

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

Railway applications – Fixed installations – Electronic power converters for substations

Applications ferroviaires – Installations fixes – Convertisseurs électroniques de puissance pour sous-stations



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2010 IEC, Geneva, Switzerland

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

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

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

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

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

About the IEC

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

About IEC publications

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

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

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 It also gives information on projects, withdrawn and replaced publications.

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

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

- Electropedia: www.electropedia.org

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

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

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

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

A propos de la CEI

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

A propos des publications CEI

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

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

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

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

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

- Electropedia: www.electropedia.org

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

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

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

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



IEC 62590

Edition 1.0 2010-06

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

Railway applications – Fixed installations – Electronic power converters for substations

Applications ferroviaires – Installations fixes – Convertisseurs électroniques de puissance pour sous-stations

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX

XA

ICS 45.060

ISBN 978-2-88912-000-0

CONTENTS

FOREWORD.....	5
INTRODUCTION.....	7
1 Scope.....	8
2 Normative references	8
3 Terms and definitions	9
3.1 Semiconductor devices and combinations	9
3.2 Arms and connections	10
3.3 Controllability of converter arms and quadrants of operation	11
3.4 Commutation, quenching and commutation circuitry	11
3.5 Commutation characteristics	12
3.6 Rated values	15
3.7 Load capabilities	16
3.8 Specific voltages, currents and factors	16
3.9 Definitions related to virtual junction temperature	17
3.10 Cooling.....	18
3.11 Electromagnetic compatibility and harmonic distortion	19
4 Operation of semiconductor power equipment and valve devices.....	19
4.1 Classification of traction supply power converters and valves.....	19
4.1.1 Types of traction supply power converters	19
4.1.2 Purpose of conversion	19
4.1.3 Classification of semiconductor valve devices	19
4.2 Principal letter symbols	20
4.3 Basic calculation factors for line commutated converters.....	21
4.3.1 Voltage.....	21
4.3.2 Voltage characteristics and transition current	21
5 Service conditions	22
5.1 Code of identification of cooling method	22
5.1.1 Letter symbols to be used.....	22
5.1.2 Arrangement of letter symbols	22
5.2 Environmental conditions	23
5.2.1 Ambient air circulation	23
5.2.2 Normal service conditions.....	23
5.2.3 Special service conditions	24
5.3 Electrical service conditions	25
5.3.1 General	25
5.3.2 Limiting values as basis of rating	25
5.3.3 DC traction supply voltage.....	26
6 Converter equipment and assemblies	26
6.1 Electrical connections.....	26
6.2 Calculation factors.....	28
6.2.1 Current factor on the a.c. side	28
6.2.2 Voltage drop.....	29
6.3 Losses and efficiency	29
6.3.1 General	29
6.3.2 Included losses.....	29
6.4 Power factor	29

6.5	Direct voltage harmonic content	30
6.6	Electromagnetic compatibility (EMC)	30
6.7	Rated values for converters	30
6.7.1	General	30
6.7.2	Current values	31
6.7.3	Capability for unsymmetrical load of a 12-pulse converter in parallel connection	33
6.7.4	Semiconductor device failure conditions	33
6.8	Mechanical characteristics	33
6.8.1	General	33
6.8.2	Earthing	34
6.8.3	Degree of protection	34
6.9	Marking	34
6.9.1	Rating plate	34
6.9.2	Main circuit terminals	35
7	Tests	35
7.1	General	35
7.1.1	Performance of tests	35
7.1.2	Test schedule	35
7.2	Test specifications	36
7.2.1	Insulation tests	36
7.2.2	Light load functional test	38
7.2.3	Load test	38
7.2.4	Power loss determination	39
7.2.5	Temperature-rise test	39
7.2.6	Checking of auxiliary devices	40
7.2.7	Checking of the properties of the control equipment	40
7.2.8	Checking of the protective devices	40
7.2.9	Short-time withstand current test	41
7.2.10	Additional tests	41
Annex A (informative)	Information required	42
Annex B (informative)	Determination of the current capability through calculation of the virtual junction temperature	48
Annex C (informative)	Index of definitions	53
Bibliography		55
Figure 1	– Illustration of angles	14
Figure 2	– Voltage drop	21
Figure 3	– AC voltage waveform	26
Figure B.1	– Approximation of the shape of power pulses	49
Figure B.2	– Calculation of the virtual junction temperature for continuous load	50
Figure B.3	– Calculation of the virtual junction temperature for cyclic load	51
Table 1	– Letter symbols for cooling mediums and heat transfer agents	22
Table 2	– Letter symbols for methods of circulation	22
Table 3	– Connections and calculation factors for line commutated converters	28
Table 4	– Standardized duty classes	31

Table 5 – Semiconductor device failure conditions	33
Table 6 – Summary of tests	36
Table 7 – Insulation levels for a.c./d.c. converters	38
Table B.1 – Examples for typical applications	52

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

RAILWAY APPLICATIONS – FIXED INSTALLATIONS – ELECTRONIC POWER CONVERTERS FOR SUBSTATIONS

FOREWORD

- 1) The International Electrotechnical Commission (IEC) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, IEC publishes International Standards, Technical Specifications, Technical Reports, Publicly Available Specifications (PAS) and Guides (hereafter referred to as "IEC Publication(s)"). Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested IEC National Committees.
- 3) IEC Publications have the form of recommendations for international use and are accepted by IEC National Committees in that sense. While all reasonable efforts are made to ensure that the technical content of IEC Publications is accurate, IEC cannot be held responsible for the way in which they are used or for any misinterpretation by any end user.
- 4) In order to promote international uniformity, IEC National Committees undertake to apply IEC Publications transparently to the maximum extent possible in their national and regional publications. Any divergence between any IEC Publication and the corresponding national or regional publication shall be clearly indicated in the latter.
- 5) IEC itself does not provide any attestation of conformity. Independent certification bodies provide conformity assessment services and, in some areas, access to IEC marks of conformity. IEC is not responsible for any services carried out by independent certification bodies.
- 6) All users should ensure that they have the latest edition of this publication.
- 7) No liability shall attach to IEC or its directors, employees, servants or agents including individual experts and members of its technical committees and IEC National Committees for any personal injury, property damage or other damage of any nature whatsoever, whether direct or indirect, or for costs (including legal fees) and expenses arising out of the publication, use of, or reliance upon, this IEC Publication or any other IEC Publications.
- 8) Attention is drawn to the Normative references cited in this publication. Use of the referenced publications is indispensable for the correct application of this publication.
- 9) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this IEC Publication may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 62590 has been prepared by IEC technical committee 9: Electrical equipment and systems for railways.

This standard is based on EN 50328.

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

FDIS	Report on voting
9/1387/FDIS	9/1411/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 committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until the stability date indicated on the IEC web site under "<http://webstore.iec.ch>" in the data related to the specific publication. At this date, the publication will be

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

INTRODUCTION

Semiconductor converters for traction power supply differ from other converters for industrial use due to special electrical service conditions and due to the large range of load variation and the peculiar characteristics of the load.

For these reasons IEC 60146-1-1 does not fully cover the requirements of railway applications and the decision was taken to have a specific standard for this use.

Converter transformers for fixed installations of railway applications are covered by EN 50329.

Harmonization of the rated values and tests of the whole converter group are covered by IEC 62589.

RAILWAY APPLICATIONS – FIXED INSTALLATIONS – ELECTRONIC POWER CONVERTERS FOR SUBSTATIONS

1 Scope

This International Standard specifies the requirements for the performance of all fixed installations electronic power converters, using controllable and/or non-controllable electronic valves, intended for traction power supply.

The devices can be controlled by means of current, voltage or light. Non-bistable devices are assumed to be operated in the switched mode.

This Standard applies to fixed installations of following electric traction systems:

- railways,
- guided mass transport systems such as: tramways, light rail systems, elevated and underground railways, mountain railways, trolleybuses.

This Standard does not apply to

- cranes, transportable platforms and similar transportation equipment on rails,
- suspended cable cars,
- funicular railways.

This Standard applies to diode rectifiers, controlled rectifiers, inverters and frequency converters.

The equipment covered in this Standard is the converter itself.

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 60050-811:1991, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Chapter 811: Electric traction*

IEC 60146 (all parts), *Semiconductor convertors*

IEC 60146-1-2:1991, *Semiconductor convertors – General requirements and line commutated convertors – Part 1-2: Application guide*

IEC 60529:1989, *Degrees of protection provided by enclosures (IP Code)*

IEC 60721 (all parts), *Classification of environmental conditions*

IEC 60850:2007, *Railway applications – Supply voltages of traction systems*

IEC 61000-2-4:2002, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 2-4: Environment – Compatibility levels in industrial plants for low-frequency conducted disturbances*

IEC 61000-2-12:2003, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 2-12: Environment – Compatibility levels for low-frequency conducted disturbances and signalling in public medium-voltage power supply systems*

IEC 61992-7-1:2006, *Railway applications – Fixed installations – DC switchgear – Part 7-1: Measurement, control and protection devices for specific use in d.c. traction systems – Application guide*

IEC 62236 (all parts), *Railway applications – Electromagnetic compatibility*

IEC 62236-5:2008, *Railway applications – Electromagnetic compatibility – Part 5: Emission and immunity of fixed power supply installations and apparatus*

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

EN 50329:2003, *Railway applications – Fixed installations – Traction transformers*

3 Terms and definitions

For the purposes of this document, the following terms and definitions apply. In this standard, IEC definitions are used wherever possible, particularly those in IEC 60050-551.

The policy adopted is as follows:

- a) when a suitable IEC definition exists, the term and the reference are given without repeating the text;
- b) when an existing IEC definition needs amplification or additional information, the term, the reference and the additional text are given;
- c) when no IEC definition exists, the term and the text are given.

An alphabetical index is given in Annex C.

3.1 Semiconductor devices and combinations

3.1.1

semiconductor device

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

3.1.2

(valve device) stack

[IEV 551-14-12]

3.1.3

(valve device) assembly

[IEV 551-14-13]

3.1.4

electronic power converter

operative unit for power conversion comprising one or more assemblies of semiconductor devices

[IEV 551-12-01, modified]

3.1.5

trigger equipment (gating equipment)

equipment which provides suitable trigger pulses from a control signal for controllable valve devices in a converter or power switch including timing or phase shifting circuits, pulse generating circuits and usually power supply circuits

3.1.6

system control equipment

equipment associated with a converter equipment or system which performs automatic adjustment of the output characteristics as a function of a controlled quantity

3.2 Arms and connections

3.2.1

(valve) arm

[IEV 551-15-01]

3.2.2

principal arm

[IEV 551-15-02]

3.2.3

converter connection

[IEV 551-15-10]

3.2.4

basic converter connection

[IEV 551-15-11]

3.2.5

single-way connection (of a converter)

[IEV 551-15-12]

3.2.6

double-way connection (of a converter)

[IEV 551-15-13]

3.2.7

uniform connection

[IEV 551-15-15]

3.2.8

non-uniform connection

[IEV 551-15-18]

3.2.9

series connection

connection in which two or more converters are connected in such a way that their voltages add

3.2.10

boost and buck connection

series connection in which the converters are controlled independently

[IEV 551-15-21, modified]

3.2.11**parallel connection**

connection in which two or more converters are connected in such a way that their currents add

3.3 Controllability of converter arms and quadrants of operation**3.3.1****controllable arm**

converter arm including controllable semiconductor element(s) as valve device(s)

3.3.2**non-controllable arm**

converter arm including non-controllable semiconductor element(s) as valve device(s)

3.3.3**quadrant of operation (on the d.c. side)**

quadrant of the voltage current plane defined by the d.c. voltage polarity and the current direction

3.3.4**one quadrant converter**

[IEV 551-12-34]

3.3.5**two quadrant (single) converter**

[IEV 551-12-35]

3.3.6**four quadrant (double) converter**

[IEV 551-12-36]

3.3.7**reversible converter**

[IEV 551-12-37]

3.3.8**single converter**

[IEV 551-12-38]

3.3.9**double converter**

[IEV 551-12-39]

3.3.10**converter section of a double converter**

[IEV 551-12-40]

3.4 Commutation, quenching and commutation circuitry**3.4.1****commutation**

transfer of current from one conducting arm to the next to conduct in sequence, without interruption of the d.c. current. During a finite interval of time both arms are conducting simultaneously

[IEV 551-16-01, modified]

3.4.2
quenching
[IEV 551-16-19]

3.4.3
direct commutation
[IEV 551-16-09]

3.4.4
indirect commutation
[IEV 551-16-10]

3.4.5
external commutation
[IEV 551-16-11]

3.4.6
line commutation
[IEV 551-16-12]

3.4.7
load commutation
[IEV 551-16-13]

3.4.8
self commutation
[IEV 551-16-15]

3.5 Commutation characteristics

3.5.1
commutation circuit
[IEV 551-16-03]

3.5.2
commutating voltage
[IEV 551-16-02]

3.5.3
commutation inductance
total inductance included in the commutation circuit, in series with the commutating voltage
[IEV 551-16-07, modified]

NOTE For line or machine commutated converters the commutation reactance is the impedance of the commutation inductance at the fundamental frequency.

3.5.4
angle of overlap u
duration of the commutation interval between a pair of principal arms, expressed in angular measure, where the two arms carry current
[IEV 551-16-05, modified]

3.5.5
commutation notch
periodic voltage transient that can appear in the a.c. voltage of a line or machine-commutated converter due to commutation

[IEV 551-16-06, modified]

3.5.6

commutation repetitive transient

voltage oscillation associated with the commutation notch

3.5.7

commutating group

[IEV 551-16-08]

3.5.8

commutation number q

number of commutations from one principal arm to another, occurring during one period of the alternating voltage in each commutating group

[IEV 551-17-03, modified]

3.5.9

pulse number p

number of non-simultaneous symmetrical direct or indirect commutations from one principal arm to another, during one period of the alternating voltage

[IEV 551-17-01, modified]

3.5.10

trigger delay angle α

time expressed in angular measure by which the trigger pulse is delayed with respect to the reference instant (see Figure 1)

For line, machine or load commutated converters the reference instant is the zero crossing instant of the commutating voltage.

For a.c. controllers it is the zero crossing instant of the supply voltage.

For a.c. controllers with inductive load, the trigger delay angle is the sum of the phase shift and the current delay angle

[IEV 551-16-33, modified]

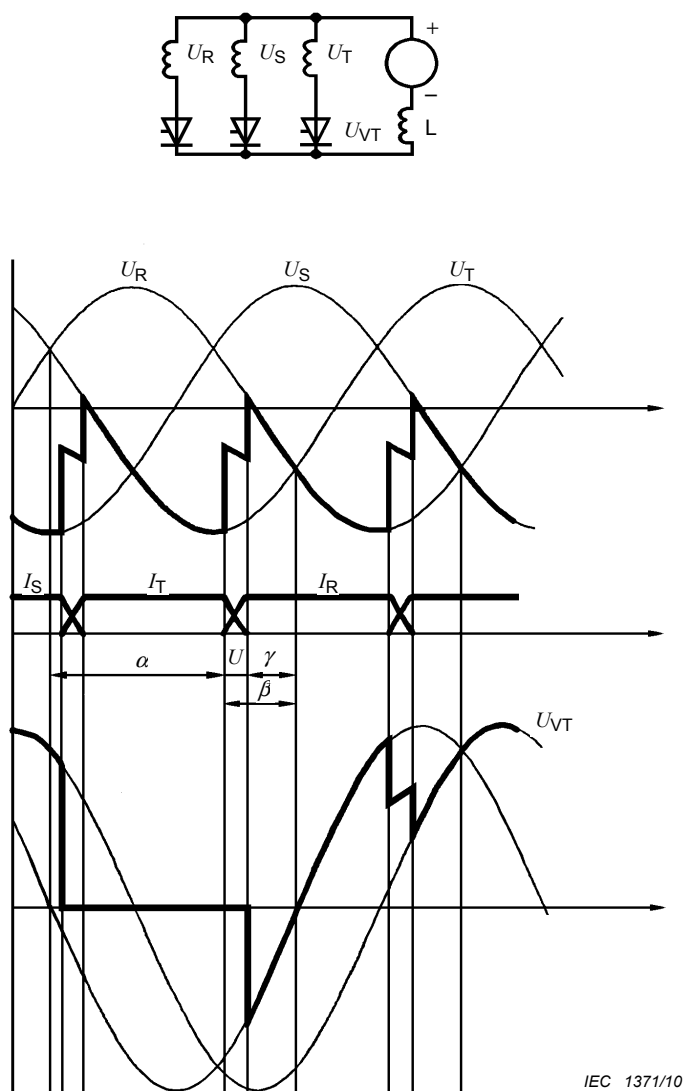


Figure 1 – Illustration of angles

3.5.11

trigger advance angle β

(see Figure 1)

[IEV 551-16-34]

3.5.12

inherent delay angle α_p

delay angle which occurs in some converter connections under certain operating conditions even if no phase control is applied

[IEV 551-16-35, modified]

3.5.13

extinction angle γ

time, expressed in angular measure, between the moment when the current of the arm falls to zero and the moment when the arm is required to withstand steeply rising off-state voltage

3.6 Rated values

3.6.1

rated value

numerical value for the electrical, thermal, mechanical and environmental rating assigned to the quantities which define the operation of a converter group in the conditions specified in accordance with this Standard and on which the supplier's guarantees and tests are based

3.6.2

rated frequency f_N

frequency on either side of the converter for the conversion of which the converter group is designed to operate

3.6.3

nominal voltage U_n

voltage by which a converter is designated

NOTE The standardized values of nominal voltages are given in IEC 60850.

