4: Sectional specification – Aluminium electrolytic capacitors with solid and non-solid electrolyte*

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

IEC 60571, *Electronic equipment used on rail vehicles*

CEI 60587, *Méthode d'essai pour évaluer la résistance au cheminement et à l'érosion des matériaux isolants électriques utilisés dans des conditions ambiantes sévères*

CEI 60664-1, *Coordination de l'isolement des matériels dans les systèmes (réseaux) à basse tension – Partie 1: Principes, prescriptions et essais*

CEI 60747 (toutes les parties), *Dispositifs à semiconducteurs – Dispositifs discrets*

CEI 60850, *Applications ferroviaires – Tensions d'alimentation des systèmes de traction*

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

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

CEI 61881, *Applications ferroviaires – Matériel roulant – Condensateurs pour électronique de puissance*

CEI 61991:2000, *Applications ferroviaires – Matériel roulant – Dispositions de protection contre les dangers électriques*

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

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

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

ISO 9001:2000, *Systèmes de management de la qualité – Exigences*

3 Termes et définitions

Pour les besoins de ce document, les définitions des convertisseurs données dans la CEI 60050-551:1998, ainsi que les définitions supplémentaires suivantes, sont applicables.

3.1 Définitions liées aux équipements

3.1.1

convertisseur (électronique) (de puissance)

dispositif électronique fondé sur des semiconducteurs de puissance qui change un ou plusieurs des paramètres suivants: la tension, le courant, la fréquence et/ou le nombre de phases de la puissance qui le traverse

NOTE 1 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 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.

IEC 60587, *Test method for evaluating resistance to tracking and erosion of electrical insulating materials used under severe ambient conditions*

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

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 convertor equipment*

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

IEC 61881, *Railway applications – Rolling stock equipment – Capacitors for power electronics*

IEC 61991:2000, *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)*

ISO 9001:2000, *Quality management systems – Requirements*

3 Terms and definitions

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

3.1 Definitions related to equipment

3.1.1

convertor (electronic) (power)

electronic device, based on power semiconductors, which changes one or more of the following parameters: voltage, current, frequency and/or the phase number of the power passing through it

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

NOTE 2 The convertor is a part of the propulsion (or auxiliary) equipment. The convertor may include, for example, a line circuit breaker, filter, transformer, cooling system, etc.

3.1.2

convertisseur de traction

convertisseur fournissant de la puissance aux moteurs de traction

3.1.3

convertisseur auxiliaire

convertisseur fournissant la puissance aux services auxiliaires, par exemple, éclairage, charge de batterie, climatisation, (circuit principal de) refroidissement, circuits de commande, etc.

3.1.4

convertisseur direct alternatif/continu

convertisseur qui convertit l'énergie d'entrée en énergie de sortie sans liaison intermédiaire

3.1.5

convertisseur indirect alternatif/continu

convertisseur qui convertit l'énergie d'entrée en énergie de sortie avec liaison intermédiaire

3.1.6

système de convertisseurs

système de convertisseurs constitué de plusieurs convertisseurs nécessaires pour fonctionner en étant connectés entre eux, en ayant chacun des caractéristiques différentes d'entrée et/ou de sortie et qui ont également des connexions fonctionnelles différentes. Un système de convertisseurs est défini par une spécification de système en plus de la spécification individuelle de chacun des convertisseurs composant le système.

3.1.7

liaison intermédiaire de source de courant

circuit reliant au moins deux convertisseurs par une inductance connectée en série

3.1.8

liaison intermédiaire de source de tension

circuit reliant au moins deux convertisseurs et un condensateur connecté en parallèle

3.1.9

liaison intermédiaire par transformateur

transformateur qui relie deux convertisseurs

3.1.10

enroulements de convertisseur

enroulements d'un transformateur connecté aux bornes du convertisseur

3.1.11

enroulements auxiliaires

enroulements d'un transformateur connecté aux bornes de toute alimentation électrique auxiliaire ou de tout équipement auxiliaire

3.1.12

dispositif à semiconducteurs

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

3.1.2**traction convertor**

convertor providing power for the traction motors

3.1.3**auxiliary convertor**

convertor providing power for auxiliary services, for example, lighting, battery charging, air conditioning, cooling (main service), control circuits, etc.

3.1.4**direct a.c./d.c. convertor**

convertor which converts the input energy into the output energy without an intermediate link

3.1.5**indirect a.c./d.c. convertor**

convertor which converts the input energy into the output energy with an intermediate link

3.1.6**convertor system**

system consisting of several convertors required to operate connected together, each having different input and/or output characteristics and which also have different functional connections and defined by a system specification in addition to the individual specification of each different convertor making up the system

3.1.7**current stiff intermediate link**

circuit linking at least two convertors by a reactor connected in series

3.1.8**voltage stiff intermediate link**

circuit linking at least two convertors and a capacitor connected in parallel

3.1.9**transformer intermediate link**

transformer linking two convertors

3.1.10**convertor windings**

windings of a transformer connected to the terminals of the convertor

3.1.11**auxiliary windings**

windings of a transformer connected to the terminals of any auxiliary power supply or auxiliary equipment

3.1.12**semiconductor device**

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

3.1.13

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 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.

3.1.14

accès

interface particulière de l'appareil spécifié avec l'environnement électromagnétique externe

3.1.15

accès par l'enveloppe

limite physique de l'appareil à travers laquelle les champs électromagnétiques peuvent rayonner ou causer un impact

3.1.16

accès par le câble

point au niveau duquel un conducteur ou un câble est connecté à l'appareil. A titre d'exemple, on peut citer les accès de puissance, de commande et de signal

3.1.17

convertisseur d'induit

convertisseur connecté à l'induit d'un moteur à courant continu pour réguler le courant ou la tension de l'induit

3.1.18

convertisseur d'excitation

convertisseur connecté à l'enroulement d'excitation d'un moteur à courant continu ou synchrone pour réguler le courant dans le circuit d'excitation

3.1.19

hacheur unidirectionnel

ce type de hacheur ne permet de transférer l'énergie que dans un seul sens

3.1.20

hacheur abaisseur

hacheur dont la tension de sortie est inférieure à la tension d'entrée

3.1.21

hacheur élévateur

hacheur dont la tension de sortie est supérieure à la tension d'entrée

3.1.22

hacheur d'induit

hacheur connecté à l'induit d'un moteur à courant continu pour réguler le courant ou la tension de l'induit

3.1.23

hacheur d'excitation

hacheur connecté à l'inducteur d'un moteur à courant continu pour réguler le courant de l'inducteur

3.1.24

hacheur rhéostatique

hacheur connecté en parallèle avec tout ou partie d'un rhéostat ou en série avec un rhéostat qui contrôle le courant de celui-ci

3.1.13**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 Electrical isolation. If individual electrical circuits (for example, input, output, control circuit) are specified as isolated, then the circuits are galvanically separated.

3.1.14**port**

particular interface of the specified apparatus with the external electromagnetic environment

3.1.15**enclosure port**

physical boundary of the apparatus through which electromagnetic fields may radiate or impinge

3.1.16**cable port**

point at which a conductor or a cable is connected to the apparatus. Examples are signal, control and power ports

3.1.17**armature convertor**

convertor connected to the armature of a d.c. motor to control the current or the voltage of the armature

3.1.18**field convertor**

convertor connected to the field winding of a d.c. or a synchronous motor to control the current in the field circuit

3.1.19**unidirectional chopper**

chopper which transfers the energy only in one direction.

3.1.20**step-down chopper**

chopper of which the output voltage is lower than the input voltage

3.1.21**step-up chopper**

chopper of which the output voltage is higher than the input voltage

3.1.22**armature chopper**

chopper connected with the armature of a d.c. motor to control the current or the voltage of the armature

3.1.23**field chopper**

chopper connected with the field of a d.c. motor to control the current of the field

3.1.24**rheostatic chopper**

chopper connected in parallel with all or a part of a rheostat or in series with a rheostat to control the current of the rheostat

3.1.25

convertisseur de ligne avec liaison intermédiaire à courant continu source de tension

convertisseur qui transforme la tension d'entrée à courant continu ou à courant alternatif en tension à courant continu

3.1.26

convertisseur de ligne avec liaison intermédiaire à courant continu source de courant

convertisseur qui transforme une tension d'entrée à courant continu ou à courant alternatif en un courant continu

3.1.27

convertisseur de ligne avec liaison intermédiaire à courant alternatif par transformateur

convertisseur qui transforme une tension d'entrée à courant continu en tension à courant alternatif

3.1.28

filtre de second harmonique

filtre qui absorbe la différence entre la puissance de l'alimentation monophasée à courant alternatif (dont la fréquence est double de celle de la ligne) et la puissance fournie à la charge (qui est pratiquement constante, sur plusieurs périodes du courant de ligne)

3.2 Définitions se rapportant aux paramètres électriques

3.2.1

commande pleine onde (commande par déclenchement d'une salve)

commande synchrone à cycles multiples dans laquelle l'instant d'allumage est synchronisé au passage à zéro de la tension, et dont la conduction dure pendant un nombre entier de demi-cycles complets

3.2.2

cycle de service du véhicule / profil de charge

vitesse et masse du train et le profil de la voie en fonction du temps

NOTE 1 Le profil de charge pour le convertisseur est calculé par l'ingénierie à partir du cycle de service du véhicule.

NOTE 2 Le profil de charge (courant/puissance en fonction du temps) est le cycle répétitif du courant/de la puissance de charge dans des conditions spécifiées telles que démarrage ou freinage. De même la tension doit être prise en considération.

3.2.3

courant d'entrée instantané maximal

courant d'entrée maximum spécifié maximal que le convertisseur peut commuter pour une tension spécifiée

3.2.4

courant de sortie instantané maximal

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

3.2.5

transitoire (adjectif ou nominatif)

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

3.2.6

composantes harmoniques

composantes de rang supérieur à 1 du développement en série de Fourier d'une grandeur périodique

3.1.25**line convertor with voltage stiff intermediate d.c. link**

convertor which transforms the d.c. or a.c. input voltage to a d.c. voltage

3.1.26**line convertor with current stiff intermediate d.c. link**

convertor which transforms a d.c. or a.c. input voltage into a d.c. current

3.1.27**line convertor with transformer intermediate a.c. link**

convertor which transforms a d.c. input voltage into an a.c. voltage

3.1.28**second harmonic filter**

filter which absorbs the difference between the power from the a.c. single-phase supply (which pulsates with twice the line frequency) and the power supplied to the load (which practically is constant, within several periods of the line current)

3.2 Definitions related to electrical parameters**3.2.1****full wave control (burst firing control)**

synchronous multi-cycle control in which the starting instant is synchronized at voltage zero, and current flows for an integral number of complete half cycles

3.2.2**duty cycle of vehicle/load profile**

speed and mass of train and track over time

NOTE 1 The load profile for a convertor is calculated by the engineering from the duty cycle of vehicle.

NOTE 2 Load profile (current/power versus time) is the repetitive cycle of the load current/power under specified conditions such as starting and braking; the voltage is also considered

3.2.3**maximum instantaneous input current**

maximum specified input current which the convertor can commutate for a specified voltage

3.2.4**maximum instantaneous output current**

maximum specified output current which the convertor can commutate for a specified voltage

3.2.5**transient (adjective or nominative)**

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

3.2.6**harmonic components**

components of order greater than 1 of the Fourier series of a periodic quantity

3.2.7

ondulation/taux d'ondulation du courant continu

fonction obtenue en soustrayant la composante à courant continu d'une fonction périodique

$$\text{taux d'ondulation (\%)} = ((I_{\max} - I_{\min}) / (I_{\max} + I_{\min})) \times 100$$

$I_{\max}$ et $I_{\min}$ sont les valeurs maximum et minimum présumées de la fonction périodique.