3.6.4

rated insulation voltage U_{Nm}

r.m.s. withstand voltage value assigned by the manufacturer to the equipment or a part of it, characterizing the specified permanent withstand capability of its insulation

NOTE Standardized values of rated insulation voltages are given in IEC 62497.

3.6.5

rated a.c. voltage on the supply side of a converter U_{Nv}

r.m.s. value of the no-load voltage between vectorially consecutive commutating phase terminals of a commutating group

3.6.6

rated a.c. voltage on the traction side of a converter U_{Nt}

r.m.s. value of the no-load voltage on the traction side of a frequency converter

3.6.7

rated direct voltage U_{Nd}

specified value of the direct voltage between the d.c. terminals of the converter assembly at basic direct current. This value is the mean value of the direct voltage

NOTE 1 A converter may have more than one rated voltage or a rated direct voltage range.

NOTE 2 The rated direct voltage of a converter depends on the characteristics of the transformer and a guaranteed value of rated direct voltage is valid only together with the transformer (see IEC 62589).

3.6.8

basic service current on the supply side of a converter I_{Bv}

r.m.s. value of the a.c. current, containing all harmonics, on the supply side of a converter at basic current on the d.c. side

NOTE For polyphase equipment, this value is computed from the basic direct current on the basis of rectangular shaped currents, 120° conducting, of the converter elements. For single phase equipment, the basis of calculation must be specified.

3.6.9

rated current on the traction side of a frequency converter I_{Nt}

r.m.s. value of the a.c. current on the traction side of a frequency converter under rated conditions

3.6.10**basic direct current I_{Bd}**

mean value of the direct current for specified load and service conditions

NOTE Together with a duty class I_{Bd} is considered as the 1,0 p.u. value, to which other values of I_d are compared.

3.7 Load capabilities**3.7.1****duty class**

tabled representation of current capability and test values for standard design converters in terms of current values and duration selected to represent a characteristic group of practical applications. The current values are expressed in per unit of the basic direct current I_{Bd}

3.7.2**load cycle**

representation of the conventional current demand to a special design converter showing the repetitive variation of the load within a specified time period. The current values are expressed in A or in per unit of I_{Bd}

3.7.3**d.c. power**

product of the nominal d.c. voltage U_n and the basic direct current I_{Bd}

3.7.4**power efficiency**

ratio of the output power to the input power of the converter

3.8 Specific voltages, currents and factors**3.8.1****ideal no-load direct voltage U_{di}**

theoretical no-load mean direct voltage of a converter, assuming no reduction by phase control, no voltage drop in the assemblies and no voltage rise at small loads

[IEV 551-17-15, modified]

3.8.2**controlled ideal no-load direct voltage $U_{di\alpha}$**

theoretical no-load mean direct voltage of a converter, when the direct voltage is reduced by phase control, assuming no voltage drop in the assemblies and no voltage rise at small loads

[IEV 551-17-16, modified]

3.8.3**conventional no-load direct voltage U_{d0}**

mean value of the direct voltage which would be obtained by extrapolating the direct voltage/current characteristic for continuous direct current back to zero current

[IEV 551-17-17, modified]

NOTE U_{di} is equal to the sum of U_{d0} and the no-load voltage drop in the assembly.

3.8.4**controlled conventional no-load direct voltage $U_{d0\alpha}$**

conventional no-load mean direct voltage obtained when extrapolating the direct voltage/current characteristic, corresponding to a delay angle α , back to zero current

[IEV 551-17-18, modified]

3.8.5**real no-load direct voltage U_{d00}**

actual mean direct voltage at zero direct current

[IEV 551-17-19]

3.8.6**ideal crest no-load voltage U_{iM}**

no-load voltage between the end terminals of an arm neglecting internal and external voltage surge and voltage drop in valves

3.8.7**transition current**

mean direct current of a converter connection when the direct current of the commutating groups becomes intermittent when decreasing the current

[IEV 551-17-20, modified]

3.8.8**direct voltage drop**

difference between the conventional no-load direct voltage and the direct voltage at basic direct current, at the same current delay angle, excluding the correction effect of stabilizing means if any

[IEV 551-17-21, modified]

NOTE The nature of the d.c. circuit (for example capacitors, back e.m.f. load) can affect the voltage drop significantly. Where this is the case, special consideration is required.

3.8.9**total power factor λ**

$$\lambda = \frac{\text{active power}}{\text{apparent power}}$$

3.8.10**power factor of the fundamental wave or displacement factor $\cos \varphi_1$**

$$\cos \varphi_1 = \frac{\text{active power of the fundamental wave}}{\text{apparent power of the fundamental wave}}$$

3.8.11**deformation factor ν**

$$\nu = \frac{\lambda}{\cos \varphi_1}$$

3.9 Definitions related to virtual junction temperature**3.9.1****thermal resistance R_{th}**

quotient of the temperature difference between two specified points or regions and the heat flow between these two points or regions under conditions of thermal equilibrium

NOTE For most cases, the heat flow can be assumed to be equal to the power dissipation.

3.9.2**transient thermal impedance Z_{th}**

quotient of the variation of the temperature difference, reached at the end of a time interval between the virtual junction temperature and the temperature at a specified external reference

point and the step function change of power dissipation at the beginning of the same time interval causing the change of temperature

NOTE The transient thermal impedance is given in a characteristic curve as a function of the time interval.

3.9.3

virtual junction temperature Θ_j

calculated temperature within the semiconductor material which is based on a simplified representation of the thermal and electrical behaviour of a semiconductor device

3.10 Cooling

3.10.1

cooling medium

liquid (for example water) or gas (for example air) which removes the heat from the equipment

3.10.2

heat transfer agent

liquid (for example water) or gas (for example air) within the equipment to transfer the heat from its source to a heat exchanger from where the heat is removed by the cooling medium

3.10.3

direct cooling

method of cooling by which the cooling medium is in direct contact with the parts of the equipment to be cooled, i.e. no heat transfer agent is used

3.10.4

indirect cooling

method of cooling in which a heat transfer agent is used to transfer heat from the part to be cooled to the cooling medium

3.10.5

natural circulation convection

method of circulating the cooling medium or heat transfer agent which uses the change of volumetric mass (density) with temperature

3.10.6

forced circulation forced cooling

method of circulating the cooling medium or heat transfer agent by means of blower(s), fan(s) or pump(s)

3.10.7

mixed circulation

method of circulating the cooling medium or heat transfer agent, which uses alternately natural and forced circulation

3.10.8

equilibrium temperature

steady-state temperature reached by a component of a converter under specified conditions of load and cooling

NOTE The steady-state temperatures are in general different for different components. The times necessary to establish steady-state are also different and proportional to the thermal time constants.

3.11 Electromagnetic compatibility and harmonic distortion

3.11.1

electrical disturbance

any variation of an electrical quantity, beyond specified limits, which can be the cause of a loss of performance or an interruption of service or damage

3.11.2

immunity level of a converter

specified value of an electrical disturbance below which a converter is designed to meet the required performances or continue operation or avoid damage

3.11.3

(total) harmonic distortion

[IEV 551-17-06]

4 Operation of semiconductor power equipment and valve devices

4.1 Classification of traction supply power converters and valves

4.1.1 Types of traction supply power converters

- a) a.c. to d.c. conversion:
 - 1) diode rectifier;
 - 2) controlled rectifier.
- b) d.c. to a.c. conversion:
 - 1) inverter.
- c) a.c. to a.c. conversion:
 - 1) direct frequency converter;
 - 2) d.c. link frequency converter:
 - i) supply side;
 - ii) traction side.

4.1.2 Purpose of conversion

A converter changes or controls one or more characteristics such as

- a) frequency (including zero frequency),
- b) voltage,
- c) number of phases,
- d) flow of reactive power,
- e) quality of load power.

4.1.3 Classification of semiconductor valve devices

Semiconductor valves can be turned off either by commutation implying that the current of the valve is transferred to another valve or by quenching if the current of the valve falls to zero.

Valves used in traction supply power converters can be divided into the following categories:

- a) non-controllable valve with a conductive forward and a blocking reverse characteristic (diode);
- b) valve with a controllable forward and a blocking reverse characteristic (e.g. reverse blocking thyristor);

- c) valve with a controllable forward and a conductive reverse characteristic (e.g. reverse conducting thyristor);
- d) valve with a controllable forward and / or reverse characteristic which can be turned on and/or off via a signal applied to the gate (e.g. gate turn-off thyristor, insulated gate bipolar transistor);
- e) valve with controllable forward and reverse characteristic (e.g. bi-directional thyristors).

4.2 Principal letter symbols

d_{xtB}	inductive direct voltage drop due to converter transformer referred to U_{di}
e_{xB}	inductive component of the relative short-circuit voltage of the converter transformer corresponding to the basic current on the supply side of the transformer
f_{N}	rated frequency
g	number of sets of commutating groups between which I_{Bd} is divided
h	order of harmonic
I_{Bd}	basic direct current
I_{Bv}	basic service current on the supply side of a converter
I_{d}	direct current (any defined value)
I_{Nt}	rated current on the traction side of a frequency converter
I_{v}	current on the supply side of a converter
K	coupling factor
p	pulse number
P	active power
q	commutation number
s	number of series connected commutating groups
u	angle of overlap (commutation angle)
U_{a}	power frequency withstand voltage
U_{Bdx}	total inductive direct voltage drop at basic direct current
U_{d}	direct voltage (any defined value)
U_{d0}	conventional no-load direct voltage
$U_{\text{d0}\alpha}$	value of U_{d0} with trigger delay angle α
U_{d00}	real no-load direct voltage
U_{di}	ideal no-load direct voltage
$U_{\text{di}\alpha}$	controlled ideal no-load direct voltage
U_{iM}	ideal crest no-load voltage
U_{n}	nominal voltage
U_{Nd}	rated direct voltage
U_{Ni}	impulse voltage
U_{Nm}	rated insulation voltage
U_{Nt}	rated a.c. voltage on the traction side of a frequency converter
U_{Nv}	rated a.c. voltage on the supply side of a converter
U_{v0}	no-load phase to phase voltage
α	trigger delay angle
α_{p}	inherent delay angle
β	trigger advance angle
γ	extinction angle
δ	number of commutating groups commutating simultaneously per primary
λ	total power factor
v	deformation factor
φ_1	displacement angle for the fundamental component of I_{Bv}

4.3 Basic calculation factors for line commutated converters

4.3.1 Voltage

The ideal no-load direct voltage U_{di} is obtained from the voltage between two commutating phases U_{v0} , the commutation number q and the number of series-connected commutating groups s , between terminals on d.c. side, by the formula

$$U_{di} = U_{v0} \times \sqrt{2} \times \frac{p}{\pi} \times \sin \frac{\pi}{p}$$

a) uniform connection

1) If the direct current is continuous over the entire control range:

$$U_{di\alpha} = U_{di} \times \cos \alpha$$

2) If the converter load is purely resistive:

$$\text{for } 0 \leq \alpha \leq \frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{p}: \quad U_{di\alpha} = U_{di} \times \cos \alpha$$

$$\text{for } \frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{p} \leq \alpha \leq \frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{p}: \quad U_{di\alpha} = U_{di} \times \frac{1 - \sin(\alpha - \pi/p)}{2 \sin(\pi/p)}$$

b) non-uniform connections

$$U_{di\alpha} = 0,5 \times U_{di} \times (1 + \cos \alpha)$$

4.3.2 Voltage characteristics and transition current

At the transition current value, the voltage/current characteristic bends as shown in Figure 2. The transition current can be obtained, for example in case of interphase transformer connection, because the direct current decreases below the critical value where the interphase transformer becomes ineffective.

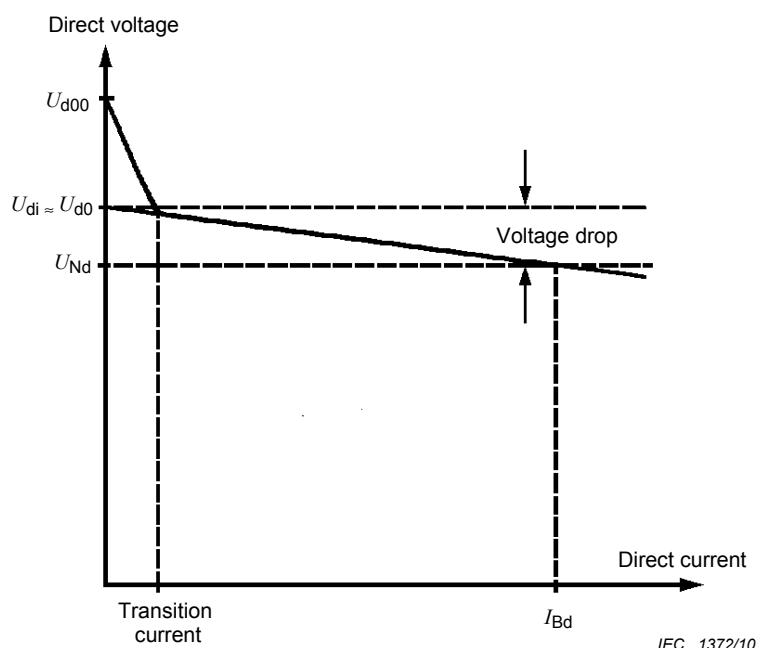


Figure 2 – Voltage drop

5 Service conditions

5.1 Code of identification of cooling method

NOTE In most cases, the identification code for the cooling method is the same as that in use for transformers.

5.1.1 Letter symbols to be used

5.1.1.1 Cooling medium or heat transfer agent (see Table 1)

Table 1 – Letter symbols for cooling mediums and heat transfer agents

Cooling medium or heat transfer agent	Symbol
Mineral oil	O
Dielectric liquid (other than mineral oil or water)	L
Gas	G
Water	W
Air	A
Fluid used for two-phase cooling	P

5.1.1.2 Method of circulation (see Table 2)

Table 2 – Letter symbols for methods of circulation

Method of circulation	Symbol
Natural (convection)	N
Forced, moving device not incorporated	E
Forced, moving device incorporated	F
Vapour cooling	V

5.1.2 Arrangement of letter symbols

5.1.2.1 Direct cooling

The first letter indicates the cooling medium (5.1.1.1), the second the circulation method (5.1.1.2).

EXAMPLE AN: air cooled, natural circulation (convection).

5.1.2.2 Indirect cooling

The code includes four symbols.

The first two letters indicate

- a) the heat transfer agent (5.1.1.1),
- b) the circulation method of the heat transfer agent (5.1.1.2).

The last two letters indicate

- c) the cooling medium (5.1.1.1),
- d) the circulation method of the cooling medium (5.1.1.2).

EXAMPLE OFAF: converter with forced circulated oil (pump) as heat transfer agent and forced circulated (fan) air as cooling medium.

5.1.2.3 Mixed cooling method

For both cases, direct cooling or indirect cooling, if the circulation is alternatively natural or forced, two groups of symbols, separated by a stroke, shall indicate both possible methods of circulation as used, the first group corresponding with the lower heat flow or the lower ambient air temperature.

Therefore, the complete code shall include

- a) for direct cooling: two groups of letters separated by a stroke,

EXAMPLE 1 AN/AF: converter with natural direct air cooling and possibilities for forced direct air cooling;

- b) for indirect cooling: two groups of letter symbols separated by a stroke.

EXAMPLE 2 OFAN/OFAF: converter with forced circulated oil as heat transfer agent and natural air as cooling medium with possibilities for forced air as cooling medium.

5.2 Environmental conditions

5.2.1 Ambient air circulation

Equipment installed in a room shall be connected to the (unlimited) supply of cooling medium or if the cooling air is taken from the ambient in the room, provision shall be made to extract the heat from the room, which then can be considered as an intermediate heat-exchanger between the equipment and the outside air.

For converters mounted in an enclosure, the ambient for the converters (internal air of the cubicle or cabinet) is to be considered as a heat transfer agent and not as a cooling medium. There is some reflection from the cabinet walls, which should be taken into account. Cubicle or cabinet mounted assemblies shall comply with the overload conditions at maximum temperature of the outside air.

5.2.2 Normal service conditions

The following limits shall apply unless otherwise specified.

5.2.2.1 Storage and transport temperatures

	Minimum	Maximum
Storage and transport	–25 °C	+55 °C

These limits apply with cooling liquid removed.

5.2.2.2 Operation including off-load periods

5.2.2.2.1 Temperatures of cooling air

	Minimum	Maximum
a) Extreme values	–5 °C	+40 °C
b) Daily average		+35 °C
c) Yearly average		+25 °C

5.2.2.2.2 Relative humidity of the ambient air

- a) Minimum: 15 %.

- b) Maximum: standard design converters are designed for the case where no condensation can occur. If condensation is to be provided for, the case shall be treated as special service condition (see 5.2.3).

5.2.2.2.3 Dust and solid particles content

Standard design equipment is indoor equipment, pollution degree 3A. (Refer to Table A.4 of IEC 62497-1.)

Any condition exceeding PD 3A shall be specified by the purchaser as special service condition.

5.2.2.2.4 Vibrations

The equipment shall be suitable for installation in the vicinity of a rail track. Foundations shall be designed to dampen the main effects of the passage of the trains. Nevertheless a limited vibration or limited shocks can affect the equipment, which shall be capable of operating satisfactorily when subjected to conventional sinusoidal vibrations at 10 Hz, separately applied and having the following characteristics:

	Peak acceleration	Duration
Vertical acceleration:	5 m/s ²	30 s
Horizontal acceleration:	5 m/s ²	30 s

Any condition differing from the above shall be agreed between purchaser and supplier.

5.2.2.3 Altitude

With regard to the use of air as cooling medium or heat transfer agent, altitudes up to 1 000 m are considered as normal. If a converter is to be used at an altitude above 1 000 m but is tested at normal altitude, the current capability shall be decreased by 1 % for each 100 m by which the altitude of use exceeds 1 000 m in the case of natural air-cooling, and by 1,5 % for forced air-cooling.

With regard to the dielectric properties of air, altitudes up to 2 000 m are considered as normal (refer to IEC 62497-1).

5.2.3 Special service conditions

The service conditions are assumed to be those listed under normal service conditions. The following list gives examples of special service conditions that shall be subject to a special agreement between purchaser and supplier:

- special mechanical stresses, for example shocks and vibrations;
- foreign particles in the ambient air, for example abnormal dirt or dust;
- salt air (for example proximity to the sea);
- high values of relative humidity and/or temperature similar to those associated with tropical climatic conditions;
- other special service conditions not covered by this list or service conditions exceeding the specified limits of normal service conditions.

In case special service conditions are required, the service conditions listed in IEC 60721 should preferably be used.

5.3 Electrical service conditions

5.3.1 General

For network conditions concerning the a.c. supply network reference shall be made to the publications of IEC TC 77 and its subcommittees.

For network conditions concerning the traction supply network reference shall be made to IEC 62236-5, to IEC 62497-1 and to IEC 60850.

Information on prospective conditions of coexistence between supply systems, disturbing loads and sensitive apparatus (mostly low current control equipment, other power converters, power capacitors and sensitive lines such as used for communications, signalling and control) is essential during the early stages of the design of an installation (notably: ratio of short-circuit power to apparent power, presence of capacitors or other converters).

Guidance on calculation methods will be found in IEC 60146-1-2.

5.3.2 Limiting values as basis of rating

Unless otherwise specified, the converter shall be designed to operate under the service conditions specified by the following limiting values.

5.3.2.1 Three-phase a.c. supply network

5.3.2.1.1 Frequency

	Variation
Range	$\pm 2 \% \text{ of } f_N$
Rate of change	$\pm 1 \%/\text{s}$

5.3.2.1.2 Voltage

	Variation
Steady state	$+10 \% / -10 \% \text{ of } U_N$
Short time (0,5 to 30 cycles)	$+15 \% / -15 \%$

5.3.2.1.3 Harmonics in supply voltage

Refer to IEC 61000-2-12 and IEC 61000-2-4.

NOTE A harmonic distortion of the a.c. supply voltage can cause overloads

- in 12 pulse rectifiers and their transformers due to unbalanced load sharing,
- in two parallel 6 pulse rectifiers with separate transformers due to unbalanced load sharing,
- in capacitive circuits of converters.

5.3.2.1.4 Repetitive and non-repetitive transients

On request the following characteristics shall be specified as far as possible (see Figure 3):

- a) transient energy available at the converter terminals (J);
- b) rise time, (from 0,1 to 0,9 p.u. peak value) (μs);
- c) peak value U_{LRM}/U_{LWM} (p.u.);
- d) peak value U_{LSM}/U_{LWM} (p.u.);
- e) duration above 50 % (t) (μs).

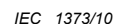


Figure 3 – AC voltage waveform

5.3.2.2.1 Frequency

5.3.2.2.2 Voltage

5.3.2.2.3 Harmonics

5.3.2.2.4 Repetitive and non-repetitive transients

5.3.3 DC traction supply voltage

6 Converter equipment and assemblies

Standard design converters for traction power supply usually are converters each individually connected to a transformer for single phase ($p = 2$) or three-phase ($p = 6$ or 12) a.c. supply.

Copyrighted material licensed to BR Demo by Thomson Reuters (Scientific), Inc., subscriptions.techstreet.com, downloaded on Nov-28-2014 by James Madison. No further reproduction or distribution is permitted. Uncontrolled when printed.

NOTE Higher pulse numbers can be achieved by using transformers with appropriate phase shifting and connecting several six-pulse or twelve-pulse converters in series or parallel. For traction power supply pulse numbers up to 24 p are used.

For converters subject to special agreement between the purchaser, the supplier and possibly the electricity supply companies because of their rating or special requirements or mode of operation, refer to IEC 60146-1-2, which also gives other converter connections for particular applications.

Table 3 gives conventional values of some calculation factors for the most used connections of converters. For other connections IEC 60146-1-2 assists.

The connection numbers are the same as used in the IEC 60146 series.

Table 3 – Connections and calculation factors for line commutated converters

Con- nection no.	Transformer connection valve side	Valve connection	p	q	Current factor on the a.c. side I_V/I_d	$\frac{U_{di}}{U_{v0}}$	$\frac{U_{iM}}{U_{di}}$	$\frac{d_{xtB}}{e_{xB}}$
7			2	2	1	$0,9$ $\left(\frac{2\sqrt{2}}{\pi}\right)$	$1,57$ $\left(\frac{\pi}{2}\right)$	$0,707$ $\left(\frac{1}{\sqrt{2}}\right)$
8			6	3	$0,816$ $\left(\sqrt{\frac{2}{3}}\right)$	$1,35$ $\left(\frac{3\sqrt{2}}{\pi}\right)$	$1,05$ $\left(\frac{\pi}{3}\right)$	$0,5$
9			12	3	$0,408$ $\left(\frac{1}{\sqrt{6}}\right)$	$1,35$ $\left(\frac{3\sqrt{2}}{\pi}\right)$	$1,05$ $\left(\frac{\pi}{3}\right)$	$0,26$
12			12	3	$0,816$ $\left(\sqrt{\frac{2}{3}}\right)$	$2,7$ $\left(\frac{6\sqrt{2}}{\pi}\right)$	$0,524$ $\left(\frac{\pi}{6}\right)$	$0,26$
18			6	3	$0,816$ $\left(\sqrt{\frac{2}{3}}\right)$	$1,35$ $\left(\frac{3\sqrt{2}}{\pi}\right)$	$1,05$ $\left(\frac{\pi}{3}\right)$	$0,5$
19			6	3	$0,816$ $\left(\sqrt{\frac{2}{3}}\right)$	$1,35$ $\left(\frac{3\sqrt{2}}{\pi}\right)$	$1,05$ $\left(\frac{\pi}{3}\right)$	$0,5$

NOTE Connection no. 9 with interbridge reactor is used together with converter transformers equipped with two secondary windings at low leakage magnetic flux and a coupling factor $K > 0,9$ (see EN 50329).

Connection no. 9 can be used without interbridge reactor if $K < 0,2$ i.e.

- a three-windings transformer with non-coupled secondary windings, or
- a four-windings transformer, or
- two separate three-phase transformers with different vector groups

are used. In this case d_{xtB}/e_{xB} is 0,5.

6.2 Calculation factors

6.2.1 Current factor on the a.c. side

The quotient of the r.m.s value I_V of the current on the a.c. side and the direct current I_d is indicated in Table 3 on the assumption of smooth direct current and rectangular waveshape of the alternating currents.

6.2.2 Voltage drop

Table 3 gives the ratio

$$\frac{d_{xtB}}{e_{xB}}$$

between the direct inductive voltage drop d_{xtB} at basic current due to the transformer commutating reactance, referred to U_{di} and the inductive component e_{xB} of the transformer impedance voltage at basic service current on the supply side of the converter group for the whole equipment expressed in per cent of rated alternating voltage.

The direct inductive voltage drop d_{xtB} can be calculated using the value of e_{xB} of a three-phase transformer only for connections with a commutating number $q = 3$.

For all other connections with $p = 12$ or higher, the ratio between d_{xtB} and e_{xB} depend on the repartition of the reactances in the transformer between primary and secondary. The external characteristic can be represented graphically.

NOTE The voltage drop of diode rectifier groups depends mainly on the characteristics of the converter transformer. Therefore this Standard does not contain information regarding to voltage drop. For requirements concerning voltage drop see IEC 62589.

If the purchaser requires provisions against the voltage rise at currents below the transition current, he shall mention this in the tender specification.

6.3 Losses and efficiency

6.3.1 General

The power efficiency may be determined by calculation of internal losses or by measurement of a.c. and d.c. power at basic load conditions. If the purchaser requires measurement of the losses this shall be mentioned in the procurement specification.

The admissible tolerance for losses is + 10 % of the guaranteed value.

6.3.2 Included losses

The following losses shall be included when determining the power efficiency:

- internal losses in the assembly such as losses in semiconductor valve devices, in fuses, potential dividers, current balancing means, capacitor resistor damping circuits and voltage surge divertors;
- losses in transducers, interbridge reactors (if supplied as part of the converter), current limiting and balancing reactors between transformer and thyristor or diode assemblies;
- power absorbed by auxiliaries such as fans or pumps and relays unless otherwise specified;
- losses due to circulating currents;
- power consumed in trigger equipment, if any.

6.4 Power factor

As the line current to a line commutated converter contains harmonics, it is important to state the kind of power factor meant when a specification for a guaranteed supply power factor is written.

Reference is made to the power factor of the fundamental wave or displacement factor $\cos \varphi_1$ unless otherwise specified.

For pulse numbers higher than six the difference between the total power factor λ and the displacement factor $\cos \varphi_1$ is small, but for lower pulse number the difference is significant.

Unless otherwise stated in the contract, for multi-phase converters supplying inductive load the manufacturer guarantees shall be given on the displacement factor $\cos \varphi_1$.

NOTE 1 In such cases calculation is adequate to get reliable figures of the displacement factor under the condition of symmetrical control.

When exact calculations of the displacement factor or of the total power factor are required, knowledge of many parameters is necessary, including the line impedance. For such calculations refer to IEC 60146-1-2.

NOTE 2 For the power factor of diode rectifiers see Annex C of IEC 62589.

6.5 Direct voltage harmonic content

For perfectly balanced supply voltages, trigger delay angles, etc., the frequency of the direct current and direct voltage harmonic content is given by:

$$f_{h,dc} = k \times p \times f_N \quad k = \text{integer } (1 \dots n)$$

An unbalanced supply voltage causes a negative sequence voltage. The negative sequence voltage produces an additional harmonic component at a frequency $2 \times f_N$, which cannot be cancelled by an appropriate design of the converter unless a large smoothing reactance or d.c. output filter is added.

Refer to IEC 60146-1-2 for more information.

6.6 Electromagnetic compatibility (EMC)

Traction supply converters shall cope with the requirements for immunity and emission stated in the IEC 62236 series.

Additional requirements, if any, shall be mentioned by the purchaser in the procurement specification.

Cable routing of a.c. and d.c. power cables, auxiliary and control cables, filtering etc., where such are installed by the purchaser or third parties shall be in accordance with any instructions provided by the supplier of the converter and with the requirements of IEC 62236-5.

Immunity and emission tests of the converter group can be done only together with the transformer(s) as test of the whole substation. These tests are not subject of this Standard.

Control and protection devices shall be tested separately according to their product standards.

6.7 Rated values for converters

6.7.1 General

Rated values of a converter shall be given either as standard design values for standard design converters or as closely as possible according to the load that it is intended to serve for special design converters. The ratings of the converter are not valid if the load is changed to a load for which the converter is not intended.

6.7.2 Current values

6.7.2.1 Current values to be specified

Each converter equipment shall have an assigned value for the basic direct current together with specified current capabilities according to a duty class or a load cycle. The standardized duty classes according to Table 4 should be preferably used. For other types of duty, duty classes defined by the purchaser or load cycles according to 6.7.2.3 apply.

Table 4 – Standardized duty classes

Duty class	Current capabilities for converters (relative values in per unit of I_{Bd})	Typical applications	Note
I	1,0 p.u. continuously	Frequency converters for mainline railways	
V	a) 1,0 p.u. continuously b) 1,5 p.u. 2 h – after a) c) 2,0 p.u. 1 min – after a)	Mass rapid transit Trolleybuses	
VI	a) 1,0 p.u. continuously b) 1,5 p.u. 2 h – after a) c) 3,0 p.u. 1 min – after a)	Mainline railways Mass rapid transit Light rail systems	
VII	a) 1,0 p.u. continuously b) 1,5 p.u. 2 h – after a) c) 4,5 p.u. 15 s – after a)	Minor railways Light rail systems Tramways	
VIII	a) 1,0 p.u. continuously b) 1,5 p.u. 2 h – after a) c) 2,0 p.u. 1 min – after b)	Mass rapid transit	Cumulative
IX	a) 1,0 p.u. continuously b) 1,5 p.u. 2 h – after a) c) 3,0 p.u. 5 min – after b)	Mainline railways	Cumulative
JP	a) 1,0 p.u. continuously b) 1,2 p.u. 2 h – after a) c) 3,0 p.u. 1 min – after b)	Mainline railways	Cumulative

The purchaser of a converter shall specify the basic direct current and the duty class.

If for a given application no suitable standardized duty class can be found in Table 4, the purchaser shall specify a load cycle or duty class.

Independently of the duty class or load cycle, the converter and its constituent assemblies shall be able to carry the short circuit current according to 6.7.2.4.

NOTE Unlike many other electrical components, semiconductor devices can be irreparably damaged, even within a very short time of operation in excess of their rated values. Selecting the rated direct current and the duty class or load cycle of a converter this should be taken into account.

The supplier shall show the short time current and overload current capability of the converter in a graph in logarithmic scale for overcurrent durations between 0,01 s and 10 000 s. Base current shall be I_{Bd} .

6.7.2.2 Duty classes

Duty classes specify current capabilities and test conditions for converters in terms of current values and durations. Table 4 contains standardized duty classes and gives guidance for the selection for different types of railways and their typical ratio between the basic current and the short time currents.

The basic current of a converter is valid only for the defined duty class. If a converter is designed to operate at different duty classes, a separate basic current shall be given for each duty class.

NOTE The duty class can be chosen either from the recommendations given in Table 4 or from the results of a digital simulation and network calculation, giving the expected r.m.s. current and the time dependent overload characteristics for the intended use of the converter.

A duty class defined by the purchaser shall be called class X.

6.7.2.3 Load cycles

Load cycles specify the repetitive current demand to a converter for a given application.

The purchaser shall specify the current values and respective durations of the required load cycle.

Unless otherwise specified the quadratic mean of the load current over the duration T of the load cycle is assumed to be the basic direct current of the converter for the specific load cycle.

$$I_{Bd} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_T I_d^2 dt}$$

The supplier shall calculate the capability of a converter to carry the specified currents of the load cycle. Annex B gives guidance for this calculation.

If the purchaser demands a specific type test for a load cycle this shall be mentioned in the procurement specification.

6.7.2.4 Short-time withstand capability

The supplier shall state the short-time withstand current capability of the converter.

If not otherwise agreed between purchaser and supplier the short-time withstand current capability shall be stated for a short circuit

- after continuous operation at basic current I_{Bd} , and
- for a short circuit duration of 0,15 s, and
- with a factor of 1,6 between sustained current and peak value.

NOTE Refer to Annex B of IEC 62589 for calculation of the short circuit current for a given application.

Controlled converters with a current limiting characteristic need not have a short-time withstand current capability. They shall be equipped with protection devices able to detect short-circuits in the switchgear or the contact line system which possibly cannot be detected by standard a.c. or d.c. overcurrent feeder protection devices in the case of current limitation.

6.7.3 Capability for unsymmetrical load of a 12-pulse converter in parallel connection

For a 12-pulse converter in parallel connection (connection No. 9) an unsymmetrical load sharing between the two three-phase bridges of up to $\pm 5\%$ of I_{Bd} shall be considered as normal condition.

NOTE The following items can cause unsymmetrical load sharing between the two three-phase bridges and should be taken into account when determining the converter rating:

- harmonic distortion of the a.c. supply voltage exceeding the values according to IEC 61000-2-12;
- different impedance voltages of the transformer secondary windings;
- no-load voltage imbalances in the transformer;
- different lengths of the cables between transformer and converter;
- unequal number of converters with different transformer connections in a substation.