3.2.8

puissance apparente assignée totale côté ligne

produit de la tension de ligne efficace assignée et du courant de ligne efficace assigné total calculé à partir du courant direct moyen assigné du convertisseur et prenant également la charge des circuits auxiliaires

3.2.9

valeur nominale

valeur approximative d'une quantité utilisée pour dénommer ou identifier un composant, un dispositif ou un équipement

3.2.10

valeur assignée

valeur assignée d'une quantité, généralement définie par un fabricant, qui correspond à une condition de fonctionnement spécifiée d'un composant, dispositif ou équipement

3.2.11

valeur du point de fonctionnement

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

NOTE Voir CEI 60077-1, Annexe B, coordination entre les définitions.

3.2.12

valeur spéciale

valeur assignée d'une quantité, généralement définie par l'exploitant, pour des modes de fonctionnement dégradés de l'alimentation ou de la charge d'un convertisseur

4 Articles communs

4.1 Généralités

4.1.1 Conception

Toute conception doit être réalisée conformément aux règles stipulées dans l'ISO 9001.

Le processus de conception doit être visible et audible.

Si l'exploitant demande le détail de ce processus pour une évaluation d'appel d'offre, il doit le préciser dans les documents d'appels 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 (désignation du type);
- le numéro du dessin d'ensemble et son indice et/ou la désignation du type;

3.2.7**ripple/ripple factor for d.c. current**

function obtained by subtracting the d.c. component from a periodic function

$$\text{ripple factor (\%)} = ((I_{\max} - I_{\min}) / (I_{\max} + I_{\min})) \times 100$$

where $I_{\max}$ and $I_{\min}$ are the maximum and minimum values assumed by the periodic function

3.2.8**total rated apparent power on the line side**

product of the rated r.m.s line voltage and the total rated r.m.s. line current calculated from the rated average direct current of the convertor and allowing also for the load of the auxiliary windings

3.2.9**nominal value**

suitable approximate quantity value used to designate or identify a component, device or equipment

3.2.10**rated value**

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

3.2.11**operating point value**

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

NOTE See IEC 60077-1, Annex B.

3.2.12**special value**

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

4 Common clauses**4.1 General****4.1.1 Design**

All design shall proceed according to the regime laid down in ISO 9001.

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

- manufacturer's mark (type-designation);
- number of main drawing and revision number and/or type designation;

- le numéro de série;
- l'année de fabrication;
- la masse.

4.1.2.2 Bornes principales

Le marquage des bornes principales doit être conforme aux spécifications fournies dans la CEI 61148.

4.1.3 Documentation technique

4.1.3.1 Documentation fournie par le fabricant

La documentation d'utilisation et de maintenance du convertisseur doit être fournie par le fabricant et doit inclure les éléments suivants:

- la description du dispositif (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 qui doivent être traités 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 s'il 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 de réseau d'alimentation;
- profil de charge et cycles de service;
- exigences CEM;
- les exigences de refroidissement;
- les conditions ambiantes;
- les mesures de sécurité, y compris les exigences de comportement au feu;
- les caractéristiques de conceptions électrique et mécanique;
- le détail des installations prévues pour la maintenance et la réparation.

NOTE Les exigences doivent être claires et univoques. Les indications qui ne sont pas quantifiées, comme "Les équipements ne doivent pas perturber les installations de signalisation et de télécommunication", ne sont pas acceptables.

- 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 convertor 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 must be treated as special waste, when they are removed from service (either alone or with the convertor).

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.

NOTE Requirements have to be clear and univocal. Statements which are not quantified like "Equipment must not interfere with signalling and telecommunication facilities." are not acceptable.

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 respecter 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 la CEI 62278.

4.1.4.2 Disponibilité

L'exploitant peut exiger du fabricant de prédéterminer la disponibilité ou de respecter 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 la CEI 62278.

4.1.4.3 Maintenabilité

Les exigences de maintenance doivent être définies par l'exploitant au moment de l'appel d'offre. 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 au moment de l'offre.

La spécification et la vérification de ces exigences doivent être conformes à la CEI 62278.

4.1.4.4 Sécurité

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

La spécification et la vérification des exigences de fiabilité doivent être conformes à la CEI 62278.

4.1.5 Durée de vie utile

Au moment de l'appel d'offres, la durée de vie utile du convertisseur doit être convenue entre le fabricant et l'exploitant. Lorsque le fabricant prévoit d'utiliser des composants d'une durée de vie connue inférieure à la durée de vie utile du convertisseur, leur utilisation et les procédures concernant leur remplacement habituel 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 la CEI 60077-1 doivent être appliquées à moins que des classes différentes soient spécifiées par l'exploitant.

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 convertor shall be agreed between the manufacturer and the user. When the manufacturer intends to use components with a known life less than the useful life of the convertor, 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 60077-1 shall be applied unless different classes are specified by the user.

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 la CEI 60077-1, sauf spécification différente.

4.2.3 Température

4.2.3.1 Température ambiante

Les différentes classes de températures ambiantes, auxquelles l'équipement doit fonctionner comme spécifié, sont fournies dans la CEI 60077-1. La température ambiante du véhicule et du convertisseur doit faire l'objet d'un accord entre l'exploitant et le constructeur.

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 ambiante maximale initiale à partir de laquelle l'équipement doit être en mesure de démarrer sans subir aucun dommage doit être de 70 °C, et la température minimale doit être celle qui est spécifiée en 4.2.3.1.

Le Tableau 1 fournit les différentes classes de caractéristiques de charge de démarrage auxquelles l'équipement doit fonctionner comme spécifié. Il n'existe aucune classe préférentielle; il convient de choisir la classe appropriée à l'utilisation du convertisseur. Le choix de classe de démarrage doit faire l'objet d'un accord entre le constructeur et l'exploitant.

Tableau 1 – Classes générales des caractéristiques de charge de démarrage

Classe de charge	Puissance de démarrage
SU1	Tension assignée, à vide jusqu'aux limites de la plage de températures spécifiée ^a
SU2	Puissance assignée 50 % jusqu'aux limites de la plage de températures spécifiée ^a
SU3	Puissance assignée 100 % immédiatement ^b
SU4	Autres conditions spécifiées
^a Par exemple, la puissance de traction d'une locomotive peut ne pas être nécessairement disponible immédiatement après le raccordement à l'alimentation. L'équipement peut être amené à la température de travail par l'équipement auxiliaire.	
^b Par exemple, dans certains cas, les convertisseurs auxiliaires doivent fonctionner immédiatement après raccordement à l'alimentation.	

4.2.4 Autres conditions d'environnement

Le convertisseur doit être conçu pour les conditions d'humidité et de pollution spécifiées dans la CEI 60077-1.

4.2.5 Contrainte mécanique

4.2.5.1 Chocs et vibrations

Lorsqu'il est soutenu au niveau de ses 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 la CEI 61373.

Si une masse de convertisseur est supérieure à 500 kg, on peut soumettre à l'essai uniquement le sous-ensemble. Pour un convertisseur de masse supérieure, un essai de chocs et de vibrations doit être convenu entre le fabricant et l'exploitant (essais 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.

4.2.2 Altitude

The altitude above sea-level, at which the equipment shall perform as specified, shall be as given in IEC 60077-1, unless otherwise specified.

4.2.3 Temperature

4.2.3.1 Ambient temperature

The different classes of ambient temperature, at which the equipment shall perform as specified, are given in IEC 60077-1. The ambient temperature of the vehicle and of the convertor shall be agreed between the user and the manufacturer.

4.2.3.2 Start-up temperatures

This subclause applies to parked vehicles which are not connected to any power source. The initial maximum ambient temperature from which the equipment shall be able to start up without suffering any damage shall be 70 °C and the minimum temperature as specified in 4.2.3.1.

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 convertor. 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 ^a
SU2	50 % rated power until within specified temperature range ^a
SU3	100 % rated power immediately ^b
SU4	Other specified conditions
^a 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.	
^b For example, in some cases, auxiliary convertors have to perform immediately after connection to the supply.	

4.2.4 Other environmental conditions

The convertor shall be designed for the conditions of humidity and pollution specified in IEC 60077-1.

4.2.5 Mechanical stress

4.2.5.1 Shock and vibration

The convertor, 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.

If a convertor-mass is higher than 500 kg, one may test subassembly only. For a convertor with higher mass, a shock and vibration test has to be agreed between manufacturer and user (optional type test). If no shock and vibration test is performed, an FEM stability calculation is to be provided by the manufacturer.

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 la CEI 61373. Le convertisseur, y compris le système de refroidissement, doit continuer de fonctionner comme spécifié en accélérations transversales et longitudinales comme spécifié dans la CEI 61373. Ces exigences doivent faire l'objet d'un accord entre le client et le constructeur.

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 constructeur et l'exploitant.

Dans le cas du freinage électrique, la charge devient une source d'énergie.

NOTE 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 dans d'autres cas tels que le freinage à une tension spécifiée.

Ce profil est utilisé pour calculer les conditions les plus défavorables pour les composants concernés et pour définir les conditions d'essai d'échauffement (4.5.3.11).

4.2.7 Caractéristiques de réseau d'alimentation

Il convient que l'exploitant définisse les caractéristiques du réseau d'alimentation, en traction et en freinage électrique et dans les modes dégradés définis.

4.2.7.1 Réseaux d'alimentation en courant alternatif

4.2.7.1.1 Caractéristiques principales de la tension en ligne à courant alternatif

Les caractéristiques principales des différents réseaux d'alimentation à courant alternatif utilisés sont décrites dans la CEI 60850. L'équipement doit fonctionner comme spécifié lorsqu'il est utilisé dans les limites du système pour lequel il a été défini.

4.2.7.1.2 Variation par palier de la tension de ligne

La variation par palier de la tension 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.

4.2.7.1.3 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 lorsque la tension de ligne à courant alternatif en régime permanent contient des niveaux de composantes harmoniques et inter-harmoniques inférieurs ou égaux aux valeurs convenues entre le fabricant et l'exploitant (client).

4.2.7.1.4 Surtension dans les réseaux à courant alternatif

Le convertisseur, y compris ses dispositifs 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 la CEI 60850. Celles-ci sont considérées comme conditions normales; tout écart substantiel doit être spécifié par l'exploitant.

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 convertor, 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 customer 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 convertor or convertor components, the load profile shall always be specified. This profile shall be calculated by the duty cycle and agreed by manufacturer and user.

In the case of electric braking, the load becomes a power source.

NOTE The duty cycle can be a typical theoretical traction cycle (acceleration, constant speed, braking and stop) or a specified cycle for the vehicle in which the convertor 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.

This profile is used to calculate the worst-case conditions for the components involved and to define the conditions for the temperature-rise test (4.5.3.11).

4.2.7 Supply-system characteristics

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

4.2.7.1 AC supply systems

4.2.7.1.1 Main characteristics of the a.c. line voltage

The main characteristics of the different a.c. 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.

4.2.7.1.2 Step change of line voltage

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

4.2.7.1.3 Distortion of a.c. line voltage

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

The equipment shall perform when the steady-state a.c. line voltage contains levels of harmonic and inter-harmonic voltages less than, or equal to, the values agreed between manufacturer and the user (customer).

4.2.7.1.4 Overvoltage in a.c. systems

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

4.2.7.1.5 Impédance du réseau 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.

4.2.7.2 Réseaux d'alimentation en courant continu

4.2.7.2.1 Caractéristiques principales de la tension de ligne à courant continu

Les caractéristiques principales des différents réseaux d'alimentation à courant continu sont fournies dans la CEI 60850. L'équipement doit fonctionner comme spécifié lorsqu'il est utilisé dans la ou les limites du système pour lequel il a été défini.

Il est 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 filtre d'harmoniques en sous-stations.

4.2.7.2.2 Variation par palier de la tension de ligne

La variation par palier de la tension de ligne doit être spécifiée par l'exploitant; la performance correspondante du convertisseur doit être convenue entre le fabricant et l'exploitant.