6.7.4 Semiconductor device failure conditions

The purchaser shall specify if semiconductor device fuses are required.

The purchaser shall specify the required immunity level in case of a failure of one or more series or parallel connected semiconductor devices per arm.

When a disturbance from any origin does not exceed the immunity level specified the corresponding performance shall be maintained. Table 5 defines the immunity levels.

Table 5 – Semiconductor device failure conditions

Immunity level		Consequence	
Redundancy	R	No immediate consequence, full performance maintained	Warning signal
Functional	F	Reduced performance (reduced current capability)	Warning signal or tripping signal
Tripping	T	Interruption of service due to protection devices	Tripping signal
Damage	D	Interruption of service due to damage	Tripping signal

6.8 Mechanical characteristics

6.8.1 General

Converters may be either enclosed or not enclosed. Frames and enclosures, if any, shall be metallic.

Converters and relevant enclosures shall be designed so that normal service, inspection and maintenance operations, replacement of diodes and fuses, earthing of cables or busbars and voltage tests can be carried out easily and safely.

All materials used shall be of the quality and of the class most suitable for working under the conditions specified. Special attention is to be paid to its ability to withstand moisture and fire. Unless fire behaviour Class F0 is allowed, materials used shall be metallic or of the self-extinguishing type.

The selection of materials shall be such that corrosion due to atmospheric and electrolytic effects are minimized.

European rules concerning noxious or toxic materials shall be observed.

6.8.2 Earthing

To ensure safety during maintenance works, all parts of the main circuit to which access is required or provided shall be capable of being earthed through suitable means. This does not apply to those parts, which are withdrawable or removable and which become accessible after being separated from the enclosure.

A withdrawable part, however, shall not be removable from the enclosure unless capacitors on it have been discharged to safe values.

For d.c. traction power supply systems the purchaser shall specify in the enquiry how to earth the converter enclosure or frame according to 6.5.8 of IEC 61992-7-1.

NOTE In d.c. traction supply systems, "earthing" means either connection to earth or connection to the return circuit, depending on the earthing requirements of the d.c. system.

The metallic parts of the enclosures or frames shall be connected to a suitable earthing terminal, placed in an accessible position, in order to allow the connection to the main earth system of the substation. The earthing terminal shall be suitably protected against corrosion.

6.8.3 Degree of protection

The purchaser shall specify the degree of protection according to IEC 60529.

Inspection windows and ventilating openings shall provide at least the degree of protection specified for the enclosure.

NOTE 1 If not otherwise agreed between purchaser and supplier, for converter enclosures the degree of protection is assumed to be valid for doors and walls of the enclosure

Due to the specific requirements of converters for cooling and for connection of a.c. and d.c. cables or busbars IP 00 is considered as normal degree of protection for the bottom and the top of the enclosure.

NOTE 2 For indoor converters normally no degree of protection is provided against ingress of water.

6.9 Marking

6.9.1 Rating plate

Each converter equipment (see Clause 1) which is delivered as an integrally assembled unit and each assembly which is delivered separately shall bear the following markings on the rating plate:

- a) manufacturer's or supplier's indication;
- b) indication of the type of equipment (4.1.1);
- c) the number of this Standard;
- d) manufacturer's type designation;
- e) serial number;
- f) number of input phases or indication "DC";
- g) rated input voltage (rated direct voltage in the case of inverters);
- h) rated input frequency, if any;
- i) number of output phases or indication "DC";
- j) nominal d.c. voltage;
- k) basic direct current;
- l) duty class or designation of the load cycle;
- m) short circuit capability;
- n) rated output frequency, if any;

- o) range of output voltage (if the output voltage is adjustable);
- p) cooling method;
- q) type of connection.

Further items which may be added if appropriate:

- r) cooling requirements (temperature, flow rate of cooling medium);
- s) overall weight, weight of cooling fluid, if any;
- t) degree of protection (IP-Code);
- u) displacement factor under rated conditions;
- v) output characteristic curve symbol.

6.9.2 Main circuit terminals

The marking of the main circuit input and output terminals shall express the sequence of phases (if to be observed) and the polarity of d.c. terminals.

7 Tests

7.1 General

For the terminology for testing procedures refer to IEC 60050-811.

7.1.1 Performance of tests

Whenever practicable the tests shall be performed in electrical conditions equivalent to those in real service. Where it is not practicable, the assemblies and equipment respectively shall be tested under such conditions as to allow the specified performance to be proved.

Components of the converter are assumed to be tested separately.

Unless otherwise agreed at the time of the contract, the a.c. supply and test voltages shall be at rated frequency.

NOTE When the purchaser or his representative desires to witness factory tests, this should be specified in the procurement specification.

7.1.2 Test schedule

The tests, unless otherwise agreed, shall comprise all the following items marked "X", which are applicable to the assembly or converter (see Table 6).

The tests marked "(x)" shall only be performed if specifically agreed in the contract.

Table 6 – Summary of tests

Test	Type test	Routine test	Optional test	Specification subclause
Insulation test	X	X		7.2.1
Light load functional test	X	X		7.2.2
Load test	X	(x) ^a		7.2.3
Power loss determination	X ^a	(x) ^b		7.2.4
Temperature rise test	X			7.2.5
Checking of auxiliary devices	X	X		7.2.6
Checking the properties of the control equipment	X	X		7.2.7
Checking the protective devices	X	X		7.2.8
Short-time withstand current test			(x)	7.2.9
Additional tests			(x)	7.2.10
a For self-commutated converters the load test shall be carried out as routine test.				
b Only if power loss determination by measurement is required, see 3.3.1.				

7.2 Test specifications

7.2.1 Insulation tests

7.2.1.1 General

Insulation tests shall be carried out to verify the correct state of insulation of a completely assembled unit. In general, they shall be carried out as an a.c. power frequency voltage test.

During insulation tests the main terminals of the converter, as well as the anode, cathode and gate terminals of all power semiconductor devices, shall be connected together. This does not apply, however, to auxiliaries for which, in case of an insulation fault, voltage can pass on to accessible parts not connected to the enclosure or from the side of higher voltage to the side of lower voltage. These are, for example auxiliary transformers, measuring equipment, pulse transformers and instrument transformers.

Switching devices in main circuits shall be closed or by-passed.

Auxiliaries not metallically connected to the main circuits (for example system control equipment, fan motors) shall be connected with the frame or enclosure during the insulation test according to 7.2.1.2.

In the power frequency withstand voltage test, the test voltage at the frequency as available in the test facility or with the rated frequency, but not exceeding 100 Hz, shall comply with 7.2.1.3.

If an alternating test voltage cannot be applied due to EMC filter components, which cannot easily be disconnected, a direct test voltage may be used having the same value as the crest value of the test voltage given in 7.2.1.3.

In routine tests on assemblies, it is sufficient to apply the full test voltage of 7.2.1.3 for 60 s. Gradual increase of the test voltage may be omitted.

The test has failed if a breakdown or flashover occurs.

Before the test and 1 min after the test, the insulation resistance shall be measured by applying a direct voltage of at least 500 V. The insulation resistance shall be more than 1 000 Ω/V . The measurement of the insulation resistance is not necessary for routine tests.

Earthing resistors and surge arresters, if any, shall be disconnected during the insulation tests.

If a liquid is used as heat transfer agent, the insulation test shall be performed with the liquid present.

Impulse withstand voltage tests are only required for converters with $U_{Nm} > 2\,500$ V. By agreement between purchaser and supplier the impulse voltage test may be substituted by a power frequency withstand voltage test U_{ac} (see IEC 62497-1). In this test the voltage shall be applied for 5 s.

7.2.1.2 Insulation tests of converter equipment and assemblies arranged in a single enclosure

Each circuit of the converter shall be subjected to an insulation test against the enclosure and against any other circuits which are electrically separate from the circuit section under test. The test voltage shall be selected according to 7.2.1.3 with U_{Nm} being determined for the circuit under test.

The test voltage shall be applied between the circuit under test and the frame or enclosure to which the terminals of any other circuits shall be connected for the purpose of this test.

7.2.1.3 Test voltages, clearances and creepage distances

7.2.1.3.1 Test voltages, clearances and creepage distances for a.c./a.c. frequency converters

Test voltages, clearances and creepage distances according to Table 7 apply only to devices connected directly to the traction voltage. The dielectric properties of converters isolated from the traction voltage through transformers may be agreed between purchaser and supplier.

The tests according to 7.2.1.2 shall be performed with a test voltage with an r.m.s. value and a peak value according to IEC 62497-1.

For clearances and creepage distances refer to IEC 62497-1.

7.2.1.3.2 Test voltages, clearances and creepage distances for a.c./d.c. converters

Isolating distances shall be designed in accordance with the requirements for isolating distances specified in IEC 62497-1. The insulation tests shall be performed with test voltages according to Table 7.

The clearances in Table 7 are minimum clearances between phase or pole and earth.

Table 7 – Insulation levels for a.c./d.c. converters

Nominal voltage U_n kV	Rated insulation voltage U_{Nm} kV	Power frequency withstand voltage U_a kV		Impulse voltage 1,2 μ s/50 μ s U_{Ni} kV		Clearance mm	
0,6	0,9	2,8		not applicable		10	
0,75	1,2	3,6		not applicable		14	
0,75	1,8	4,6		not applicable		18	
1,5	2,3	5,5		not applicable		22	
1,5	3,0	9,2		not applicable		36	
3,0	3,6	OV 3	11,5	OV 3	25	OV 3	45
		OV 4	14,0	OV 4	30	OV 4	54
3,0	4,8	OV 3	14,0	OV 3	30	OV 3	54
		OV 4	18,5	OV 4	40	OV 4	72
3,0	6,5	OV 3	18,5	OV 3	40	OV 3	72
		OV 4	23,0	OV 4	50	OV 4	91

NOTE For rated insulation voltages up to 3 kV the values are taken assuming that the overvoltage category OV 3 as defined in IEC 62497-1 is used. For rated insulation voltages of 3 kV or higher OV 4 is used.

7.2.2 Light load functional test

The light load functional test is carried out at a sufficient load to verify that all parts of the main circuit and the auxiliary circuits operate properly.

For the routine test, the converter shall be connected to the rated supply voltage(s).

For self-commutated converters the light load functional test and a load test may be combined.

If series connected semiconductor devices are used in the arms of the converter, the voltage sharing shall be checked to be within the design limits.

7.2.3 Load test

The test is carried out to verify that the equipment will operate satisfactorily at basic current.

The d.c. terminals shall be bonded together via a measuring shunt or a similar device. An a.c. voltage of sufficient value shall be connected to the a.c. terminals of the converter to cause basic direct current to flow.

During the test, the control equipment, if any, and auxiliaries shall be supplied separately with their rated voltage.

By proper coordination of control, if any, and of applied a.c. voltage, basic direct current shall be circulated through the d.c. terminals.

If parallel connected devices are used in the arms, the current sharing shall be checked to be within the design limits.

The load test and the temperature-rise test may be combined.

For self-commutated converters the load test shall be carried out as routine test.

7.2.4 Power loss determination

If the power loss determination shall be done by measurement and not by calculation (see 6.3.1), the methods for power loss measurement given in Clause 4 of IEC 60146-1-2 may be used.

7.2.5 Temperature-rise test

7.2.5.1 General

The temperature-rise of the converter shall be determined under test conditions given for the load test, 7.2.3. If the test is conducted at a lower ambient temperature than the maximum specified, corrections shall be made. The temperature-rise test is not limited to the main circuit.

The temperature-rise test shall be conducted for a duty class at basic current and the overload currents for the duration indicated in the duty class or load cycle.

In order to correct the losses of the elements with sinusoidal waveshape of the current at 180° conduction versus those with rectangular waveshape at 120° conduction, the test current shall be increased by 10 %.

The temperature-rise at potential highest temperature points accessible on the semiconductor devices shall be recorded. The rise of virtual junction temperature shall be calculated and based on the temperature measurements in order to show that the assembly is capable of carrying the specified duty class or load cycle without exceeding maximum virtual junction temperature for the devices. The actual current sharing between parallel valve devices shall be taken into account.

The temperatures of busbars, insulation material, cables and control and protection devices shall not exceed their admissible limits (absence of permanent damage).

The temperature-rise above ambient temperature at continuous current shall be taken when temperature readings have reached a steady state. Variations of less than 1 K/h, with a maximum test duration of 8 h, shall be considered conditions fulfilling the required steady state conditions.

Temporary connections to the main circuit shall be made so that no heat is removed from the converter assembly nor supplied during the test. The temperature-rise is measured at the main circuit terminals and at the temporary connections, 1 m away from the terminals. The temperature-rise difference shall not exceed 5 K.

In those cases where parallel redundancy of semiconductor devices is provided, the redundant devices with the potential lowest temperature-rise shall be excluded in order to check that the remaining devices do not exceed the maximum allowable temperature.

In those cases where series redundancy of semiconductor devices is provided, all devices shall be included.

The maximum virtual junction temperature, measured and corrected by calculation, shall not exceed the admissible maximum junction temperature given by the manufacturer of the semiconductor device.

7.2.5.2 Ambient air and cooling medium temperature

7.2.5.2.1 Ambient air temperature

The ambient air temperature shall be measured at half the distance from any neighbouring equipment, but not more than 300 mm distance from the enclosure, at middle height of the equipment, protected from direct heat radiation from the equipment.

7.2.5.2.2 Cooling medium temperature for air cooling

The average temperature shall be measured outside the equipment at points 50 mm from the inlet to the equipment.

NOTE For the evaluation of the fraction of heat which is radiated, the ambient air temperature is that described in 7.2.5.2.1.

7.2.5.2.3 Cooling medium temperature for liquid cooling

The temperature shall be measured in the liquid pipe 100 mm upstream from the liquid inlet.

7.2.5.2.4 Temperature of heat transfer agent

The heat transfer agent temperature shall be measured at a point to be specified by the manufacturer.

7.2.6 Checking of auxiliary devices

The function of auxiliary devices such as contactors, pumps, sequencing equipment, fans, etc., shall be checked.

7.2.7 Checking of the properties of the control equipment

It is not feasible to verify the properties of the control equipment under all those load conditions which can prevail in real operation. However, it is recommended that trigger equipment shall be checked under real load conditions as far as possible. When this cannot be done on the manufacturers premises, it may be performed after installation by agreement with the user.

When practicable, the checking of control equipment may be restricted to a check under two load conditions as specified by 7.2.2 and 7.2.3 respectively.

In either case the static and dynamic properties of the control equipment shall be checked. This shall include checking that the equipment operates satisfactorily for all values of supply voltages within the ranges of variation for which it is designed.

In type tests the function of the auxiliary circuits shall be tested at maximum and minimum values of the supply voltage.

In the case the semiconductor power converter is equipped with automatic control equipment, for example constant voltage control or constant current control, checking of the properties may be replaced by other means such as simulation and stability analysis by agreement between purchaser and supplier.

7.2.8 Checking of the protective devices

Checking of the protective devices shall be done as far as possible without stressing the components of the equipment above their rated values.

Due to the wide variety of protective devices and their combinations, it is not possible to state any general rules for the checking of these devices. However, if a system control equipment is designed to protect the converter from overloads, its ability in this respect shall be checked.

Routine tests shall be performed to check the operation of protective devices. It is, however, not intended that the operation of devices such as fuses, etc., where the operation is based on destruction of the operating component, shall be checked.

7.2.9 Short-time withstand current test

The short-time withstand current test is a supplementary test. The test is carried out to verify the short-time withstand current carrying capability (see 6.7.2.4) of the converter for the specified current and duration. This subclause applies to tests of the converter without its intended transformer.

The short-time withstand current test shall be made under test conditions as given for the load test in 7.2.3.

The converter shall be preheated as described in 7.2.5. When the junction temperature of that semiconductor device, which was found to be the hottest during the temperature-rise test, has reached the temperature, measured as steady-state temperature at I_{BD} , the short-time current shall be applied to the converter within 1 s.

After the short-time withstand current test all semiconductor devices and fuses shall operate properly. Busbars, insulating material and other mechanical parts shall not be damaged. In order to verify the proper function of the converter, a light load functional test according to 7.2.2 shall be carried out.

In those cases where parallel redundancy of semiconductor devices is provided, the redundant devices shall be excluded in order to check that the remaining devices are able to carry the short-time current.

7.2.10 Additional tests

Specifications and procedures for any additional tests, for example vibration, voltage drift, audible noise shall be agreed between purchaser and supplier.

Annex A (informative)

Information required

A.1 General

This annex gives a summary of the information which should be exchanged between purchaser and supplier.

A.2 Diode rectifiers

A.2.1 Procurement specification

The following items should be included, where applicable, within the specification issued by the purchaser in order to provide the precise technical requirements.

NOTE The characteristics are only used where they specifically apply.

A.2.1.1 Characteristics and functional requirements

- a) type of equipment (see 4.3.1);
- b) nominal d.c. voltage;
- c) rated a.c. voltage on the supply side;
- d) rated insulation voltage;
- e) insulation requirements differing from those defined as normal (if any);
- f) basic direct current;
- g) duty class or designation of a load cycle;
- h) short circuit capability of the converter or breaking time of the high voltage circuit breaker;
- i) d.c. power;
- j) converter connection (see 6.2);
- k) diode failure immunity level (see 6.7.4);
- l) requirement of diode fuses;
- m) requirements for diode or diode fuse failure monitoring device;
- n) requirement for diode temperature monitoring;
- o) data of the rectifier transformer;
- p) requirements and data of voltage and/or current measuring devices;
- q) rated voltage of auxiliary circuits;
- r) cooling method;
- s) safety related interlocks;
- t) requirement of provisions against the voltage rise below the transition current.

A.2.1.2 Special service conditions

Environmental and electrical service conditions differing from those defined as normal (see 5.2 and 5.3).

A.2.1.3 Mechanical requirements

- a) IP code required (according to IEC 60529);

- b) requirement of fixed or withdrawable equipment;
arrangement of a.c. and d.c. connections;
type and number of a.c. and d.c. cables, busbars or busducts;
- c) padlocking requirements;
- d) earthing and bonding facilities;
- e) earthing method of the enclosure or frame of the converter (see 6.8.2);
- f) maximum dimensions of the converter at site;
- g) details of arrangement for transport and delivery to site;
- h) details of site installation.

A.2.1.4 Tests

Tests differing from those specified in 7.1.2 as routine tests.

A.2.2 Supplier's tender specification

NOTE The characteristics are only used where they specifically apply.

A.2.2.1 Identification

- a) name of the manufacturer or trademark;
- b) type of equipment (see 4.3.1);
- c) type designation;
- d) reference to the National Standard corresponding with this Standard, which the manufacturer declares compliance with.

A.2.2.2 Characteristics

- a) nominal d.c. voltage;
- b) basic direct current;
- c) duty class or suitability of the converter for a specified load cycle (see 6.7.2);
- d) overcurrent curve (see 6.7.2.1);
- e) peak reverse voltage of diodes;
- f) losses;
- g) power efficiency;
- h) cooling method;
- i) dimensions of the converter assembly;
- j) space requirements for maintenance;
- k) necessity of rear access;
- l) weight of the complete assembly;
- m) confirmation of compliance with the purchaser's requirements (see A.2.1) and a list of any non-compliances;
- n) requirement of special tools for repair or maintenance.

A.2.3 Information and data to be given by the supplier during the delivery stage

- a) circuit and schematic diagrams of all circuits;
- b) demand of cooling medium (e.g. air);
- c) method of fixing of the converter assembly to floor;
- d) operation and maintenance manuals.

A.3 Controlled converters and inverters

A.3.1 Procurement specification

The following items should be included, where applicable, within the specification issued by the purchaser in order to provide the technical requirements for the performance of the converter.

It is assumed that a controlled converter can be supplied only as a whole converter group including transformer and filters under the overall responsibility of the converter supplier.

NOTE The characteristics are only used where they specifically apply.

A.3.1.1 Characteristics and functional requirements

- a) type of equipment (see 4.3.1);
- b) nominal d.c. voltage;
- c) rated insulation voltage;
- d) insulation requirements differing from those defined as normal;
- e) rated a.c. voltage on the supply side of the converter group;
- f) conventional no-load voltage;
- g) rated direct voltage;
- h) basic direct current;
- i) duty class or designation of a load cycle;
- j) requirements for current limiting;
- k) d.c. power;
- l) requirements concerning a.c. and d.c harmonic content;
- m) rated voltage of auxiliary circuits;
- n) cooling method;
- o) safety related interlocks.

A.3.1.2 Special service conditions

Environmental and electrical service conditions differing from those defined as normal (see 5.2 and 5.3).

A.3.1.3 Mechanical requirements

- a) IP code required (according to IEC 60529);
- b) arrangement of a.c. and d.c. connections;
- c) padlocking requirements;
- d) earthing and bonding facilities;
- e) earthing method of the enclosure or frame of the converter (see 6.8.2);
- f) maximum dimensions of the converter at site;
- g) details of arrangement for transport and delivery to site.

A.3.1.4 Tests

Tests differing from those specified in 7.1.2 as routine tests.

A.3.2 Supplier's tender specification

NOTE The characteristics are only used where they specifically apply.

A.3.2.1 Identification

- a) name of the manufacturer or trademark;
- b) type of equipment (see 4.3.1);
- c) type designation;
- d) reference to the National Standard corresponding with this Standard, which the manufacturer declares compliance with.

A.3.2.2 Characteristics

- a) nominal voltage;
- b) basic direct current;
- c) duty class or suitability of the converter for a specified load cycle (see 6.7.2);
- d) overcurrent curve (see 6.7.2.1);
- e) losses;
- f) power efficiency;
- g) cooling method;
- h) dimensions of the converter assembly;
- i) space requirements for maintenance;
- j) necessity of rear access;
- k) weight of the complete assembly;
- l) confirmation of compliance with the purchaser's requirements (see A.2.1) and a list of any non-compliances;
- m) requirement of special tools for repair or maintenance.

A.3.2.3 Information and data to be given by the supplier during the delivery stage

- a) circuit and schematic diagrams of all circuits;
- b) demand of cooling medium (e.g. air);
- c) method of fixing of the converter assembly to floor;
- d) operation and maintenance manuals.

A.4 Frequency converters (direct and d.c. link converters)**A.4.1 Procurement specification**

The following items should be included, where applicable, within the specification issued by the purchaser in order to provide the precise technical requirements.

It is assumed that a frequency converter can be supplied only as a whole converter group including transformers and filters under the overall responsibility of the converter supplier.

A.4.1.1 Characteristics and functional requirements

- a) type of equipment (see 4.3.1);
- b) nominal a.c. voltage, 1 phase;
- c) rated a.c. voltage, 3 phase;
- d) rated frequencies, 1 phase and 3 phase;
- e) rated insulation voltages;
- f) insulation requirements differing from those defined as normal;
- g) nominal active and/or reactive power at working point, 1 phase;
- h) requirements on reactive power characteristic, 3 phase;

- i) duty class or designation of a load cycle;
- j) maximum and minimum short circuit power, 1 phase and 3 phase;
- k) existing harmonic content in a.c. voltages, 1 phase and 3 phase;
- l) limits for additional harmonic generation, 1 phase and 3 phase;
- m) resonance frequencies or network impedances $[Z(f)]$, 1 phase and 3 phase;
- n) requirements and data of voltage and current measuring devices;
- o) requirements on control and regulation functions;
- p) safety related interlocks.

A.4.1.2 Service conditions

Environmental conditions differing from those defined as normal (see 5.2).

A.4.1.3 Mechanical requirements

- a) IP code required (according to IEC 60529);
- b) padlocking requirements;
- c) earthing and bonding facilities;
- d) details of site installation;
- e) details of arrangement for transport and delivery to site;
- f) maximum dimensions of the converter at site.

A.4.1.4 Tests

Tests of components should be agreed upon in accordance to appropriate Standards.

Tests for the converter groups should be defined during the tendering process.

A.4.2 Supplier's tender specification

NOTE The characteristics are only used where they specifically apply.

A.4.2.1 Identification

- a) name of the manufacturer or trademark;
- b) type of equipment (see 4.3.1);
- c) type designation if applicable;
- d) reference to the National Standard corresponding with this Standard, which the manufacturer declares compliance with.

A.4.2.2 Characteristics

- a) nominal voltage, 1 phase, 3 phase and d.c.;
- b) rated current, 1 phase, 3 phase and d.c.;
- c) rated frequencies, 1 phase, 3 phase;
- d) data and requirements of converter transformers, 1 phase and 3 phase;
- e) duty class or load cycle at 1 phase;
- f) losses;
- g) power efficiency;
- h) cooling method;
- i) rated voltage and power demand of auxiliary and control circuits;
- j) dimensions of the converter assembly;
- k) space requirements for maintenance;

- l) weight of the complete assembly;
- m) confirmation of compliance with the purchaser's requirements (see A.2.1) and a list of any non-compliances;
- n) requirement of special tools for repair or maintenance.

A.4.2.3 Information and data to be given by the supplier during the delivery stage

- a) circuit and schematic diagrams of all circuits;
- b) dimension drawings of main components and total converter group;
- c) demand of cooling medium (e.g. air);
- d) method of fixing of the converter assembly to floor;
- e) operation and maintenance manuals, including safety instructions and information on transport, packing, assembly and commissioning.

Annex B (informative)

Determination of the current capability through calculation of the virtual junction temperature

B.1 General

The calculation of the virtual junction temperature is the basis for determination of current capability of converters.

A method for calculating virtual junction temperature is shown in Clauses B.3 to B.6.

The method is valid under the following assumptions:

- a) the virtual junction temperature to be calculated depends only on power dissipation of the power semiconductor device under consideration. In other terms, each power semiconductor has its own heat transfer path to the cooling medium, really or virtually independent from the heat transfer paths of other power dissipating elements of the stack or assembly;

NOTE 1 This does not hold true for example in those four quadrant assemblies in which power semiconductors belonging to forward and reverse sections share the same cooling bodies.

- b) thermal resistance and transient thermal impedance between the virtual junction and the reference point are independent from the temperature, i.e. a linear relationship exists between the temperature rise and the power dissipation;

NOTE 2 This condition is generally not satisfied in the case of convection cooling.

- c) semiconductor losses are mainly conduction losses; turn-on, turn-off and voltage dependent losses. The voltage dependent losses might have to be considered particularly in the case of self-commutated converters or heavy current line commutated converters.

B.2 Approximation of the shape of power pulses applied to the semiconductor device

The equivalent power losses with rectangular waveshape pulses are selected to have

- a) the same peak value as the actual power pulse,
- b) a pulse duration adjusted to give the same average value as the actual power pulses.

This method for approximation the power losses is applicable

- c) within a period of the supply frequency, i.e. equal to the conduction period of one converter circuit element,
- d) for the case when the load of a converter is cyclic with a period up to several minutes.

For case c)

$$t_1 = \frac{P_{avg}}{\dot{P}} \times T_N$$

For case d)

$$t_p = \frac{P_M}{\dot{P}_{avg}} \times T$$

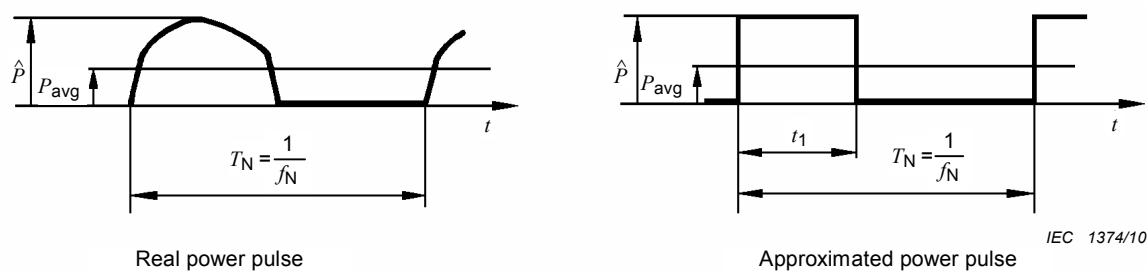


Figure B.1a

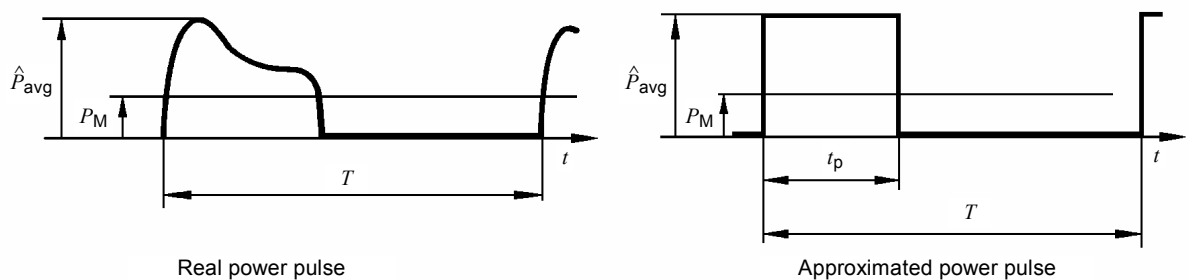


Figure B.1b

Figure B.1 – Approximation of the shape of power pulses

In some cases, especially for pulse duration longer than 1 s and for real power loss pulses with shapes considerably diverging from rectangular wave form, it can be necessary to make up the approximated power pulse by several rectangular pulses of different amplitudes and durations to obtain a more accurate result. It is recommended that each of these pulses should be selected to have the same duration and the same average value as the section of the real power loss pulse it is substituting.

B.3 Superposition method for the calculation of temperature

The method is based on the application of a transient thermal impedance curve. It is assumed that the power losses are represented as square wave pulses approximated according to B.2.

The temperature difference Θ_n between two specified points A and B at the time t_n is given as the sum of temperature contributions from all power steps ΔP_v preceeding the time t_n .

$$\Theta_n = \sum_{v=1}^{n-1} \Delta P_v \times Z_{nv}$$

A positive power step gives a positive temperature contribution and a negative power step gives a negative temperature contribution.

The method is exemplified in Table B.1.

B.4 Calculation of virtual junction temperature for continuous load

In this case the virtual junction temperature varies with time with a frequency determined by the alternating line voltage.

The power loss approximated by the method given in Clause B.2 and the virtual junction temperature versus time is given by the following diagram (Figure B.2).

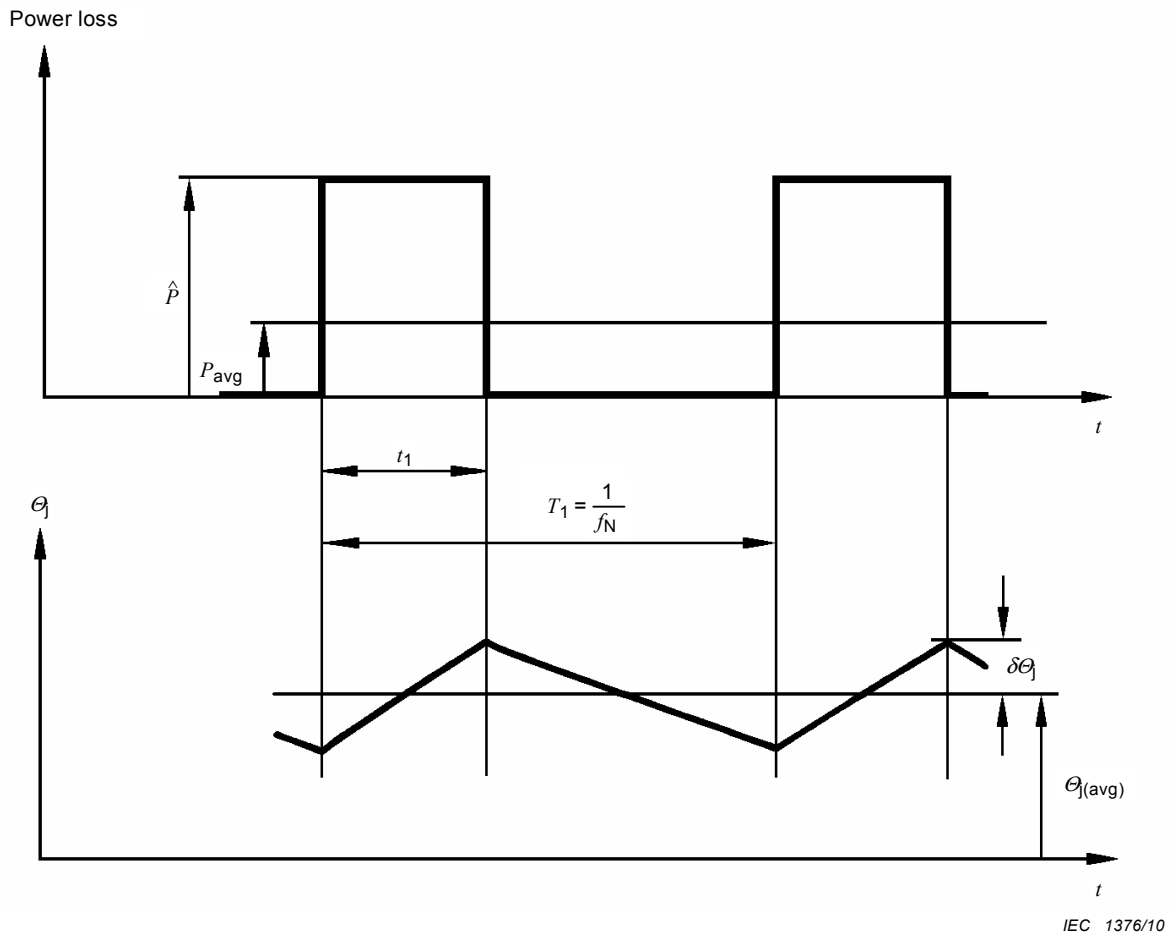


Figure B.2 – Calculation of the virtual junction temperature for continuous load

B.4.1 Calculation of mean value of virtual junction temperature

The mean value of the virtual junction temperature is given by the formula:

$$\Theta_{j(avg)} = \Theta_x + P_{avg} \times R_{th}$$

B.4.2 Calculation of maximum instantaneous virtual junction temperature

The maximum instantaneous virtual junction temperature within one cycle is calculated by the formula:

$$\Theta_j = \Theta_{j(avg)} + \delta\Theta_j$$

An accurate value of the temperature excursion $\delta\Theta_j$ can be calculated by the power pulse superposition method described in Clause B.3.

$$\delta\Theta_j = \frac{T_{1N}}{t_1} \times P_{avg} \left[\sum_{\nu=1}^{\frac{n}{2}} \times Z_n \times (2\nu - 1) - \sum_{\nu=1}^{\frac{n-2}{2}} \times Z_n \times 2\nu \right] - P_{avg} \times R_{th}$$

As $\delta\theta_j$ normally is small compared to $\delta\theta_{j(avg)}$ the following approximated formula is recommended:

$$\delta\theta_j = \frac{T_{1N}}{t_1} \times P_{avg} - \left[Z_{t1} - Z_T + \left(1 - \frac{t_1}{T} \right) \times Z_{(t_1 + T)} \right]$$

B.5 Calculation of virtual junction temperature for cyclic loads

In this case, the virtual junction temperature varies with time at a frequency determined by the load variations but also with a higher frequency determined by the alternating voltage as described in Clause B.4 (see Figure B.3).