4.2.7.2.3 Surtension dans les réseaux à courant continu

Le convertisseur, y compris son filtre d'entrée et ses dispositifs de protection, le cas échéant, doit être en mesure de résister aux surtensions d'entrée et aux énergies transitoires données dans la CEI 60850. Tout écart substantiel doit être spécifié par l'exploitant.

4.2.7.2.4 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.

4.2.7.2.5 Distorsion de la tension de ligne à courant continu

L'équipement doit fonctionner lorsque la tension de ligne à courant continu contient des niveaux de composantes harmoniques et inter-harmoniques inférieurs ou égaux aux valeurs convenues par le fabricant et le client.

4.2.7.1.5 AC system impedance

Since the a.c. 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 a.c. 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.

4.2.7.2 DC supply system

4.2.7.2.1 Main characteristics of the d.c. line voltage

The main characteristics of the different d.c. supply systems 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 d.c. voltage converted from a three-phase sinusoidal voltage by full-wave six-pulse rectification.

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

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 Overvoltage in d.c. systems

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

4.2.7.2.4 DC system inductance and resistance

Since the d.c. 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.

4.2.7.2.5 Distortion of d.c. line voltage

The equipment shall perform when the steady-state d.c. line voltage distortion is less than, or equal to, the values agreed by the manufacturer and the customer.

4.2.7.3 Réseaux d'alimentation embarqués

Lorsque le convertisseur est alimenté par une alimentation embarquée telle que

- batterie,
- générateurs,
- 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

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 la CEI 62236-3-1 et la CEI 62236-3-2.

4.2.8.1 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 constructeur du convertisseur, l'ingénierie du système 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.

4.2.8.2 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 la CEI 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 la CEI 62236-3-1.

4.2.8.3 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 constructeur du convertisseur, l'ingénierie du système 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.

4.2.7.3 On-board supply systems

Where the convertor is supplied by an on-board supply such as

- battery;
- generators;
- 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 a.c. supply, the frequency and wave form.

4.2.8 Interference

The convertor 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 convertor normally contains harmonic and inter-harmonic components. These are due to harmonics present in the traction supply or are generated by the convertor. Where a convertor 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.

4.2.8.1 Interference with the supply system (emission)

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

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

4.2.8.2 Interference with radio and telecommunication systems

The convertors 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.

4.2.8.3 Interference with signalling systems

The responsibility for compatibility between the convertor, the vehicle and the signalling system is shared among the convertor manufacturer, the system engineer 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 infrastructure operator/authority.

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 de fréquences inférieure à 150 kHz, par lequel le contenu harmonique des transitoires de commutation peut se situer dans cette plage;

NOTE 1 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.

- l'impédance d'entrée minimale pour le véhicule aux fréquences pour la signalisation;

NOTE 2 Lorsque 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 3 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 cette spécification (voir 4.1.3.2).

Tableau 2 – Classes de bruit acoustique

Classe:	N1	N2	N3	N4	N5	
Niveau de bruit L_{pA}	80	75	70	65	60	dB _A
Classe:	N6	N7	N8			
Niveau de bruit L_{pA}	95	90	85			dB _A

Le niveau de bruit est défini par le paramètre: L_{pA} = le niveau de pression acoustique de surface pondéré A.

Les méthodes d'essai sont définies en 4.5.3.10 (CEI 60076-10).

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 acoustique 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 de 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).

For example:

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

NOTE 1 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 infrastructure operator/authority.

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

NOTE 2 When 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 3 Trackside sensors may 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 convertor 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

Class	N1	N2	N3	N4	N5	
Noise level L_{pA}	80	75	70	65	60	dB_A
Class	N6	N7	N8			
Noise level L_{pA}	95	90	85			dB_A

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

Test methods are defined in 4.5.3.10 (IEC 60076-10).

In the case of a convertor with a separate cooling system, if this system is used only for the convertor cooling, it is considered as a part of the convertor 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 convertor 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 convertor, when the convertor is mounted on the vehicle, is the responsibility of the main contractor (vehicle contractor).

4.2.10.2 Température des parties accessibles

La température des parties accessibles doit être conforme au Tableau 3 de la CEI 60077-1.

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 à l'exigence de l'ISO 9001:2000 ou un système équivalent.

4.3.2 Caractéristiques des dispositifs à semiconducteurs

Les composants à semiconducteurs des circuits de puissance doivent être conformes aux spécifications de la CEI 60747; 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 la CEI 60310. Celles des condensateurs doivent être conformes aux exigences de la CEI 61881 et de la CEI 60384-4.

NOTE S'il existe une contradiction entre les conditions d'utilisation spécifiées dans la CEI 60384 et la CEI 61881 et la présente norme, c'est la présente norme qui prévaut. Il faut accorder une attention particulière aux essais et aux conditions de fonctionnement, 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 constituants;
- 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 fluide 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.

4.2.10.2 Temperature rise of accessible parts

The temperature rise of accessible parts should be in accordance with Table 3 of IEC 60077-1.

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 quality system compliant with the requirement of ISO 9001:2000, or an equivalent system.

4.3.2 Characteristics of semiconductor devices

Semiconductor devices of power circuits shall comply with the specifications given in IEC 60747 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 convertors shall comply with the requirements of IEC 60310. Those of capacitors shall comply with the requirements of IEC 61881 and IEC 60384-4.

NOTE 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 convertors

4.3.4.1 Geometrical characteristics – conformity to drawings

The convertor 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 convertor 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 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 pendant les transitoires;
- températures en entrée et en sortie;
- pression de fonctionnement (valeur assignée et valeur d'essai);
- écarts 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 la CEI 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 dispositifs de protection s'il en dispose, doit pouvoir résister aux surtensions d'entrée fournies en 4.2.7.1.4 et/ou 4.2.7.2.3, sans aucun dommage. L'exploitant doit indiquer si les dispositifs de protection utilisés doivent ou non être réarmables.

4.3.4.4.2 Grandeurs de sortie

Les valeurs assignées font référence au convertisseur et les valeurs du point de fonctionnement font référence à l'application.

4.3.4.4.2.1 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).

4.3.4.2 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;
- hermetism 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 convertor shall be capable of being connected to one or more of the supplies specified in 4.2.7. The convertor 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 convertor, including its protective devices, if any, shall be able to withstand the input overvoltages given in 4.2.7.1.4 and/or 4.2.7.2.3, 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

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

4.3.4.4.2.1 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).

4.3.4.4.2.2 Valeurs du point de fonctionnement

Les grandeurs de sorties doivent être définies par le fabricant dans une spécification contenant des points de fonctionnement particuliers selon 4.2.6. 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).

Ces éléments doivent faire l'objet d'un accord entre le fabricant et l'exploitant.

4.3.4.4.2.3 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.

Ces éléments doivent faire 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 4.3.4.4.2.2, 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.

Ces éléments doivent faire l'objet d'un accord entre le fabricant et l'exploitant.

NOTE La définition du rendement en puissance est fournie dans la CEI 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 (élément 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

4.4.1.1 Distances de sécurité pour l'isolement

La CEI 60077-1, 8.2.6.2, fournit la procédure qui permet de déterminer les distances minimales de sécurité pour l'isolement dans l'air. Cependant, des expériences récentes montrent que des nouvelles catégories doivent être mises en œuvre et certaines valeurs doivent être modifiées. Des tableaux révisés des distances de sécurité d'isolement sont inclus dans le Tableau C.1.

4.3.4.4.2.2 Operating point values

The output quantities shall be defined by the manufacturer in a specification containing particular operating points in accordance with 4.2.6. 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.

4.3.4.4.2.3 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 4.3.4.4.2.2 preferred at rated operation conditions.

Efficiency shall be determined for both directions of power flow through the convertor, 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 convertor ensures electrical isolation between the supply and the load, this shall be stated in the specification of the convertor.

4.3.4.4.5 Interfaces between convertor and control unit

Where the convertor (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

4.4.1.1 Clearance distances for insulation

IEC 60077-1, 8.2.6.2, gives the procedure to determine minimum clearance distances in air. However, recent experience shows that some new categories shall be implemented and some values shall be modified. Revised tables of clearance distances are included in Table C.1.

Le degré de pollution est défini dans le Tableau E.1. Pour des altitudes supérieures à 2 000 m au-dessus du niveau de la mer, voir les facteurs de correction dans la CEI 60664-1.

Pour les convertisseurs qui sont spécialement protégés par des circuits d'entrée, la catégorie de surtension OV2 peut être utilisée.

Le fabricant doit spécifier la tension de choc assignée.

4.4.1.2 Lignes de fuite pour l'isolement

La détermination des lignes de fuite est basée sur la valeur de la tension d'isolement assignée, l'environnement de l'appareil et le matériau d'isolation.

La ligne de fuite minimale doit être calculée conformément au Tableau D.1. La procédure est décrite dans la CEI 60077-1. Le degré de pollution est défini dans le Tableau E.1. La ligne de fuite la plus courte dans chaque cas spécifique ne doit pas être inférieure à la distance de sécurité dans l'air correspondante.

4.4.2 Exigences de CEM pour les convertisseurs

4.4.2.1 Généralités

Les exigences de CEM pour les convertisseurs sont fournies dans la CEI 62236-3-2.

L'exploitant doit déclarer les dispositifs dont on peut prévoir 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 la CEI 62236-3-2 ou spécifiés dans un plan de CEM individuel du projet.

NOTE Il convient que le plan individuel de CEM fasse l'objet d'un accord avec l'autorité en charge de l'infrastructure.

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'ingénierie système et le constructeur doivent se mettre d'accord sur les exigences sur le niveau du convertisseur.

Pour des valeurs recommandées, voir l'Annexe H.

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 constructeur et l'exploitant.

Sauf spécification contraire, l'analyse des effets des modes de défaillance n'est pas exigée.

The degree of pollution is defined in Table E.1. For altitudes higher than 2 000 m above sea-level, see the correction factor in IEC 60664-1.

For convertors which are well-protected by the input circuit, overvoltage category OV2 may be used.

The manufacturer shall specify the rated impulse voltage.

4.4.1.2 Creepage distances for insulation

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

The minimum creepage distance shall be calculated in accordance with Table D.1. The procedure is described in IEC 60077-1. The degree of pollution is defined in Table E.1. The shortest creepage distance in each specific case shall be not less than the corresponding clearance distance in air.

4.4.2 EMC requirements for convertors

4.4.2.1 General

The EMC requirements for convertors 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 convertor, which can effect the trackside equipment, shall be limited according to either IEC 62236-3-2 or an individual EMC plan of the project.

NOTE The individual EMC plan should be agreed with the infrastructure operator/authority

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 system engineering and the manufacturer shall agree on the requirements on convertor level.

For recommended values, see Annex H.

4.4.3 Fault effects

The effects which faults in the convertor 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 convertor 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 Essais

4.5.1 Généralités

Le but des essais est de prouver la conformité avec la spécification particulière.

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 d'essayer l'équipement 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 l'élément 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 contrôle/commande électronique (unité de commande de véhicule) différente de l'équipement de production.

4.5.1.1 Catégories d'essais

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.

4.5.1.1.1 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 remplit les 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 tous les composants du convertisseur doivent être identiques à ceux de l'équipement de production en série sauf quand l'exception de 4.5.1 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 contrôle/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 essayé antérieurement, le constructeur peut présenter un procès-verbal des essais antérieurs couvrant au minimum les exigences contractuelles. Dans de tels cas, il n'est pas nécessaire, sauf convention contraire, de recommencer les essais.

4.5 Tests

4.5.1 General

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 convertor including the SDU.

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

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

4.5.1.1 Categories of test

There are three categories of tests:

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

NOTE Combined tests are not covered by this standard.

4.5.1.1.1 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 convertor should be identical to the series production equipment unless the restriction of 4.5.1 concerning the electronic control unit is applied.

If significant modifications to the convertor 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 convertor 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.

Dans le cas d'une production d'un grand nombre de convertisseurs identiques, sous réserve d'accord préalable entre l'exploitant et le constructeur, 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.

4.5.1.1.2 Essais de série

Les essais de série sont effectués pour vérifier que le convertisseur est correctement assemblé, que tous les composants fonctionnent de façon appropriée et sûre. Les essais 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. (Par exemple en conformité avec l'ISO 9001). Cela permet de réduire les essais de série sur tous les convertisseurs ou 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 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.

4.5.1.1.3 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 nécessaire que s'ils sont expressément spécifiés dans le contrat.

Les résultats des essais d'investigation ne sont pas 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 des convertisseurs

Les essais de type et de série destinés à vérifier les caractéristiques générales des convertisseurs doivent être effectués conformément aux articles figurant dans le Tableau 3 et précisés de 4.5.3.1 à 4.5.3.23 ci-après.

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 sortie.

In the case of production of a great number of identical convertors, subject to previous agreement between the manufacturer and the user, some of these tests may be repeated on convertors, 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.

4.5.1.1.2 Routine tests

Routine tests are carried out to verify that the convertor 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. (For example, conforming to ISO 9001.) This may permit reduced routine testing of all convertors or may require the full tests on a portion of convertors chosen at random from those produced on the order.

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

4.5.1.1.3 Investigation tests

Investigation tests, the object of which is to obtain additional information on the use of the convertor, 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 order.

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

NOTE Investigation tests are not described in this standard.

4.5.2 Convertor tests

Type tests and routine tests intended to verify the general characteristics of convertors shall be carried out in accordance with the subclauses given in Table 3 and detailed in 4.5.3.1 to 4.5.3.23.

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 convertors 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 convertor 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 convertor with multiple outputs, it is necessary to carry out the electrical routine and type test for each output.

NOTE 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. Les règles pour les essais combinés d'un moteur polyphasé alimenté par un convertisseur sont fournies dans la CEI 61377, la CEI 61377-2, et la CEI 61377-3 ¹.

4.5.2.1 Essais des composants et sous-ensembles du convertisseur

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: CEI 60747;
- électronique de commande et composants à courant faible: CEI 60571;
- unité de commande des semiconducteurs (SDU): CEI 61287-1 et CEI 60571;
- transformateurs de puissance et inductances: CEI 60310;
- condensateurs électroniques de puissance: CEI 61881, CEI 60384-4;
- ensembles de dispositifs à semiconducteurs: le cas échéant, doivent être essayés conformément à un programme d'essai fourni par le fabricant de l'ensemble du dispositif à semiconducteurs;
- résistances de puissance: CEI 60322.

4.5.2.2 Liste des essais du 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
Examen visuel	W.S.		X	4.5.3.1
Vérification des dimensions et des tolérances	W.S.	X	^b	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./véhicule	X		4.5.3.5
Vérification de l'efficacité des filtres à air	W.S./véhicule	X ^a		4.5.3.5.3
Essai de fuite	W.S./véhicule		X	4.5.3.5.4
Essai de protection mécanique et électrique et appareils de mesure	W.S.	X	X	4.5.3.6
Essai à faible charge	W.S.		X	4.5.3.7
Essai du degré de protection	W.S.	X ^a		4.5.3.8
Essai de commutation	W.S./véhicule	X		4.5.3.9
Mesure du bruit acoustique	W.S.	X		4.5.3.10
Essais d'échauffement	W.S.	X		4.5.3.11
Détermination des pertes électriques	W.S.	X		4.5.3.12
Surtension d'alimentation et énergie transitoire	W.S./véhicule	X		4.5.3.13

¹ CEI 61377, *Traction électrique – Matériel roulant – Essais combinés de moteurs à courant alternatif alimentés par onduleur et de leur régulation*

CEI 61377-2, *Applications ferroviaires – Matériel roulant – Essais combinés – Partie 2: Moteurs de traction à courant continu alimentés par hacheur et leur régulation*

CEI 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*

NOTE Combined tests with the whole traction system or auxiliary supply system are not within the scope of this standard. Rules for combined tests of a multiphase motor fed by a convertor are given in IEC 61377, IEC 61377-2, IEC 61377-3 ¹.

4.5.2.1 Tests of convertor components and subassemblies

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

- power semiconductor devices: IEC 60747;
- control electronic and low-current components: IEC 60571;
- 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 plan provided by the manufacturer of the semiconductor device assembly;
- power-resistors: IEC 60322.

4.5.2.2 List of convertor tests

The list of general tests to be performed on a complete convertor 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	^b	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
Check of effectiveness of air filters	W.S./V	X ^a		4.5.3.5.3
Leakage test	W.S./V		X	4.5.3.5.4
Tests of mechanical and electrical protection and measuring equipment	W.S.	X	X	4.5.3.6
Light load test	W.S.		X	4.5.3.7
Test of the degree of protection	W.S.	X ^a		4.5.3.8
Commutation test	W.S./V	X		4.5.3.9
Acoustic noise measurement	W.S.	X		4.5.3.10
Temperature-rise test	W.S.	X		4.5.3.11
Power loss determination	W.S.	X		4.5.3.12
Supply overvoltage and transient energy	W.S./V	X		4.5.3.13

¹ IEC 61377, *Electric traction – Rolling stock – Combined testing of inverter fed alternating current motors and their control*

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*

Tableau 3 (suite)

Nature des essais	Emplacement	Essai de type	Essai individuel de série	Paragraphe
Variations rapides de charge	W.S./véhicule	X ^a		4.5.3.14
Essai de résistance d'isolement	W.S.		X ^a	4.5.3.15
Essai diélectrique	W.S.		X	4.5.3.16
Essai de décharges partielles	W.S.	X ^a		4.5.3.17
Exigences de sécurité	W.S.	X		4.5.3.18
Vibrations et chocs	W.S.	X		4.5.3.19
Compatibilité électromagnétique	W.S./véhicule	X		4.5.3.20
Variation de tension de ligne par palier	W.S./véhicule	X		4.5.3.21
Essai d'interruption d'alimentation de courte durée	W.S./véhicule	X		4.5.3.22
Essai de répartition du courant	W.S./véhicule	X ^a		4.5.3.23
W.S. L'essai doit être effectué dans l'atelier.				
W.S./véhicule L'essai peut être effectué dans l'atelier 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.				
^a L'exécution de l'essai fait l'objet d'un accord entre le fabricant et l'exploitant.				
^b 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 Examen visuel (essai 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 quant à la présence de tous les composants internes et mécaniques et électriques d'interface et 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 mêmes parcours.

Si l'examen visuel n'est pas suffisant pour vérifier que les exigences de sécurité spécifiées du convertisseur sont satisfaites, alors des essais appropriés supplémentaires 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 tolérances (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 (essai de type)

Lorsque la masse est spécifiée dans le contrat, le convertisseur doit être pesé.

Critère d'acceptation: la masse doit correspondre à la valeur assignée, dans les limites autorisées.

Table 3 (continued)

Nature of test	Location	Type test	Routine test	Subclause
Sudden variations of load	W.S./V	X ^a		4.5.3.14
Insulation resistance test	W.S.		X ^a	4.5.3.15
Dielectric test	W.S.		X	4.5.3.16
Partial discharge test	W.S.	X ^a		4.5.3.17
Safety requirements	W.S.	X		4.5.3.18
Vibration and shock	W.S.	X		4.5.3.19
Electromagnetic compatibility	W.S./V	X		4.5.3.20
Step change of line voltage test	W.S./V	X		4.5.3.21
Short-time supply interruption test	W.S./V	X		4.5.3.22
Current-sharing test	W.S./V	X ^a		4.5.3.23
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.				
^a The execution of the test is subject to agreement between the manufacturer and the user.				
^b 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 (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 (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 (type test)

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

Acceptance criterion: The mass shall correspond to the rated value within the allowed tolerances.

4.5.3.4 Vérification du marquage (essai de série)

Critère d'acceptation: le marquage doit être conforme aux exigences de 4.1.2.

4.5.3.5 Essais de performance du système de refroidissement (essai de type)

4.5.3.5.1 Généralités

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. Lorsque le ou les groupes ventilateurs, pompes ou radiateurs font partie du convertisseur, l'essai doit être effectué

- en plaçant le convertisseur dans les conditions aérodynamiques d'entrée ou de sortie spécifiées;
- en alimentant le système de refroidissement et avec 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 (ΔT) du fluide de refroidissement dans des conditions de charge spécifiées du convertisseur. Cet essai peut être réalisé sur un modèle approprié du convertisseur.

Lorsque 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 Vérification de l'efficacité des filtres à air (essai de type, l'exécution de l'essai est soumise à un accord contractuel entre le fabricant et l'exploitant)

Si le filtre constitue une partie du convertisseur, les essais doivent également être effectués pour vérifier l'efficacité des moyens prévus dans le convertisseur pour réduire la pénétration de poussière, de neige et d'eau.

4.5.3.4 Marking inspection (routine test)

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

4.5.3.5 Cooling system performance tests (type test)

4.5.3.5.1 General

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

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

4.5.3.5.2 Convertor 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. When the fan, pump or radiator set(s) form(s) part of the convertor, the test shall be carried out

- with the convertor having specified input and output cooling conditions,
- with power supplied to the cooling system and 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 Convertor with separate cooling system

In the case of a convertor without an integrated cooling system, the object of this test is to verify that the pressure drop across the convertor 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 (ΔT) of the cooling medium under specified load conditions of the convertor. This test may be performed on an adequate model of the convertor.

When the fan, pump, or radiator sets do not form part of the convertor, 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 convertor 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 Check of effectiveness of air-filters (type test, the execution of the test is subject to contract agreement between the manufacturer and the user)

If the filter forms part of the convertor, tests shall also be carried out to check the effectiveness of the means provided in the convertor to reduce the ingress of dust, snow and water.

Critères d'acceptation: la méthode d'essai et son critère d'acceptation doivent être soumis à un accord entre le fabricant et l'exploitant.

4.5.3.5.5 Essai de fuite (essai de série)

Si un refroidissement de fluide en circuit fermé est utilisé, un essai de fuite doit être réalisé pour démontrer qu'aucune fuite 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.

NOTE Il convient que les dispositifs à caloduc soient essayés avant qu'ils ne soient installés dans le convertisseur. Dans ce cas, un essai spécial n'est pas nécessaire avec le convertisseur.

4.5.3.6 Essai de protection mécanique et électrique et appareils de mesure

4.5.3.6.1 Essai de série

L'essai de série a pour but de vérifier la conformité du montage, les connexions et le fonctionnement par un essai "passe, passe-pas". 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 être convenus avec l'exploitant.

4.5.3.6.2 Essais de type

L'objet de cet essai est de vérifier que les équipements de protection mécanique et électrique et de mesure fonctionnent correctement dans toute la gamme des conditions de fonctionnement selon la spécification de sa 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 être convenus avec l'exploitant.

4.5.3.7 Essai à faible charge (essai de série)

Par cet essai, il s'agit de 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 dans l'Article 5 ou 7). 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 essayé indépendamment.

Critères d'acceptation: toutes les fonctions qui sont spécifiées dans les spécifications 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.

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

4.5.3.5.5 Leakage test (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.

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

4.5.3.6 Tests of mechanical and electrical protection and measuring equipment

4.5.3.6.1 Routine test

The object of this test is to verify the conformity of assembly, connections and the working by a “go/no-go” test. The power circuits of the convertor 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.

4.5.3.6.2 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 convertor 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.

4.5.3.7 Light load test (routine test)

This test is to verify that the power circuits of the convertor function properly. During the test the complete convertor (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 Clauses 5 or 7). 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 convertor 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 convertor, the line-side, generator-side and load-side convertor may be tested independently.

Acceptance criteria: All functions which are described in the test specifications 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.