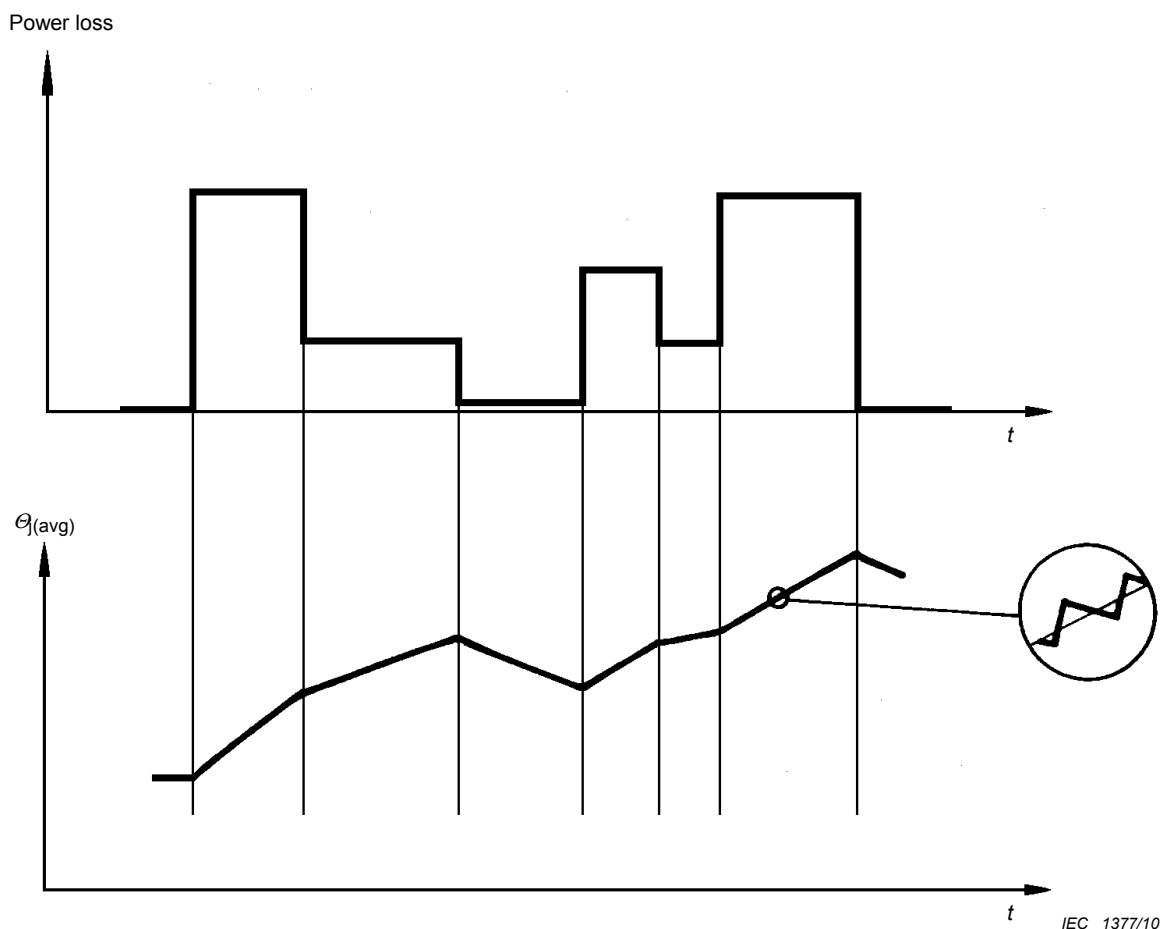


Figure B.3 – Calculation of the virtual junction temperature for cyclic load

The temperature excursion caused by the heating up of the junction during the conduction period and the cooling down during the low-load or no-load period is calculated in the same way as for continuous load according to B.4.2. The mean value of the virtual junction temperature averaged over one cycle of the supply frequency at a certain time in the load cycle is calculated according to the method given in B.4.1.

The mean virtual junction temperature at the time t_n is thus given by:

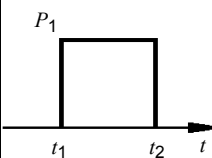
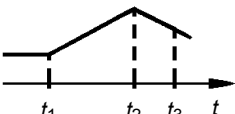
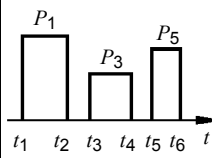
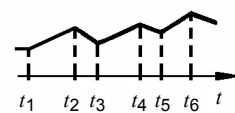
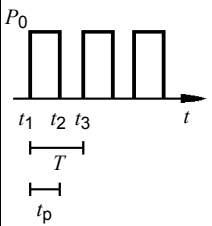
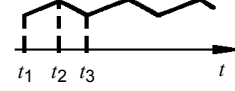
$$\theta_{j(avg)n} = \theta_x + \sum_{v=1}^{n-1} \Delta P_v \times Z_{nv}$$

The maximum instantaneous value of virtual junction temperature at the time t_n is given by:

$$\Theta_j = \Theta_{j(\text{avg})} + \Delta\Theta_j$$

B.6 Examples for typical applications

Table B.1 – Examples for typical applications

Load condition	Power loss diagram	Mean virtual junction temperature diagram	Calculation formulae
Single load pulse			$\Theta_{j(\text{avg})2} = \Theta_x + P_1 \times Z_{21}$ $\Theta_{j(\text{avg})3} = \Theta_x + P_1 \times Z_{31} - P_1 \times Z_{32}$
Sequence of load pulses			$\Theta_{j(\text{avg})2} = \Theta_x + P_1 \times Z_{21}$ $\Theta_{j(\text{avg})4} = \Theta_x + P_1 \times Z_{41} - P_1 \times Z_{42} + P_3 \times Z_{43}$ $\Theta_{j(\text{avg})6} = \Theta_x + P_1 \times Z_{61} - P_1 \times Z_{62} + P_3 \times Z_{63} - P_3 \times Z_{64} + P_5 \times Z_{65}$
Long sequence of equal amplitude load pulses			$n = \text{even}$: $\Theta_{j(\text{avg})n} = \Theta_x + \sum_{v=1}^{\frac{n}{2}} P_0 \times Z_{n(2v-1)} - \sum_{v=1}^{\frac{n}{2}-1} P_0 \times Z_{n(2v)}$ $n = \text{odd}$: $\Theta_{j(\text{avg})n} = \Theta_x + \sum_{v=1}^{\frac{n-1}{2}} P_0 \times Z_{n(2v-1)} - \sum_{v=1}^{\frac{n-1}{2}} P_0 \times Z_{n(2v)}$ or approximated: $\Theta_{j(\text{avg})n} = \Theta_x + P_0 \times \left[Z_{tp} - Z_T + \left(1 - \frac{tp}{T} \right) \times Z_{(T+tp)} + \frac{tp}{T} \times R_T \right]$

Annex C (informative)

Index of definitions

Term	IEC	Subclause
angle of overlap u	60050-551-16-05	3.5.4
(valve) arm	60050-551-15-01	3.2.1
(valve device) assembly	60050-551-14-13	3.1.3
basic converter connection	60050-551-15-11	3.2.4
basic service current on the supply side of a converter I_{BV}		3.6.8
basic direct current I_{Bd}		3.6.10
boost and buck connection	60050-551-15-21	3.2.10
commutating group	60050-551-16-08	3.5.7
commutating voltage	60050-551-16-02	3.5.2
commutation	60050-551-16-01	3.4.1
commutation circuit	60050-551-16-03	3.5.9
commutation inductance	60050-551-16-07	3.5.3
commutation notch	60050-551-16-06	3.5.5
commutation number q	60050-551-17-03	3.5.8
commutation repetitive transient		3.5.6
controllable arm		3.3.1
controlled conventional no-load direct voltage $U_{d0\alpha}$	60050-551-17-18	3.8.4
controlled ideal no-load direct voltage $U_{di\alpha}$	60050-551-17-16	3.8.2
convection (natural circulation)		3.10.5
conventional no-load direct voltage U_{d0}	60050-551-17-17	3.8.3
converter connection	60050-551-15-10	3.2.3
converter section of a double converter	60050-551-12-40	3.3.10
cooling medium		3.10.1
d.c. power		3.7.3
deformation factor v		3.8.11
direct commutation	60050-551-16-09	3.4.3
direct cooling		3.10.3
direct voltage drop	60050-551-17-21	3.8.8
double converter	60050-551-12-39	3.3.9
double way connection (of a converter)	60050-551-15-13	3.2.6
duty class		3.7.1
electrical disturbance		3.11.1
electronic power converter	60050-551-12-01	3.1.4
equilibrium temperature		3.10.8
external commutation	60050-551-16-11	3.4.5
extinction angle γ		3.5.13
forced circulation (forced cooling)		3.10.6
four quadrant (double) converter	60050-551-12-36	3.3.6
(total) harmonic distortion	60050-551-17-06	3.11.3
heat transfer agent		3.10.2
ideal crest no-load voltage		3.8.6
ideal no-load direct voltage U_{di}	60050-551-17-15	3.8.1
immunity level of a converter		3.11.2
indirect commutation	60050-551-16-10	3.4.4
indirect cooling		3.10.4
inherent delay angle α_p	60050-551-16-35	3.5.12

Term	IEC	Subclause
line commutation.....	60050-551-16-12.....	3.4.6
load commutation	60050-551-16-13.....	3.4.7
load cycle		3.7.2
mixed circulation.....		3.10.7
natural circulation (convection)		3.10.5
nominal voltage U_n		3.6.3
non-controllable arm		3.3.2
non-uniform connection	60050-551-15-18.....	3.2.8
one quadrant converter	60050-551-12-34.....	3.3.4
parallel connection.....		3.2.11
power efficiency.....		3.7.4
power factor of the fundamental wave or displacement factor $\cos \varphi_1$		3.8.9
principal arm.....	60050-551-15-02.....	3.2.2
pulse number p	60050-551-17-01.....	3.5.9
quadrants of operation (on d.c. side).....		3.3.3
quenching.....	60050-551-16-19.....	3.4.2
rated current on the traction side of a frequency converter I_{Nt}		3.6.9
rated a.c. voltage on the supply side of a converter U_{NV}		3.6.5
rated a.c. voltage on the traction side of a converter U_{Nt}		3.6.6
rated direct voltage U_{Nd}		3.6.7
rated frequency f_N		3.6.2
rated insulation voltage U_{Nm}		3.6.4
rated value.....		3.6.1
real no-load direct voltage U_{d00}	60050-551-17-19.....	3.8.5
reversible converter	60050-551-12-37.....	3.3.7
self commutation.....	60050-551-16-15.....	3.4.8
semiconductor device		3.1.1
series connection.....		3.2.9
single converter	60050-551-12-38.....	3.3.8
single way connection (of a converter)	60050-551-15-12.....	3.2.5
(valve device) stack	60050-551-14-12.....	3.1.2
system control equipment		3.1.6
thermal resistance R_{th}		3.9.1
total power factor λ		3.8.9
transient thermal impedance Z_{th}		3.9.2
transition current.....	60050-551-17-20.....	3.8.7
trigger advance angle β	60050-551-16-34.....	3.5.11
trigger delay angle α	60050-551-16-33.....	3.5.10
trigger equipment (gating equipment).....		3.1.5
two quadrant (single) converter.....	60050-551-12-35.....	3.3.5
uniform connection	60050-551-15-15.....	3.2.7
virtual junction temperature Θ_j		3.9.3

Bibliography

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

IEC 60050-441:1984, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Chapter 441: Switchgear, controlgear and fuses*

IEC 60050-521:2002, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 521: Semiconductor devices and integrated circuits*

IEC 60050-601:1985, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Chapter 601: Generation, transmission and distribution of electricity – General*

IEC 60146-2:1999, *Semiconductor converters – Part 2: Self-commutated semiconductor converters including d.c. converters*

IEC 60747 (all parts), *Semiconductor devices*

IEC 62589, *Railway applications – Fixed installations – Harmonisation of the rated values for converter groups and tests on converter groups*¹

¹ To be published.

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	59
INTRODUCTION	61
1 Domaine d'application	62
2 Références normatives	62
3 Termes et définitions	63
3.1 Dispositifs à semiconducteurs et combinaisons	63
3.2 Bras et connexions	64
3.3 Contrôlabilité des bras de convertisseur et quadrants de fonctionnement	65
3.4 Commutation, extinction et circuits de commutation	66
3.5 Caractéristiques de commutation	66
3.6 Valeurs assignées	69
3.7 Capacités sous charges	70
3.8 Tensions, courants et facteurs spécifiques	70
3.9 Définitions relatives à la température virtuelle de jonction	72
3.10 Refroidissement	72
3.11 Compatibilité électromagnétique et distorsion harmonique	73
4 Fonctionnement de l'équipement de puissance à semiconducteur et des valves	73
4.1 Classification des convertisseurs d'alimentation de traction et des valves	73
4.1.1 Types des convertisseurs d'alimentation de traction	73
4.1.2 Objet de la conversion	73
4.1.3 Classification des valves à semiconducteurs	74
4.2 Principaux symboles	74
4.3 Facteurs de calcul de base pour les convertisseurs commutés par le réseau	75
4.3.1 Tension	75
4.3.2 Caractéristiques de tension et courant de transition	75
5 Conditions de service	76
5.1 Code d'identification de la méthode de refroidissement	76
5.1.1 Symboles littéraux à utiliser	76
5.1.2 Disposition des symboles littéraux	77
5.2 Conditions liées à l'environnement	77
5.2.1 Circulation de l'air ambiant	77
5.2.2 Conditions de service normales	78
5.2.3 Conditions de service particulières	79
5.3 Conditions de fonctionnement électriques	79
5.3.1 Généralités	79
5.3.2 Valeurs limites des caractéristiques assignées de base	79
5.3.3 Tension d'alimentation du système de traction à courant continu	81
6 Convertisseur et ensembles de convertisseurs	81
6.1 Couplages électriques	81
6.2 Facteurs de calcul	82
6.2.1 Facteur de courant côté alternatif	82
6.2.2 Chute de tension	83
6.3 Pertes et rendement	83
6.3.1 Généralités	83
6.3.2 Pertes assimilées	83
6.4 Facteur de puissance	83

6.5	Résidu harmonique de la tension continue	84
6.6	Compatibilité électromagnétique (CEM).....	84
6.7	Valeurs assignées des convertisseurs	85
6.7.1	Généralités.....	85
6.7.2	Valeurs des courants	85
6.7.3	Capacité aux charges dissymétriques d'un convertisseur dodécaphasé connecté en parallèle.....	87
6.7.4	Conditions de défaillance des dispositifs à semiconducteurs	87
6.8	Caractéristiques mécaniques.....	88
6.8.1	Généralités.....	88
6.8.2	Mise à la terre	88
6.8.3	Degré de protection	88
6.9	Marques et indications	89
6.9.1	Plaque d'identification	89
6.9.2	Bornes du circuit principal	89
7	Essais	89
7.1	Généralités.....	89
7.1.1	Réalisation des essais.....	89
7.1.2	Programme d'essais	90
7.2	Modalités d'essais	90
7.2.1	Essais d'isolement.....	90
7.2.2	Essai de fonctionnement à puissance réduite	92
7.2.3	Essai en charge.....	93
7.2.4	Détermination des pertes.....	93
7.2.5	Essai d'échauffement	93
7.2.6	Vérification des dispositifs auxiliaires	94
7.2.7	Vérification des propriétés de l'équipement de commande	94
7.2.8	Vérification des protections	95
7.2.9	Essai de courant de tenue de courte durée.....	95
7.2.10	Essais supplémentaires.....	96
	Annexe A (informative) Informations requises	97
	Annexe B (informative) Détermination du courant admissible par calcul de la température virtuelle de jonction.....	103
	Annexe C (informative) Index des définitions	108
	Bibliographie.....	111
	Figure 1 – Illustration des angles	68
	Figure 2 – Chute de tension.....	76
	Figure 3 – Onde de tension alternative	80
	Figure B.1 – Forme approchée de l'impulsion de puissance	104
	Figure B.2 – Calcul de la température virtuelle de jonction pour une charge permanente	105
	Figure B.3 – Calcul de la température virtuelle de jonction pour des charges cycliques	106
	Tableau 1 – Symboles pour les fluides de refroidissement et d'échange thermique.....	76
	Tableau 2 – Symboles pour les méthodes de circulation	76
	Tableau 3 – Montages et facteurs de calcul des convertisseurs commutés par le réseau	82

Tableau 4 – Classes de service normalisées.....	85
Tableau 5 – Conditions de défaillance des dispositifs à semiconducteurs	87
Tableau 6 – Résumé des essais	90
Tableau 7 – Niveaux d'isolement des convertisseurs alternatif/continu.....	92
Tableau B.1 – Exemples d'applications types.....	107

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

APPLICATIONS FERROVIAIRES – INSTALLATIONS FIXES – CONVERTISSEURS ÉLECTRONIQUES DE PUISSANCE POUR SOUS-STATIONS

AVANT-PROPOS

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

La Norme internationale CEI 62590 a été établie par le comité d'études 9 de la CEI: Matériels et systèmes électriques ferroviaires.