4.5.3.8 Essai du degré de protection (essai de type, l'exécution de l'essai est soumise à un accord de contrat entre le fabricant et l'exploitant)

Si un essai du degré de protection est stipulé dans la spécification, il doit être réalisé conformément à la CEI 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 décrite dans la CEI 60529 est autorisée.

4.5.3.9 Essai de commutation (essai de type)

Le présent essai est effectué pour vérifier que le convertisseur commute 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 dispositifs 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.

4.5.3.10 Mesure du bruit acoustique (essai de type)

4.5.3.10.1 Méthodes d'essai

La méthode est définie par la CEI 60076-10 dans laquelle le terme "Transformateur" doit être remplacé par "Convertisseur" et dans laquelle les Articles 3, 4, 6, 7 (à l'exclusion de 7.3), 10.1 et 11 ainsi que l'Annexe A sont applicables.

Si, durant les essais préliminaires, un écart de $N_{dB} > 10$ entre deux points de mesure est constaté, le nombre de points de mesures défini dans la CEI 60076-10, Paragraphe 11.2, sera N .

4.5.3.10.2 Conditions de fonctionnement

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.

4.5.3.10.3 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.

Les conditions d'essais correspondantes doivent être définies par un accord entre le fabricant et l'exploitant.

4.5.3.11 Essai d'échauffement (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.

4.5.3.8 Test of the degree of protection (type test, the execution of the test being subject to contract 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 convertors), the use of other methods, as described in IEC 60529, is allowed.

4.5.3.9 Commutation test (type test)

This test is carried out to verify that the convertor will commute the maximum specified instantaneous output 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 convertor, without damage to any of the components.

4.5.3.10 Acoustic noise measurement (type test)

4.5.3.10.1 Test methods

The method is defined by IEC 60076-10 in which the term “transformer” shall be replaced by “convertor” and in which Clauses 3, 4, 6, 7 (7.3 is excluded), and 11, as well as 10.1 and Annex A are relevant.

If during preliminary tests, there is a gap of $N_{dB} > 10$ between two measured points, the measured points defined in IEC 60076-10, 11.2, will be N .

4.5.3.10.2 Operating conditions

During the test, the convertor shall be in operation. For an auxiliary convertor, 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 convertor, the operating point shall be agreed between the manufacturer and the user.

4.5.3.10.3 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.

4.5.3.11 Temperature-rise test (type test)

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

L'échauffement à la surface ou dans le volume critique, des composants énumérés à l'intérieur du convertisseur doit être vérifié pour être inférieur aux limites spécifiées, lorsque le convertisseur est soumis au profil de charge ou au courant de sortie calculé équivalent avec la tension d'entrée nominale. Pour un convertisseur auxiliaire, voir 7.4.7.

La méthode de mesure pour chaque composant de cette liste doit être spécifiée: direct (4.5.3.11.1), indirect (4.5.3.11.2) ou par calcul par rapport à un point de référence mesuré (4.5.3.11.3). De même, elle doit faire l'objet d'un accord si l'essai doit être effectué sur une partie de circuit ou sur tout le circuit.

4.5.3.11.1 L'échauffement peut être mesuré directement à l'aide d'un thermomètre par exemple sur les éléments suivants:

- barres omnibus,
- résistances,
- condensateurs,
- jonctions de connexion,
- radiateurs.

4.5.3.11.2 L'évaluation indirecte peut être réalisée sur des enroulements d'inductances.

4.5.3.11.3 Avec des composants possédant une densité de puissance dissipée interne élevée, spécialement dans des conditions de surtension, la zone où l'échauffement critique peut être dépassé est souvent non accessible pour une mesure directe de l'échauffement.

A titre d'exemples, on peut citer

- la jonction des semiconducteurs de puissance,
- la partie active des dispositifs d'arrêt de tension,
- le fil de fusion de fusibles,
- l'enroulement de transformateur, d'inductance, et de condensateur.

Dans de tels cas, l'échauffement est directement mesuré à un point proche de la zone critique.

L'échauffement de ce point à la zone critique doit être calculé. Le calcul est fondé sur les données fournies par le fabricant du composant concerné, qui doit être capable de fournir les résultats d'essai pour confirmer ces données.

L'échauffement est défini par la différence de température entre la température en entrée de l'agent de refroidissement au convertisseur et la température dans le 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 peut ne pas être reproduit dans l'atelier, les valeurs appropriées de température déterminées par calcul peuvent être essayées par des essais de charges réduites ou par des essais du sous-circuit (partie du convertisseur). Les méthodes de réalisation de ces essais doivent être indiquées dans la spécification d'essai de type.

Critères d'acceptation: l'essai est déclaré réussi lorsque l'échauffement de tout composant est égal ou inférieur à ce qui est spécifié.

The temperature rise on the surface, or within the critical volume, of listed components within the convertor shall be verified to be lower than the specified limits, when the convertor is subjected to the load profile or to the equivalent calculated output current at nominal input voltage. For an auxiliary-convertor, see 7.4.7.

The method of measurement for each component in this list shall be specified: direct (4.5.3.11.1), indirect (4.5.3.11.2) or by calculation with respect to a measured reference point (4.5.3.11.3). It shall also be agreed if the test is to be carried out on a subcircuit or on the whole circuit.

4.5.3.11.1 The temperature rise may be measured directly with thermometer for instance on

- bus bars;
- resistors;
- capacitors;
- connecting junctions;
- heat sinks.

4.5.3.11.2 Indirect evaluation may be performed on windings of inductors.

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

Examples are:

- junction of power semi-conductors;
- active part of voltage arrestors;
- fuse wire of fuses;
- transformer, inductor and capacitor windings.

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

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

The temperature rise is defined by the temperature difference between the inlet temperature of the cooling agent to the convertor and the temperature in the component of concern. The ventilation conditions or the circulation conditions of a liquid cooling agent 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 convertors whose duty cycle may not be reproduced in the workshop, the appropriate values of temperature determined by calculation may be tested by reduced load tests or by subcircuit (part of convertor) tests. The methods of performing these tests shall be stated in the type-test specification.

Acceptance criteria: This test is declared successful when the temperature rise of any component is equal to, or lower than, that specified.

4.5.3.12 Détermination des pertes électriques (essai de type)

Cet essai est exécuté dans le but de calculer le rendement. Les pertes du convertisseur peuvent être déterminées soit par des calculs fondés sur des mesures (méthode des pertes séparées, voir la CEI 60146-1-1), soit par mesures des pertes. 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 essayées et d'un usage courant, il est permis de remplacer l'essai par le calcul fondé sur les mesures précédentes.

Critère d'acceptation: le rendement doit être conforme aux exigences du 4.3.4.4.3.

4.5.3.13 Essai de surtension d'alimentation et d'énergie transitoire (essai de type)

On doit confirmer que le convertisseur est en mesure de résister à la surtension et aux surtensions d'énergie transitoire, telles qu'il est spécifié en 4.2.7.

Si l'exploitant en convient, cet essai peut être remplacé par un calcul.

4.5.3.14 Variations rapides de charge (essai de type, soumis à accord entre le fabricant et l'exploitant)

L'auto-protection, le cas échéant, doit être en fonctionnement.

La tension d'essais doit être choisie par un accord entre le fabricant et l'exploitant.

Les conditions d'essais sont décrites en 5.1.2.5 et en 7.4.8.

Deux sortes d'essai peuvent être exécutées:

- essai de court-circuit,
- essai de coupure de charge.

Les critères d'acceptation doivent être indiqués dans le programme d'essai.

4.5.3.15 Essai de résistance d'isolement (essai de type, soumis à accord entre le fabricant et l'exploitant)

Cet essai est effectué pour vérifier la valeur spécifiée de résistance d'isolement. La valeur spécifiée et la méthode de mesure sont données dans la spécification.

Dans les cas où le convertisseur assure l'isolation électrique (voir 4.3.4.4.4), cette fonction doit être vérifiée par un essai agréé.

4.5.3.16 Essai diélectrique (essai de série)

4.5.3.16.1 Généralités

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 ou les lignes de fuite.

Les bornes principales du convertisseur aussi bien que les bornes des dispositifs décrits en 8.1 doivent être reliées entre elles.

L'appareillage de connexion et les contacteurs des circuits principaux doivent être fermés ou pontés.

4.5.3.12 Power loss determination (type test)

This test is carried out to calculate the efficiency. Converter losses may be determined, either by calculation based on measurements (for the method of separate losses, see IEC 60146-1-1) or by measurement of the losses. 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 criterion: The efficiency shall be in accordance with the requirements of 4.3.4.4.3.

4.5.3.13 Supply overvoltage and transient energy test (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.

4.5.3.14 Sudden variations of load (type test, 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 5.1.2.5 and 7.4.8.

Two kinds of test can be performed:

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

The acceptance criteria shall be stated in the test plan.

4.5.3.15 Insulation resistance test (routine test, subject to agreement between the manufacturer and the user)

This test is carried out to verify the specified value of insulation resistance. The specified value and the method of measurement are given in the specification.

In cases where the converter ensures electrical isolation (see 4.3.4.4.4), this function shall be checked by an agreed test.

4.5.3.16 Dielectric test (routine test)

4.5.3.16.1 General

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

The main terminals of the converter, such as the device terminals described in 8.1 shall be connected to each other.

Switchgear and contactors in main circuits shall be closed or bridged.

Les composants ou sous-ensembles qui n'ont pas de liaison métallique avec les circuits principaux en 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, transducteur, etc.) les bornes qui sont à la plus basse tension doivent être connectées à la masse et l'autre borne doit être connectée avec le circuit principal.

Des composants tels que les limiteurs de tension protégeant l'isolation de base du convertisseur ou des condensateurs Y dans des filtres CEM peuvent être déconnectés pendant l'essai. La déconnexion de composants doit être citée dans le programme d'essai et le rapport d'essai.

L'essai suivant doit être effectué à 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 4.5.3.16.4.

4.5.3.16.2 Essai diélectrique de l'équipement de convertisseurs avec des parties installés séparément

Chacune des parties du convertisseur doit être essayée séparément ou les parties doivent être connectées entre elles puis essayées. La méthode d'essai est donnée en 4.5.3.16.3.

4.5.3.16.3 Essai diélectrique d'un convertisseur monté dans une seule enveloppe

– Convertisseur direct

La tension d'essai, conformément à 4.5.3.16.4 est appliquée entre les bornes connectées ensemble et l'enveloppe.

– Convertisseur indirect et système de convertisseur

Chaque partie du convertisseur peut être essayée séparément avec une tension d'essai différente. La tension d'essai, conformément à 4.5.3.16.4, 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.

4.5.3.16.4 Tension d'essai

Généralement, le niveau de tension d'essai doit être sélectionné conformément au Tableau 8 de la CEI 60077-1, qui est fondée sur la tension d'isolement assignée. Cependant, pour des convertisseurs bien protégés par des circuits d'entrée, correspondant à la catégorie de surtension OV2, une tension d'essai inférieure conformément au Tableau F.1 peut être choisie, en se fondant sur la tension de tenue aux chocs assignée conformément au Tableau G.1.

Afin de prévenir les dommages préliminaires 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 d'un facteur de 0,8.

4.5.3.17 Essai de décharges partielles (essai de type, soumis à accord entre le fabricant et l'exploitant)

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 travaillant sous 1500 V ou plus et spécialement pour les nouveaux composants et sous-ensembles de semiconducteurs ayant une nouvelle technologie d'isolement.

Components or subassemblies not metallically connected to main circuits under test (for example, control circuits, motors or fans) shall be grounded during the dielectric test. If components or subassemblies ensure the insulation between different levels of voltage (for example, pulse transformers, transducers), the terminals which have the lowest voltage shall be connected to the ground and the other terminal shall be connected to the main circuit.

Components such as voltage limiters protecting the basic insulation of the convertor or Y-capacitors in EMC filters may be disconnected during the test. The disconnection of components shall be cited in the test plan 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 4.5.3.16.4 is applied.

4.5.3.16.2 Dielectric test of convertor equipment with parts installed separately

All equipment parts shall either be tested separately or be connected with each other and then tested. The test method is given in 4.5.3.16.3.

4.5.3.16.3 Dielectric test of a convertor arranged in a single housing

- Direct convertor

The test voltage, in accordance with 4.5.3.16.4, is applied between the terminals connected together and the housing.

- Indirect convertor and convertor system

Each part of the convertor may be tested separately with a different test voltage. The test voltage, in accordance with 4.5.3.16.4, 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.

4.5.3.16.4 Test voltage

Generally, the test voltage level shall be selected according to Table 8 of IEC 60077-1, which is based on the rated insulation voltage. However, for convertors which are well-protected by input circuits, corresponding to overvoltage category OV2, a lower test voltage according to Table F.1 may be chosen, based on the rated impulse withstand voltage according to Table G.1.

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 by a factor 0,8.

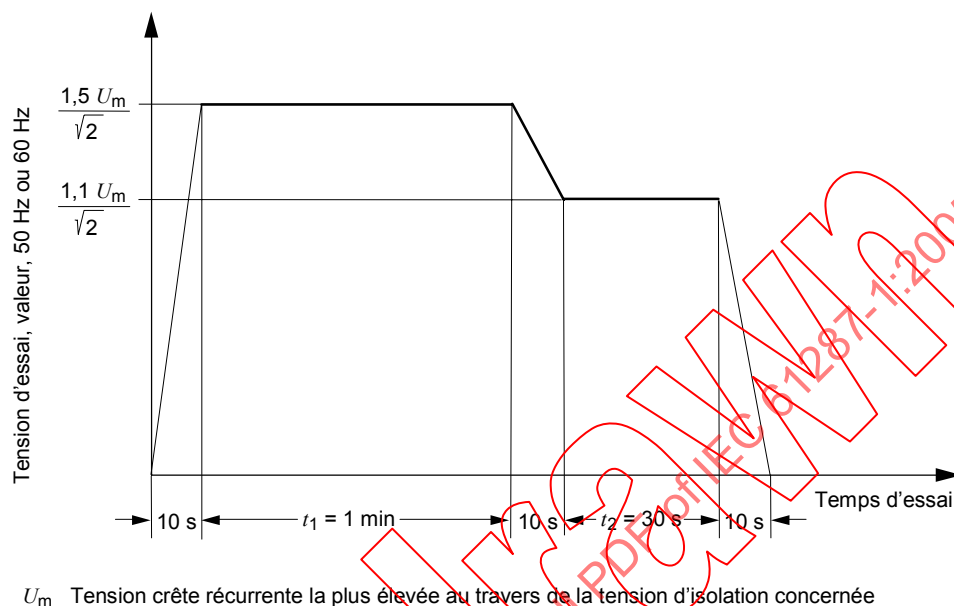
4.5.3.17 Partial discharge test (type test, subject to agreement between the manufacturer and the user)

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

It is recommended that this test be carried out for equipment working at 1 500 V or more, especially for new components and for semiconductor subassemblies with new insulating technology.

Le fabricant ou l'exploitant doit définir la liste des composants ou des sous-ensembles soumis aux essais.

La CEI 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 1338/05

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 la 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.

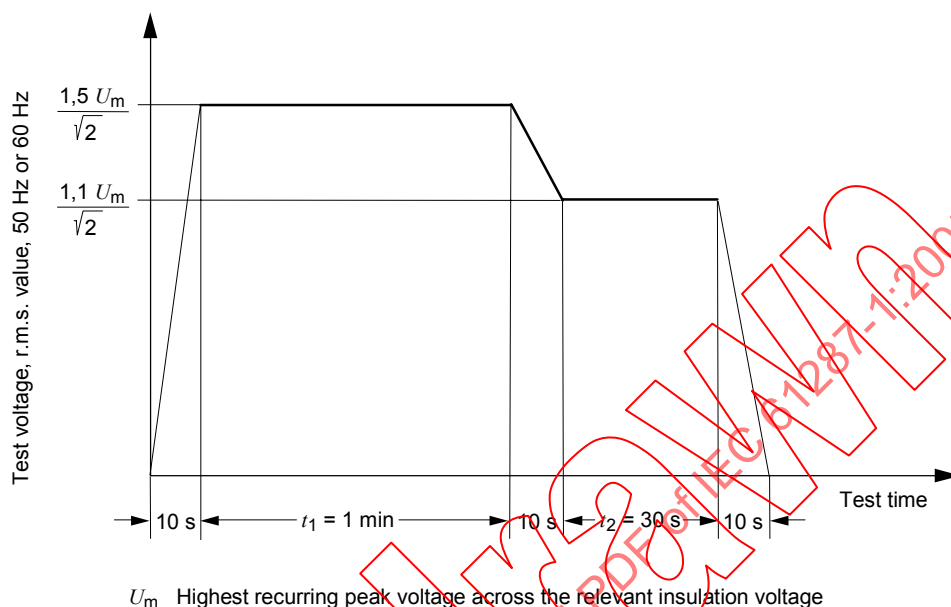
4.5.3.18 Examen pour les exigences de sécurité (essai de type)

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.

Il convient de prêter attention au fait que des tensions dangereuses peuvent être présentes dans les condensateurs pour un certain temps après la déconnexion du convertisseur. Les exigences minimales sont fournies dans la CEI 61991. La spécification doit indiquer les dispositions applicables y compris les critères d'acceptation.

The manufacturer or the user shall define the list of the components or subassemblies submitted for these tests.

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 1338/05

Figure 1 – Partial discharge test; voltage versus time

An r.m.s. a.c. 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 $t_1 = 1 \text{ min}$ (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 $t_2 = 30 \text{ s}$. 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.

4.5.3.18 Safety requirements inspection (type test)

The inspection is provided to check that the design of the convertor 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 convertor. Minimum requirements are given in IEC 61991. The specification shall state the relevant arrangements including the acceptance criteria.

4.5.3.19 Essais de tenue aux vibrations et aux chocs (essai de type)

Voir la CEI 61373 et 4.2.5.1.

4.5.3.20 Essai de compatibilité électromagnétique (essai de type)

Les essais de compatibilité électromagnétique du convertisseur sont spécifiés dans la CEI 62236-3-2.

4.5.3.21 Variation de tension de ligne par palier (essai de type)

Cet essai est prévu pour vérifier la performance convenue du convertisseur sous des variations soudaines de tension de ligne comme spécifié en 4.2.7.1.2 et 4.2.7.2.2. Cet essai peut être remplacé par un calcul sous réserve de l'accord de l'exploitant.

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 Essai d'interruption d'alimentation de courte durée (essai de type)

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 du convertisseur. Il convient que la condition d'essai fasse l'objet d'un accord entre le fabricant et l'exploitant.

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.

4.5.3.23 Répartition du courant (essai de type, soumis à un accord entre le fabricant et l'exploitant)

L'objet de cet essai est de vérifier la répartition correcte de courant des sous-ensembles connectés en parallèle. La mesure de la répartition de courant des dispositifs à semi-conducteurs directement connectés en parallèle dans un sous-ensemble ne fait pas partie de l'essai de type du convertisseur.

NOTE Il peut être nécessaire de remplacer la connexion normale à ces composants par capteur de courant à incorporation de connexion spéciale.

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 défectueux 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 la réalisation de l'essai de type.

4.5.3.19 Tests for withstanding vibration and shock (type test)

See IEC 61373 and 4.2.5.1.

4.5.3.20 Test of electromagnetic compatibility (type test)

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

4.5.3.21 Step change of line voltage test (type test)

This test is provided to verify the agreed performance of the convertor under sudden line-voltage variations as specified in 4.2.7.1.2 and 4.2.7.2.2. 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.

4.5.3.22 Short-time supply interruption test (type test)

This test is provided to verify that a line voltage supply interruption of any duration does not damage the convertor and the current consumption remains within the specified limits, independent of the load conditions of the convertor. The test condition should be agreed upon between manufacturer and user.

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

4.5.3.23 Current sharing (type test, subject to agreement between 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 convertor type test.

NOTE It may be necessary to replace the normal connection to these components by a special connection incorporation 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 Convertisseur de traction direct

5.1 Convertisseurs à commutation de ligne pour moteurs à courant continu

Le convertisseur est un redresseur à commutation de ligne (avec thyristors) et peut être connecté à une ligne, un générateur ou transformateur de ligne.

5.1.1 Caractéristiques

5.1.1.1 Interface entre le moteur et le convertisseur

Les caractéristiques des moteurs de traction sont traitées dans la CEI 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);
- les composantes harmoniques 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 liées aux inductances de lissage spécifiées.

Les valeurs caractéristiques du moteur sont données en 5.2.1.

Le concepteur du système doit coordonner et la spécification doit faire l'objet d'un accord entre le concepteur du système et le fabricant.

5.1.1.2 Interface entre le transformateur principal et le convertisseur

Les caractéristiques des transformateurs principaux sont traitées dans la CEI 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;
 - courant de court-circuit après une défaillance de commutation.

Le concepteur du système doit coordonner et la spécification doit faire l'objet d'un accord entre le concepteur du système et le fabricant.

5 Direct traction convertors

5.1 Line-commutated convertors for d.c. motors

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

5.1.1 Characteristics

5.1.1.1 Interface between motor and convertor

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 convertor including the following characteristics.

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

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

The characteristic values of the motor are given in 5.2.1.

The system engineering shall coordinate and the specification shall be agreed between system engineering and the manufacturer.

5.1.1.2 Interface between main transformer and convertor

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 convertor including the following characteristics:

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

The system engineering shall coordinate and the specification shall be agreed upon between system engineering and the manufacturer.

5.1.2 Essais

5.1.2.1 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 4 sont des essais de type et peuvent être effectués dans l'atelier ou sur le véhicule.

Tableau 4 – Essais de type complémentaires pour des convertisseurs de traction directs

Nature des essais	Emplacement	Paragraphe
Mesure de la régulation de la tension directe	W.S./Véhicule	5.1.2.2
Essai de courant d'ondulation de charge	W.S./Véhicule	5.1.2.3
Essai de court-circuit (l'exécution de l'essai est soumise à un accord entre le fabricant et l'exploitant)	W.S./Véhicule	5.1.2.4
Essai de coupure de charge (l'exécution de l'essai est soumise à un accord entre le fabricant et l'exploitant)	W.S./Véhicule	5.1.2.5
Essai d'interruption d'alimentation de courte durée en mode par récupération	W.S./Véhicule	5.1.2.6
W.S./Véhicule	L'essai peut être effectué dans l'atelier ou sur le véhicule.	

5.1.2.2 Mesure de la régulation de tension directe (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.

5.1.2.3 Essai de courant d'ondulation de charge (essai de type)

Pour la tension de ligne spécifiée et la charge spécifiée, on mesure, 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 5.2.1.

5.1.2.4 Essai de court-circuit (essai de type, soumis à 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.

5.1.2 Tests

5.1.2.1 General

No modification of the power circuit of the convertor is allowed, but the test control method can be changed ensuring at least the same stress to the convertor as in the intended application. A test bench control equipment can be used provided that the working of the convertor 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 convertor.

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

Table 4 – Additional type tests for direct traction convertors

Nature of test	Location	Subclause
Measurement of direct voltage regulation	W.S./V	5.1.2.2
Load-ripple current test	W.S./V	5.1.2.3
Short-circuit test (the execution of the test is subject to agreement between the manufacturer and the user)	W.S./V	5.1.2.4
Load-break test (the execution of the test is subject to agreement between the manufacturer and the user)	W.S./V	5.1.2.5
Short-time supply interruption test in regenerative mode	W.S./V	5.1.2.6
W.S./V The test can be made in the workshop or on the vehicle.		

5.1.2.2 Measurement of direct voltage regulation (type test)

The voltage is measured directly at the terminals of the convertor, 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.