Cette norme est basée sur l'EN 50328.

Le texte de la présente norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
9/1387/FDIS	9/1411/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.

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

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

INTRODUCTION

Les convertisseurs à semiconducteurs d'alimentation de traction diffèrent des autres convertisseurs à usage industriel en raison des conditions électriques particulières rencontrées en service, des grandes variations de charge et des caractéristiques particulières de la charge.

Pour ces raisons, les exigences propres aux applications ferroviaires ne sont pas intégralement traitées dans la CEI 60146-1-1 et il a été décidé de les traiter dans une Norme spécifique.

L'EN 50329 traite des transformateurs de convertisseurs des installations fixes du domaine ferroviaire.

La CEI 62589 traite de l'harmonisation des valeurs assignées et des essais des groupes convertisseurs complets.

APPLICATIONS FERROVIAIRES – INSTALLATIONS FIXES – CONVERTISSEURS ÉLECTRONIQUES DE PUISSANCE POUR SOUS-STATIONS

1 Domaine d'application

La présente Norme internationale spécifie les exigences de qualité de fonctionnement de tous les convertisseurs de puissance électroniques pour les installations fixes, utilisant des valves électroniques commandables et/ou non commandables et destinées à l'alimentation de traction.

Les appareils peuvent être commandés par un courant, une tension ou une lumière. Les appareils non bistables sont supposés fonctionner en mode commuté.

La présente Norme s'applique aux installations fixes des systèmes de traction électrique suivants:

- chemins de fer,
- systèmes guidés de transport de masse tel que: tramways, métros légers, chemins de fer aériens et souterrains, chemins de fer de montagne, trolleybus.

La présente norme ne s'applique pas:

- aux grues, plateformes transportables et autres matériels de transports similaires sur rails,
- aux téléphériques,
- aux funiculaires.

La présente Norme s'applique aux redresseurs à diodes, redresseurs commandés, onduleurs et convertisseurs de fréquence.

L'équipement traité dans la présente Norme est le convertisseur même.

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: Électronique de puissance*

CEI 60050-811:1991, *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) – Chapitre 811: Traction électrique*

CEI 60146 (toutes les parties), *Convertisseurs à semiconducteurs*

CEI 60146-1-2:1991, *Convertisseurs à semiconducteurs – Spécifications communes et convertisseurs commutés par le réseau – Partie 1-2: Guide d'application*

CEI 60529:1989, *Degrés de protection procurés par les enveloppes (Code IP)*

CEI 60721 (toutes les parties), *Classification des conditions d'environnement*

CEI 60850:2007, *Applications ferroviaires – Tensions d'alimentation des réseaux de traction*

CEI 61000-2-4:2002, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 2-4: Environnement – Niveaux de compatibilité dans les installations industrielles pour les perturbations conduites à basse fréquence*

CEI 61000-2-12:2003, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 2-12: Environnement – Niveaux de compatibilité pour les perturbations conduites à basse fréquence et la transmission des signaux sur les réseaux publics d'alimentation moyenne tension*

CEI 61992-7-1:2006, *Applications ferroviaires – Installations fixes – Appareillage à courant continu – Partie 7-1: Appareils de mesure, de contrôle et de protection pour usage spécifique dans les systèmes de traction à courant continu – Guide d'application.*

CEI 62236 (toutes les parties), *Applications ferroviaires – Compatibilité électromagnétique*

CEI 62236-5:2008, *Applications ferroviaires – Compatibilité électromagnétique – Partie 5: Emission et immunité des installations fixes d'alimentation de puissance et des équipements associés*

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

EN 50329:2003, *Applications ferroviaires – Installations fixes – Transformateurs de traction*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions suivants s'appliquent. Dans la présente norme, on utilise les définitions du VEI (Vocabulaire électrotechnique international) partout où cela est possible et en particulier celles de la CEI 60050-551.

La politique adoptée est la suivante:

- a) lorsqu'une définition appropriée existe dans le VEI, le terme et la référence sont donnés sans répéter le texte;
- b) lorsqu'une définition existante du VEI nécessite un développement ou des compléments, le terme, la référence et le texte supplémentaire sont donnés;
- c) lorsque aucune définition n'existe dans le VEI, le terme et le texte sont donnés.

Un index alphabétique est dressé en Annexe C.

3.1 Dispositifs à semiconducteurs et combinaisons

3.1.1

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

bloc de valves

[VEI 551-14-12]

3.1.3

ensemble de valves

[VEI 551-14-13]

3.1.4

convertisseur électronique de puissance

ensemble fonctionnel assurant la conversion électronique de puissance, constitué d'un ou de plusieurs ensemble de dispositifs à semiconducteurs

[VEI 551-12-01, modifiée]

3.1.5

dispositif de commande de gâchette (dispositif de déclenchement)

dispositif fournissant des impulsions de déclenchement adéquates à partir du signal de commande d'éléments de valves commandables de convertisseur ou d'interrupteur de puissance, incluant les circuits de synchronisation ou de déphasage ainsi que les circuits générateurs d'impulsions et habituellement, les circuits d'alimentation

3.1.6

dispositif de commande du système

équipement associé à un convertisseur ou à un système réalisant un réglage automatique des caractéristiques de sortie en tant que fonction d'une quantité commandée

3.2 Bras et connexions

3.2.1

bras de valve

[VEI 551-15-01]

3.2.2

bras principal

[VEI 551-15-02]

3.2.3

montage de convertisseur

[VEI 551-15-10]

3.2.4

montage de base d'un convertisseur

[VEI 551-15-11]

3.2.5

montage à simple voie (d'un convertisseur)

[VEI 551-15-12]

3.2.6

montage à double voie (d'un convertisseur)

[VEI 551-15-13]

3.2.7

montage homogène

[VEI 551-15-15]

3.2.8

montage hétérogène

[VEI 551-15-18]

3.2.9**montage en série**

montage dans lequel deux ou plusieurs convertisseurs sont reliés de telle façon que leurs tensions s'ajoutent

3.2.10**montage survolteur/dévolteur**

montage en série dans lequel les convertisseurs sont commandés indépendamment

[VEI 551-15-21, modifiée]

3.2.11**montage en parallèle**

montage dans lequel deux ou plusieurs convertisseurs sont reliés de telle façon que leurs courants s'ajoutent

3.3 Contrôlabilité des bras de convertisseur et quadrants de fonctionnement**3.3.1****bras commandable**

bras de convertisseur comprenant des éléments semiconducteurs commandables comme des valves

3.3.2**bras non commandable**

bras de convertisseur comprenant des éléments semiconducteurs non commandables comme des valves

3.3.3**quadrant de fonctionnement (côté courant continu)**

quadrant du plan tension courant défini par la polarité de la tension continue et la direction du courant

3.3.4**convertisseur à un quadrant**

[VEI 551-12-34]

3.3.5**convertisseur (simple) à deux quadrants**

[VEI 551-12-35]

3.3.6**convertisseur (double) à quatre quadrants**

[VEI 551-12-36]

3.3.7**convertisseur réversible**

[VEI 551-12-37]

3.3.8**convertisseur simple**

[VEI 551-12-38]

3.3.9**convertisseur double**

[VEI 551-12-39]

3.3.10
section convertisseur d'un convertisseur double
[VEI 551-12-40]

3.4 Commutation, extinction et circuits de commutation

3.4.1
commutation

transfert du courant d'un bras conducteur au suivant pour conduire séquentiellement et sans interruption le courant continu. Pendant un intervalle de temps limité, les deux bras sont simultanément conducteurs

[VEI 551-16-01, modifiée]

3.4.2
extinction sans commutation
[VEI 551-16-19]

3.4.3
commutation directe
[VEI 551-16-09]

3.4.4
commutation indirecte
[VEI 551-16-10]

3.4.5
commutation externe
[VEI 551-16-11]

3.4.6
commutation par le réseau
[VEI 551-16-12]

3.4.7
commutation par la charge
[VEI 551-16-13]

3.4.8
commutation autonome
[VEI 551-16-15]

3.5 Caractéristiques de commutation

3.5.1
circuit de commutation
[VEI 551-16-03]

3.5.2
tension de commutation
[VEI 551-16-02]

3.5.3
inductance de commutation

inductance totale comprise dans le circuit de commutation et en série avec la tension de commutation

[VEI 551-16-07, modifiée]

NOTE La réactance de commutation d'un convertisseur commuté par le réseau ou par machine est l'impédance de l'inductance de commutation à la fréquence fondamentale.

3.5.4

angle d'empiètement μ

durée de l'intervalle de commutation entre une paire de bras principaux, exprimée en mesure angulaire, dans le cas où les deux bras conduisent le courant

[VEI 551-16-05, modifiée]

3.5.5

encoche de commutation

transitoire périodique de tension qui peut apparaître sur la tension alternative d'un convertisseur commuté par le réseau ou par machine, du fait de la commutation

[VEI 551-16-06, modifiée]

3.5.6

transitoire de commutation répétitif

oscillation de la tension associée à l'encoche de commutation

3.5.7

groupe commutant

[VEI 551-16-08]

3.5.8

indice de commutation q

nombre de commutations d'un bras principal à un autre pendant une période de la tension alternative dans chaque groupe commutant

[VEI 551-17-03, modifiée]

3.5.9

indice de pulsation p

nombre de commutations non simultanées et symétriques directes ou indirectes d'un bras principal à un autre qui se produisent pendant une période de la tension alternative

[VEI 551-17-01, modifiée]

3.5.10

angle de retard de l'ordre d'amorçage α

durée exprimée en mesure angulaire pendant laquelle l'impulsion d'amorçage est retardée par rapport à un instant de référence (voir Figure 1)

Pour les convertisseurs commutés par le réseau, par la machine ou par la charge, l'instant de référence est l'instant de passage par zéro de la tension de commutation.

Pour les gradateurs, c'est l'instant de passage par zéro de la tension d'alimentation.

Pour les gradateurs associés à des charges inductives, l'angle de retard de l'ordre d'amorçage est la somme du déphasage et de l'angle de retard à l'amorçage.

[VEI 551-16-33, modifiée]

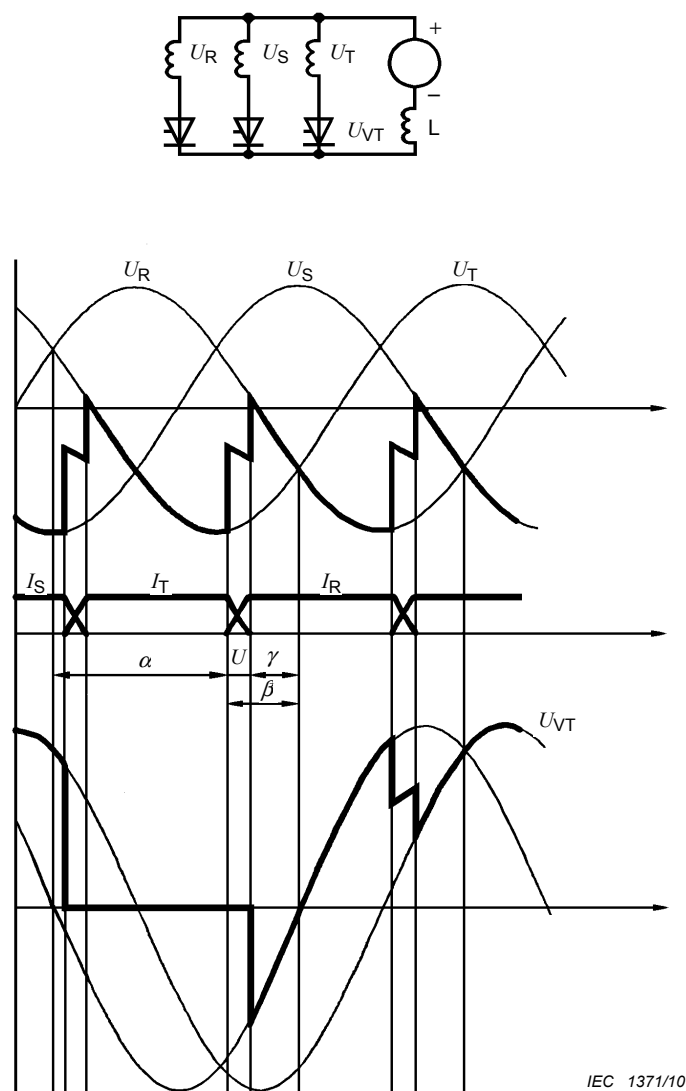


Figure 1 – Illustration des angles

3.5.11

angle d'avance de l'ordre d'amorçage β

(voir Figure 1)

[VEI 551-16-34]

3.5.12

angle de retard propre α_p

angle de retard apparaissant dans quelques montages de convertisseurs sous certaines conditions, même si aucune commande de phase n'est appliquée

[VEI 551-16-35, modifiée]

3.5.13

angle d'extinction γ

temps exprimé en mesure angulaire entre l'instant auquel le courant s'annule dans un bras et l'instant auquel le bras est appelé à supporter une tension directe en restant à l'état bloqué

3.6 Valeurs assignées

3.6.1

valeur assignée

valeur numérique de caractéristiques environnementales, électriques mécaniques et thermiques attribuées aux grandeurs définissant le fonctionnement d'un groupe convertisseur dans des conditions spécifiées conformément à la présente Norme et sur lesquelles sont basés les essais et les garanties du constructeur

3.6.2

fréquence assignée f_N

fréquence de conversion de chaque côté du convertisseur pour laquelle le convertisseur est destiné à fonctionner

3.6.3

tension nominale U_n

tension pour laquelle un convertisseur est conçu

NOTE Les valeurs normalisées des tensions nominales sont données dans la CEI 60850.

3.6.4

tension d'isolement assignée U_{Nm}

valeur efficace de la tension de tenue fixée par le constructeur de l'équipement ou d'une partie de l'équipement caractérisant la capacité de tenue permanente spécifiée de son isolement

NOTE Les valeurs normalisées des tensions d'isolement assignées sont données dans la CEI 62497.

3.6.5

tension alternative assignée côté alimentation d'un convertisseur U_{Nv}

valeur efficace de la tension à vide aux bornes de phases commutantes vectoriellement consécutives d'un groupe commutant

3.6.6

tension alternative assignée côté traction d'un convertisseur U_{Nt}

valeur efficace de la tension à vide côté traction d'un convertisseur de fréquence

3.6.7

tension continue assignée U_{Nd}

valeur spécifiée de la tension continue entre les bornes à courant continu de l'ensemble convertisseur au courant continu de base. Cette valeur est la valeur moyenne de la tension redressée

NOTE 1 Il est admis qu'un convertisseur ait plus d'une tension assignée ou une plage de tensions continues assignées.

NOTE 2 La tension continue assignée dépend des caractéristiques du transformateur et une valeur garantie de la tension continue assignée n'est valable qu'avec le transformateur (voir CEI 62589).

3.6.8

courant de service de base à l'alimentation d'un convertisseur I_{Bv}

valeur efficace du courant alternatif, avec tous ses harmoniques, à l'alimentation d'un convertisseur avec le courant de base côté traction

NOTE Pour un équipement polyphasé, cette valeur est calculée par ordinateur à partir du courant continu de base fondé sur des courant rectangulaires, conduction 120°, des éléments du convertisseur. Pour un équipement monophasé, les bases de calcul doivent être spécifiées.

3.6.9

courant assigné côté traction d'un convertisseur de fréquence I_{Nt}

valeur efficace du courant alternatif côté traction d'un convertisseur de fréquence dans les conditions assignées

3.6.10**courant de base redressé I_{Bd}**

valeur moyenne du courant redressé pour des conditions de charge et de service spécifiées

NOTE De même qu'une classe de service, on considère que la valeur de I_{Bd} , exprimée en valeur réduite, est 1,0 et à laquelle on compare d'autres valeurs de I_d .