5.1.2.3 Load-ripple current test (type test)

For specified line voltage, for specified load and at points of operation corresponding to the maximum ripple current, the d.c. 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 5.2.1.

5.1.2.4 Short-circuit test (type test, subject to agreement between the manufacturer and the user)

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

The test specification is written by the manufacturer.

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 dispositifs 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 dispositif de court-circuit simulant le chemin de court-circuit.

Pour des moteurs 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, le dispositif 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 en enregistrant la forme d'onde de surintensité.

Critères d'acceptation: l'essai est déclaré réussi si aucun composant n'est endommagé pendant l'essai.

5.1.2.5 Essai de coupure de charge (essai de type, soumis à accord entre le fabricant et l'exploitant)

Cet essai est destiné à vérifier que le convertisseur ne subit 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.

5.1.2.6 Essai d'interruption d'alimentation de courte durée en mode par récupération (essai de type)

Le but de l'essai d'interruption d'alimentation de courte durée est décrit en 4.5.3.22. 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.

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 d.c. 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 overcurrent waveform shall be recorded.

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

5.1.2.5 Load-break test (type test, 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.

5.1.2.6 Short-time supply interruption test in regenerative mode (type test)

The aim of the short-time supply interruption test is described in 4.5.3.22. 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 Hacheurs pour moteurs à courant continu

5.2.1 Caractéristiques

Les caractéristiques du réseau d'alimentation sont définies en 4.2.7.

Les caractéristiques des moteurs de traction sont traitées dans la CEI 60349-1.

5.2.1.1 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,
 - voltage 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.

5.2 Choppers for d.c. motors

5.2.1 Characteristics

The supply system characteristics are defined in 4.2.7.

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

5.2.1.1 Interface between motor and convertor

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

- the characteristic values of the convertor 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 d.c. 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 convertor is allowed, but the test control method can be changed ensuring at least the same stress to the convertor as in the intended application. A test bench control equipment can be used provided that the working of the convertor 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 convertor.

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

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

Nature des essais		Emplacement	Paragraphe
Essai de tension de sortie	(essai de type)	W.S./véhicule	5.2.2.2
Tension de sortie maximale	(essai de type)	W.S.	5.2.2.3
Tension de sortie minimale	(essai de type)	W.S.	5.2.2.4
Essai à faible charge	(essai de série)	W.S.	5.2.2.5
Essai de courant d'ondulation de charge	(essai de type)	W.S./véhicule	5.2.2.6
Essai de coupure de charge (l'exécution de l'essai est soumise à un accord entre le fabricant et l'exploitant)	(essai de type)	W.S.	5.2.2.7
Essai de court-circuit (l'exécution de l'essai est soumise à un accord entre le fabricant et l'exploitant)	(essai de type)	W.S./véhicule	5.2.2.8
W.S.	L'essai peut être effectué dans l'atelier.		
W.S./Véhicule	L'essai peut être effectué dans l'atelier ou sur le véhicule.		

5.2.2.2 Essai de tension de sortie (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 de sortie maximale (essai de type)

Pour la tension d'entrée minimale et le courant de sortie maximale, la tension de sortie moyenne du convertisseur doit répondre 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 de sortie minimale (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 "marche" 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 (essai de série)

Le but de l'essai à faible charge est décrit en 4.5.3.7. De plus, pour un hacheur polyphasé chaque phase peut être essayée séparément.

Critères d'acceptation: voir 4.5.3.7.

5.2.2.6 Essai de courant d'ondulation de charge (essai de type)

Pour la tension d'alimentation spécifiée et la charge spécifiée, on mesure 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.

Table 5 – Additional tests for choppers for d.c. motors

Nature of test	Location	Subclause
Output voltage test (type test)	W.S./V	5.2.2.2
Maximum output voltage (type test)	W.S.	5.2.2.3
Minimum output voltage (type test)	W.S.	5.2.2.4
Light load test (routine test)	W.S.	5.2.2.5
Load-ripple current test (type test)	W.S./V	5.2.2.6
Load-break test (type test) (the execution of the test is subject to agreement between the manufacturer and the user)	W.S.	5.2.2.7
Short-circuit test (type test) (the execution of the test is subject to agreement between the manufacturer and the user)	W.S./V	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.		

5.2.2.2 Output voltage test (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 (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 (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 (routine test)

The aim of the light load test is described in 4.5.3.7. In addition, for a multiphase chopper each phase may be tested separately.

Acceptance criteria: See 4.5.3.7.

5.2.2.6 Load-ripple current test (type test)

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

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 5.2.1.1.

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 (essai de type, soumis à accord entre le fabricant et l'exploitant)

Cet essai est destiné à vérifier que le convertisseur ne subit 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 (essai de type, soumis à accord entre le fabricant et l'exploitant)

Cet essai est effectué pour vérifier la protection du convertisseur contre les surintensités (par exemple, un 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 dispositifs 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 dispositif 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 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 de 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 dans la charge simulée a atteint les conditions continues, le dispositif 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.

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 5.2.1.1.

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 (type test, subject to agreement between the manufacturer and the user)

This test is carried out to verify that the convertor 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 convertor 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 (type test, subject to agreement between the manufacturer and the user)

This test is carried out to verify the protection of the convertor against overcurrents (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 d.c. motor including all effective smoothing resistance;
- a short-circuit device simulating the short-circuit path.

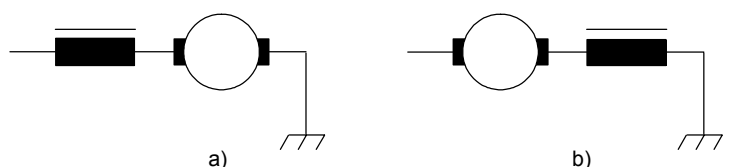
For example, if the convertor is intended to withstand such a short circuit, a short-circuit device shall be connected in parallel with this load in accordance with Figure 2. For series motors, it is possible to have the connections shown in Figures 2a and 2b. In the case of Figure 2a, the flashover 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.

Sauf spécification contraire, les fusibles, s'ils existent, ne doivent pas être détruits durant cet essai.

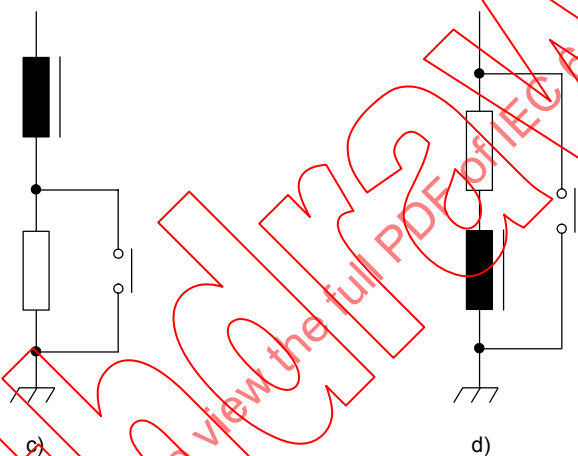
Cet essai doit être effectué une fois en enregistrant la forme d'onde de surintensité.

Critères d'acceptation: l'essai est déclaré réussi si aucun composant n'est endommagé.



IEC 1339/05

Figures 2a) et 2b) – Connexions induit/inducteur de moteurs série



IEC 1340/05

Figures 2c) et 2d) – Connexion de court circuit de charge simulée

Figure 2 – Configuration des moteurs série

5.3 Convertisseurs polyphasés pour moteurs à courant alternatif (onduleurs)

Les moteurs de traction polyphasés peuvent être tournants ou linéaires. Les convertisseurs pour les moteurs linéaires à stator fixe sont exclus.

5.3.1 Caractéristiques

Les caractéristiques des moteurs de traction sont traitées dans la CEI 60349-2. Les échanges d'informations entre les fabricants de moteurs, les fabricants de convertisseurs et ceux des dispositifs de commande sont spécifiées en 3.1 de la CEI 60349-2.

5.3.1.1 Interfaces entre le moteur et le convertisseur (onduleur)

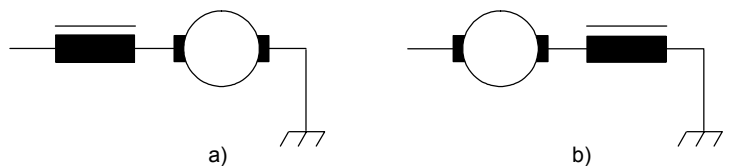
L'interface ou les interfaces entre le moteur et le convertisseur doivent être définies dans une spécification particulière, convenue entre les fabricants de moteurs et de convertisseurs, de la façon suivante:

- 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.);

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

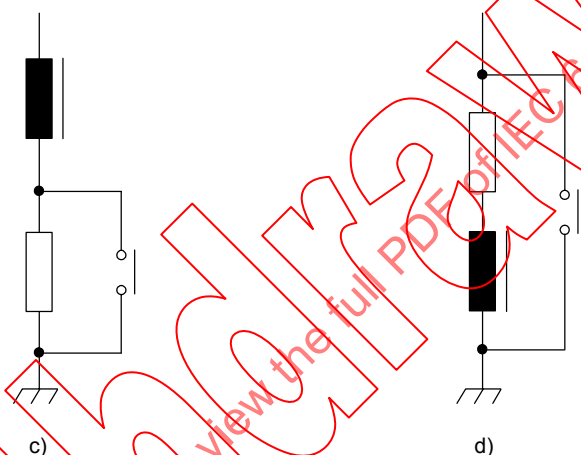
This test shall be made once and the overcurrent waveform shall be recorded.

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



IEC 1339/05

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



IEC 1340/05

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

Figure 2 – Configuration of series motors

5.3 Multiphase converters for a.c. motors (inverters)

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

5.3.1 Characteristics

Characteristics of traction motors are dealt with in IEC 60349-2. The exchanges of information between the motor manufacturer, the convertor manufacturer and the control manufacturer are specified in 3.1 of IEC 60349-2.

5.3.1.1 Interfaces between motor and convertor (inverter)

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

- voltage or current harmonics which influence the performance of the motor (through additional power losses, torque ripple, 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.);
- le 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;
- le 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 de moteur.

Ces quantités doivent être définies pour chaque mode de fonctionnement.

5.3.2 Essais

5.3.2.1 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.

5.3.2.2 Essai de commutation supplémentaire (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 de fonctionnement de toutes les parties du circuit de commutation (semiconducteur de puissance, circuit d'amortissement, inductance, etc.) sont en conformité avec les valeurs spécifiées.

6 Convertisseur de traction indirect

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).

6.1 Convertisseur de ligne

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.

NOTE Si un convertisseur auxiliaire est alimenté par le convertisseur de ligne, 7.1.2.2 est applicable au convertisseur auxiliaire.

- 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.

5.3.2 Tests

5.3.2.1 General

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

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

5.3.2.2 Additional commutation test (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 convertors

This clause applies to indirect convertors supplying d.c. or multiphase motors. An indirect traction convertor is composed of an input section called a line convertor and an output section called a motor convertor (inverter).

6.1 Line convertor

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

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

NOTE If an auxiliary convertor is fed from the line convertor, 7.1.2.2 is applicable to the auxiliary convertor.

6.1.1 Caractéristiques

6.1.1.1 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 5.1.1.2, et les caractéristiques du transformateur, y compris son inductance de fuite et son inductance mutuelle, doivent être spécifiées conformément à la CEI 60310.

6.1.1.2 Caractéristiques de sortie

Les grandeurs de sortie liées 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 composants 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.

6.1.1.3 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.

6.1.1.4 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 la CEI 61991, Paragraphe 4.2 et 4.3, 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.

6.1.2 Essais

Le convertisseur de ligne peut faire l'objet d'un essai séparé à partir du convertisseur de moteur. Le Paragraphe 5.3.2.1 s'applique au Paragraphe 6.1.2.1.

6.1.1 Characteristics

6.1.1.1 Input characteristics

The supply system characteristics are defined in 4.2.7.

In the case of a single-phase a.c. supply, the convertor may be used to control the power factor and harmonic content on the a.c. side; the power factor and harmonic content shall be specified in the specification. The interface between transformer and convertor shall be specified as given in 5.1.1.2, and the characteristics of the transformer, including its leakage inductance and mutual inductance, shall be specified according to IEC 60310.

6.1.1.2 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 d.c. components of these values are the input values of the traction convertor which is connected to the intermediate link.

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

6.1.1.3 Short-circuit protection

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

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

6.1.1.4 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, 4.2 and 4.3, the manufacturer can select a lower voltage level (for instance the output level) considering the following points:

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

This shall be agreed between the manufacturer and the user.

6.1.2 Tests

The line convertor may be tested separately from the motor convertor. Subclause 5.3.2.1 applies to 6.1.2.1.

6.1.2.1 Essai à faible charge (essai de série)

Pour l'exécution de l'essai et les critères d'acceptation, voir 4.5.3.7.

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.

6.1.2.2 Essai d'échauffement (essai de type)

Pour l'exécution de l'essai et les critères d'acceptation, voir 4.5.3.11.

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 constituer 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.

6.2 Convertisseur en cascade (onduleur)

6.2.1 Convertisseur en cascade pour moteurs à courant continu (hacheur ou redresseur)

Les Paragraphes 5.1 et 5.2 s'appliquent.

6.2.2 Convertisseur en cascade pour moteurs à courant alternatif (onduleur)

Le Paragraphe 5.3 s'applique.

7 Convertisseurs auxiliaires

Un convertisseur auxiliaire peut être soit un convertisseur direct soit indirect, en raison de ses caractéristiques d'entrée.

7.1 Caractéristiques

7.1.1 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.

6.1.2.1 Light load test (routine test)

For execution of the test and acceptance criteria, see 4.5.3.7.

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

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

6.1.2.2 Temperature-rise test (type test)

For execution of the test and acceptance criteria, see 4.5.3.11.

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

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

6.2 Motor convertor

6.2.1 Motor convertor for d.c. motors (chopper or rectifier)

Subclauses 5.1 and 5.2 apply to this subclause.

6.2.2 Motor convertor for a.c. motors (inverter)

Subclause 5.3 applies to this subclause.

7 Auxiliary convertors

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

7.1 Characteristics

7.1.1 Auxiliary convertor starting conditions

Generally the auxiliary convertor 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 convertor is supplied by its input voltage.

- Starting by main vehicle battery

The energy used to start the convertor is supplied by the main vehicle battery.

- Starting by auxiliary battery

The energy used to start the convertor is supplied by an auxiliary battery specific to the convertor.

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

7.1.2 Conditions et caractéristiques d'entrée

7.1.2.1 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.

7.1.2.2 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.

7.1.2.3 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).

7.1.3 Caractéristiques de sortie

Un convertisseur auxiliaire peut posséder une sortie ou des sorties multiples.

7.1.3.1 Liste des caractéristiques de sortie

Un convertisseur auxiliaire peut délivrer plusieurs tensions de sortie de nature différente.

Il faut spécifier, pour chaque sortie, au minimum les caractéristiques suivantes:

- la tension de sortie à courant continu:
 - puissance permanente maximale (à une tension spécifiée),
 - tension et tolérances ou mode de charge (dans le cas d'une charge batterie),
 - ondulation du courant continu à une charge assignée,
 - surcharge admissible,
 - courant de crête instantané,
 - taux maximal d'augmentation de tension;
- la tension de sortie à courant alternatif:
 - puissance permanente maximale (puissance apparente),
 - tensions et tolérances,
 - fréquence et tolérances,
 - régulation de tension et de fréquence à une charge assignée et en surcharge,
 - amplitudes de tension harmonique individuelle,
 - surcharge admissible,
 - courant de crête instantané,
 - taux maximal d'augmentation de tension.
- pour un transformateur triphasé: possibilité de charge asymétrique et de charge du point neutre du transformateur.

7.1.2 Input conditions and characteristics

7.1.2.1 Connection to the line

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

7.1.2.2 Connection to the traction convertor

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

7.1.2.3 Connection to a bus bar supplied by another auxiliary convertor or by a battery

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

7.1.3 Output characteristics

An auxiliary convertor can have one output or multiple outputs.

7.1.3.1 List of output characteristics

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

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

- d.c. output voltage:
 - maximum continuous power (at specified voltage);
 - voltage and tolerances or charging mode (in case of battery charging);
 - d.c. current ripple at rated load;
 - admissible overload;
 - instantaneous peak current;
 - maximum rate of rise of voltage;
- a.c. output voltage:
 - maximum continuous power (apparent power);
 - voltage and tolerances;
 - frequency and tolerances;
 - voltage and frequency control at rated load and at overload;
 - individual harmonic voltage amplitudes;
 - admissible overload;
 - instantaneous peak current;
 - maximum rate of rise of voltage;
- for three-phase transformer: possibility of asymmetrical load and loading the transformer star-point.

7.1.3.2 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.

7.1.3.3 Commande de tension et de fréquence

La tension de sortie à courant alternatif du convertisseur peut correspondre aux deux types suivants:

- à fréquence fixe: dans ce cas, la tolérance sur la valeur de fréquence doit être spécifiée;
- fréquence variable: dans ce cas, les points suivants doivent être spécifiés:
 - la plage de variation de fréquence;
 - si la fréquence varie de façon continue ou par pas.

7.1.3.4 Harmonique de la tension de sortie des sorties à courant alternatif

Les harmoniques de la sortie à courant alternatif sont contenues dans la tension de sortie du convertisseur de source de tension. Ces harmoniques doivent être caractérisées par un facteur de distorsion.

7.2 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.

7.3 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 la CEI 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 autre 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.

7.4 Essais

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.

7.1.3.2 Output power

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

7.1.3.3 Voltage and frequency control

The a.c. output voltage of the convertor can be of two types:

- fixed frequency: in this case the tolerance of the frequency shall be specified;
- variable frequency: in this case the following shall be specified:
 - the range of variation of frequency;
 - whether the frequency varies continuously or by steps.

7.1.3.4 Output voltage harmonics of a.c. outputs

The harmonics of the a.c. output are contained in the output voltage of the voltage source convertor. These harmonics shall be characterized by a distortion factor.

7.2 Short-circuit protection

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

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

7.3 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 convertor (crowbar or other equipment);
- the insulating levels of the load;
- the safety rules.

This shall be agreed between the manufacturer and the user.

7.4 Tests

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.

Dans des cas particuliers (par exemple des convertisseurs auxiliaires à grande puissance pour l'alimentation des trains), après accord entre le fabricant et l'exploitant la charge peut être réduite et la méthode de commande peut être modifiée en assurant au minimum la même contrainte sur le convertisseur que dans l'application prévue.

Tableau 6 – Essais supplémentaires pour les convertisseurs auxiliaires

Nature des essais		Emplacement	Paragraphe
Essais des caractéristiques de sortie	(essai de type)	W.S.	7.4.1
Essai de démarrage et de redémarrage	(essai de type)	W.S.	7.4.2
Essai de court-circuit	(essai de type)	W.S. ^a	7.4.3
Vérification des plages de tensions et de fréquences	(essai de type)	W.S.	7.4.4
Essai de charge assignée	(essai de série)	W.S.	7.4.5
Essai de capacité de surcharge	(essai de type)	W.S.	7.4.6
Essais d'échauffement	(essai de type)	W.S.	7.4.7
Essai de coupure de charge	(essai de type)	W.S.	7.4.8
W.S. L'essai doit être effectué dans l'atelier.			
^a 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.			

7.4.1 Essais des caractéristiques de sortie (essai de type)

Cet essai est effectué pour vérifier que les caractéristiques électriques suivantes (si applicables) sont conformes à celles qui sont spécifiées:

- régulation de tension et de fréquence à une charge assignée et en surcharge;
- ondulation de courant continu (dans le cas de redresseur et de hacheur);
- amplitudes de tensions harmoniques individuelles;
- limite de courant et de tension (le cas échéant).

La charge peut être une charge de substitution.

Cet essai doit être effectué à des tensions assignées d'entrée minimales et maximales.

Cet essai doit être effectué à une puissance assignée.

Critères d'acceptation: cet essai est déclaré réussi si les valeurs mesurées sont conformes à celles qui sont spécifiées.

7.4.2 Essai de démarrage et de redémarrage (essai de type)

Cet essai est effectué pour vérifier les caractéristiques décrites en 7.1.1.

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.

In special cases (for example, high-power auxiliary convertors for train supply), after agreement between the manufacturer and the user, the load may be reduced and the control method may be changed, ensuring at least the same stress on the convertor as in the intended application.

Table 6 – Additional tests for auxiliary convertors

Nature of test	Location	Subclause
Output characteristics test (type test)	W.S.	7.4.1
Starting and restarting test (type test)	W.S	7.4.2
Short-circuit test (type test)	W.S ^a	7.4.3
Voltage and frequency range verification (type test)	W.S.	7.4.4
Rated load test (routine test)	W.S	7.4.5
Overload capability test (type test)	W.S	7.4.6
Temperature-rise test (type test)	W.S	7.4.7
Load-break test (type test)	W.S	7.4.8
W.S. The test shall be made in the workshop.		
^a If the convertor is short-circuit-proof, this test shall be carried out. This test shall demonstrate that the behaviour of the convertor conforms with the values specified in 7.2.		

7.4.1 Output characteristics test (type test)

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

- voltage and frequency control at rated load and at overload;
- d.c. current ripple (in case of rectifier and chopper);
- individual harmonic voltage amplitudes;
- current and voltage limitation (if any).

The load can be a substitute load.

This test shall be carried out at minimum and maximum input rated voltages.

This test shall be carried out at rated power.

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

7.4.2 Starting and restarting test (type test)

This test is carried out to verify the characteristics described in 7.1.1.

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

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

7.4.3 Essai de court-circuit (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.

7.4.4 Vérification des plages de tensions et de fréquences (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 (7.1.3.3).

7.4.5 Essai de charge assignée (essai de série)

La charge peut être simulée mais le convertisseur doit fournir la puissance aux conditions assignées.

Critères d'acceptation: l'essai est réussi si les valeurs de sortie sont telles que spécifiées dans des conditions d'entrée spécifiques (fixes et transitoires).

7.4.6 Essai de capacité de surcharge (essai de type)

Cet essai doit être effectué pour vérifier la capacité de surcharge telle définie en 7.1.3.2.

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 4.5.3.11 ainsi que 7.1.3.2).

7.4.7 Essai d'échauffement (essai de type)

Cet essai doit être effectué dans des conditions de sortie assignées conformément à 7.1.3.2.

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 l'échauffement doit être mesuré.

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 des conditions de refroidissement spécifiées.

Dans le cas des convertisseurs à très haute puissance dont le cycle de service peut ne 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.

7.4.3 Short-circuit test (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 convertor occurs during the test.

7.4.4 Voltage and frequency ranges verification (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 (7.1.3.3).

7.4.5 Rated load test (routine test)

The load can be simulated but the convertor shall deliver the power at rated conditions.

Acceptance criteria: The test is successful if the output values are as specified under specific input conditions (stationary and transitory).

7.4.6 Overload capability test (type test)

This test shall be carried out to verify the overload capability as defined in 7.1.3.2.

Acceptance criteria: The test is successful if the convertor supplies the overload for the specified time without sustaining any damage and without exceeding any critical temperature (see 4.5.3.11 as well as 7.1.3.2).

7.4.7 Temperature-rise test (type test)

This test shall be carried out at rated output conditions according to 7.1.3.2

The manufacturer and the user shall agree, before the test, on a list of measuring points (for example, inside cubical, main heat sink, etc.) whose temperature rise 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 convertors 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 subcircuit (part of convertor) tests under controlled conditions.

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