3.7 Capacités sous charges**3.7.1****classe de service**

tableau représentant les courants admissibles et les valeurs d'essais de convertisseurs de conception normalisée en termes d'intensité et de durée du courant choisies pour représenter un groupe caractéristique d'applications pratiques. Les valeurs du courant sont exprimées en valeur réduite du courant continu de base I_{Bd} .

3.7.2**cycle de charge**

représentation de la demande de courant conventionnel à un convertisseur de conception particulière montrant la variation répétitive à l'intérieur d'une période de temps fixée. Les valeurs du courant sont exprimées en A ou en valeur réduite de I_{Bd} .

3.7.3**puissance en courant continu**

produit de la tension continue nominale U_n par le courant continu de base I_{Bd}

3.7.4**rendement**

rapport de la puissance utile à la puissance absorbée du convertisseur

3.8 Tensions, courants et facteurs spécifiques**3.8.1****tension continue fictive à vide U_{di}**

valeur moyenne de la tension à vide théorique d'un convertisseur en supposant qu'il n'y a ni réduction de tension par réglage de phase, ni chute de tension dans les ensembles, ni remontée de tension aux faibles charges

[VEI 551-17-15, modifiée]

3.8.2**tension continue fictive à vide avec réglage U_{dia}**

valeur moyenne de la tension à vide théorique d'un convertisseur lorsqu'il y a réduction de la tension continue par réglage de phase, en supposant qu'il n'y a ni chute de tension dans les ensembles, ni remontée de tension aux faibles charges

[VEI 551-17-16, modifiée]

3.8.3**tension continue conventionnelle à vide U_{d0}**

valeur moyenne de la tension continue que l'on obtiendrait en extrapolant la partie de la courbe caractéristique tension/courant correspondant à la conduction continue du courant redressé jusqu'à l'axe des ordonnées (courant nul)

[VEI 551-17-17, modifiée]

NOTE U_{di} est égale à la somme de U_{d0} et de la tension à vide dans l'ensemble.

3.8.4**tension continue conventionnelle à vide avec réglage $U_{d0\alpha}$**

valeur moyenne de la tension continue correspondant à un angle de retard α obtenue en extrapolant la partie de la courbe caractéristique tension/courant jusqu'à l'axe des ordonnées (courant nul)

[VEI 551-17-18, modifiée]

3.8.5**tension continue réelle à vide U_{d00}**

valeur moyenne de la tension continue effective pour un courant continu nul

[VEI 551-17-19]

3.8.6**tension crête fictive à vide U_{iM}**

tension à vide entre les bornes d'extrémité d'un bras sans tenir compte de la tension de choc interne et externe et de la chute de tension dans les valves

3.8.7**courant critique**

valeur moyenne du courant continu d'un montage convertisseur au-dessous de laquelle le courant continu des groupes commutants devient intermittent, lorsqu'on fait décroître le courant

[VEI 551-17-20, modifiée]

3.8.8**chute de tension continue**

différence entre la tension continue conventionnelle à vide et la tension continue au courant continu de base, pour un même angle de retard du courant ne tenant pas compte de l'effet correctif d'une stabilisation éventuelle de la tension

[VEI 551-17-21, modifiée]

NOTE La nature des circuits à courant continu (par exemple condensateurs, force contre électromotrice) peut affecter la chute de tension d'une manière significative. Il y a lieu de prêter une considération particulière à ce cas.

3.8.9**facteur de puissance totale λ**

$$\lambda = \frac{\text{puissance active}}{\text{puissance apparente}}$$

3.8.10**facteur de puissance du fondamental ou facteur de déphasage $\cos \varphi_1$**

$$\cos \varphi_1 = \frac{\text{puissance active du fondamental}}{\text{puissance apparente du fondamental}}$$

3.8.11**facteur de déformation v**

$$v = \frac{\lambda}{\cos \varphi_1}$$

3.9 Définitions relatives à la température virtuelle de jonction

3.9.1

résistance thermique R_{th}

quotient de la différence de température entre deux points ou régions spécifiés et le flux de chaleur entre ces deux points ou régions à l'équilibre thermique

NOTE Le plus souvent, on peut supposer que le flux de chaleur est égal à la puissance dissipée.

3.9.2

impédance thermique transitoire Z_{th}

quotient de la variation de la différence de la température atteinte à la fin de l'intervalle de temps, entre la température virtuelle de jonction et la température d'un point de référence externe, et de la réponse à la fonction échelon de la puissance dissipée au début du même intervalle de temps provoquant le changement de température

NOTE L'impédance thermique transitoire est donnée par une courbe caractéristique en fonction de l'intervalle de temps.

3.9.3

température virtuelle de jonction Θ_j

température calculée à l'intérieur d'un matériau semiconducteur basée sur une représentation simplifiée du comportement électrique et thermique d'un dispositif à semiconducteurs

3.10 Refroidissement

3.10.1

fluide de refroidissement

liquide (par exemple l'eau) ou gaz (par exemple l'air) dissipant la chaleur de l'équipement

3.10.2

fluide d'échange thermique

liquide (par exemple l'eau) ou gaz (par exemple l'air) à l'intérieur de l'équipement transférant de la chaleur de sa source à un échangeur thermique d'où la chaleur est dissipée par le fluide de refroidissement

3.10.3

refroidissement direct

méthode de refroidissement où le fluide de refroidissement est en contact direct avec les parties de l'équipement à refroidir, c'est-à-dire qu'aucun fluide d'échange thermique n'est utilisé

3.10.4

refroidissement indirect

méthode de refroidissement utilisant un fluide d'échange thermique pour transférer la chaleur de la partie à refroidir au fluide de refroidissement

3.10.5

circulation naturelle

convection

méthode de circulation du fluide de refroidissement ou d'échange thermique utilisant le changement de la masse volumique (densité) avec la température

3.10.6

circulation forcée

refroidissement forcé

méthode de circulation du fluide de refroidissement ou d'échange thermique qui se fait au moyen de soufflantes, ventilateurs ou pompes

3.10.7**circulation mixte**

méthode de circulation du fluide de refroidissement ou d'échange utilisant alternativement la circulation naturelle et la convection forcée

3.10.8**température d'équilibre**

température atteinte en régime établi par un composant d'un convertisseur dans des conditions fixées de charge et de refroidissement

NOTE Les températures en régime établi des divers composants sont en général différentes. Les durées nécessaires à l'établissement du régime permanent sont également différentes et sont proportionnelles aux constantes de temps thermiques.

3.11 Compatibilité électromagnétique et distorsion harmonique**3.11.1****perturbation électrique**

toute variation d'une grandeur électrique au-delà des limites prescrites susceptible d'occasionner une perte des performances, une interruption de service ou des dommages

3.11.2**niveau d'immunité d'un convertisseur**

valeur spécifiée d'une perturbation électrique au-dessous de laquelle un convertisseur est conçu pour satisfaire à la qualité de fonctionnement exigée, pour continuer de fonctionner ou pour éviter tout dommage

3.11.3**taux de distorsion harmonique totale**

[VEI 551-17-06]

4 Fonctionnement de l'équipement de puissance à semiconducteur et des valves**4.1 Classification des convertisseurs d'alimentation de traction et des valves****4.1.1 Types des convertisseurs d'alimentation de traction**

a) conversion alternatif - continu:

- 1) redresseur à diodes;
- 2) redresseur commandé.

b) conversion continu – alternatif:

- 1) onduleur.

c) conversion alternatif – alternatif:

- 1) convertisseur de fréquence direct;
- 2) convertisseur de fréquence par liaison à tension continue:
 - i) côté alimentation;
 - ii) côté traction.

4.1.2 Objet de la conversion

Un convertisseur modifie ou commande une ou plusieurs caractéristiques telles que:

- a) la fréquence (y compris la fréquence zéro),
- b) la tension,
- c) le nombre de phases,

- d) le flux d'énergie réactive,
- e) la qualité de la puissance de sortie utile.

4.1.3 Classification des valves à semiconducteurs

Les valves à semiconducteurs peuvent être bloquées, soit par commutation impliquant que le courant est transféré à une autre valve, soit par extinction sans commutation si le courant de la valve chute à zéro.

Les valves utilisées dans les convertisseurs d'alimentation de traction peuvent être réparties dans les catégories suivantes:

- a) valve non commandable à caractéristiques conductrice dans le sens direct et bloquante en inverse (diode);
- b) valve commandable dans le sens direct et bloquante en inverse (exemple: thyristor bloqué en inverse);
- c) valve commandable dans le sens direct et conductrice en inverse (exemple: thyristor passant en inverse);
- d) valve commandable dans le sens direct et/ou inverse qui peut être rendue passante ou bloquante par application d'un signal à la gâchette (exemple: thyristor blocable par la gâchette, transistor IGBT (Insulated gate bipolar transistor = transistor bipolaire à porte isolée));
- e) valve commandable dans le sens direct et en inverse (exemple: thyristor bidirectionnel).

4.2 Principaux symboles

d_{xtB}	chute inductive de tension continue due au transformateur du convertisseur soumis à U_{di}
e_{xB}	composante inductive de la tension relative de court-circuit du transformateur du convertisseur correspondant au courant de base côté alimentation du transformateur
f_N	fréquence assignée
g	nombre de jeux de groupes commutants entre lesquels I_{Bd} est réparti
h	rang harmonique
I_{Bd}	courant continu de base
I_{Bv}	courant de service de base à l'alimentation d'un convertisseur
I_d	courant continu (quelle que soit la valeur définie)
I_{Nt}	courant assigné côté traction d'un convertisseur de fréquence
I_v	courant côté alimentation d'un convertisseur
K	facteur de couplage
p	indice de pulsation
P	puissance active
q	indice de commutation
s	nombre de groupes commutants connectés en série
u	angle d'empiètement (angle de commutation)
U_a	tension de tenue à fréquence industrielle
U_{Bdx}	chute inductive totale de tension continue au courant redressé de base
U_d	tension continue (quelle que soit la valeur définie)
U_{d0}	tension continue conventionnelle à vide
$U_{d0\alpha}$	valeur de U_{d0} avec un angle de retard de l'ordre d'amorçage α
U_{d00}	tension continue réelle à vide
U_{di}	tension continue fictive à vide
$U_{di\alpha}$	tension continue fictive à vide avec réglage
U_{iM}	tension crête fictive à vide
U_n	tension nominale
U_{Nd}	tension continue assignée

U_{Ni}	tension de choc
U_{Nm}	tension d'isolement assignée
U_{Nt}	tension alternative assignée côté traction d'un convertisseur de fréquence
U_{Nv}	tension alternative assignée côté alimentation d'un convertisseur
U_{v0}	tension à vide entre phases
α	angle de retard de l'ordre d'amorçage
α_p	angle de retard propre
β	angle d'avance de l'ordre d'amorçage
γ	angle d'extinction
δ	nombre de groupes commutants commutant simultanément par primaire
λ	facteur de puissance total
v	facteur de déformation
ϕ_1	déphasage de la composante fondamentale de I_{Bv}

4.3 Facteurs de calcul de base pour les convertisseurs commutés par le réseau

4.3.1 Tension

La tension continue fictive à vide U_{di} est obtenue à partir de la tension U_{v0} entre deux phases commutantes, l'indice de commutation q et le nombre de groupes commutants s montés en série entre les bornes côté courant continu, par la formule:

$$U_{di} = U_{v0} \times \sqrt{2} \times \frac{p}{\pi} \times \sin \frac{\pi}{p}$$

a) montage homogène

1) Si le courant continu est permanent au-delà du domaine entier de commande:

$$U_{di\alpha} = U_{di} \times \cos \alpha$$

2) Si la charge du convertisseur est purement résistive:

$$\text{pour } 0 \leq \alpha \leq \frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{p}: \quad U_{di\alpha} = U_{di} \times \cos \alpha$$

$$\text{pour } \frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{p} \leq \alpha \leq \frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{p}: \quad U_{di\alpha} = U_{di} \times \frac{1 - \sin(\alpha - \pi/p)}{2 \sin(\pi/p)}$$

b) montages mixtes:

$$U_{di\alpha} = 0,5 \times U_{di} \times (1 + \cos \alpha)$$

4.3.2 Caractéristiques de tension et courant de transition

La courbe caractéristique tension/courant s'infléchit à la valeur du courant critique, comme représenté à la Figure 2. Le courant critique peut être obtenu, par exemple dans le cas d'une d'un montage de transformateurs interphases, car le courant continu décroît au-dessous de la valeur critique là où le transformateur interphase devient inefficace.

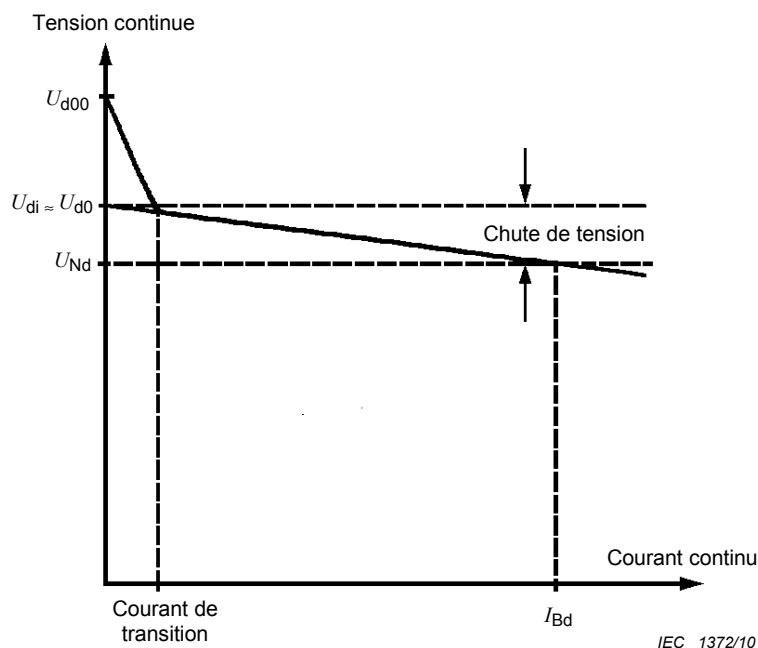


Figure 2 – Chute de tension

5 Conditions de service

5.1 Code d'identification de la méthode de refroidissement

NOTE Dans la plupart des cas, le code d'identification de la méthode de refroidissement est le même que celui utilisé pour les transformateurs.

5.1.1 Symboles littéraux à utiliser

5.1.1.1 Fluide de refroidissement ou d'échange thermique (voir Tableau 1)

Tableau 1 – Symboles pour les fluides de refroidissement et d'échange thermique

Fluide de refroidissement ou d'échange thermique	Symbole
Huile minérale	O
Liquide diélectrique (autre que l'huile minérale ou l'eau)	L
Gaz	G
Eau	W
Air	A
Fluide utilisé pour refroidissement biphasé	P

5.1.1.2 Méthode de circulation (voir Tableau 2)

Tableau 2 – Symboles pour les méthodes de circulation

Méthode de circulation	Symbole
Naturelle (convection)	N
Forcée par dispositif non incorporé	E
Forcée par dispositif incorporé	F
Refroidissement par vaporisation	V

5.1.2 Disposition des symboles littéraux

5.1.2.1 Refroidissement direct

La première lettre indique le fluide de refroidissement (5.1.1.1), la seconde la méthode de circulation (5.1.1.2).

EXEMPLE AN: refroidi par air, circulation naturelle (convection).

5.1.2.2 Refroidissement indirect

Le code comprend quatre symboles.

Les deux premières lettres indiquent:

- a) le fluide d'échange thermique (5.1.1.1),
- b) la méthode de circulation du fluide d'échange thermique (5.1.1.2).

Les deux dernières lettres indiquent:

- c) le fluide de refroidissement (5.1.1.1),
- d) la méthode de circulation du fluide de refroidissement (5.1.1.2).

EXEMPLE OFAF: convertisseur avec circulation d'huile forcée (pompe) comme fluide d'échange thermique et avec circulation d'air forcée (ventilateur) comme fluide de refroidissement.

5.1.2.3 Méthode de refroidissement mixte

Si la circulation, dans les deux cas de refroidissement direct et indirect, est alternativement naturelle et forcée, deux groupes de symboles, séparés par une barre oblique, doivent indiquer les deux méthodes possibles de circulation utilisée. Le premier groupe correspond à un flux de chaleur plus faible ou à une température plus basse de l'air ambiant.

Le code complet doit donc comprendre:

- a) pour le refroidissement direct: deux groupes de lettres séparés par une barre oblique,
EXEMPLE 1 AN/AF: convertisseur avec refroidissement naturel direct par l'air et possibilités de refroidissement forcé direct de l'air;

- b) pour un refroidissement indirect: deux groupes de lettres séparés par une barre oblique.
EXEMPLE 2 OFAN/OFAF: convertisseur avec circulation d'huile forcée (pompe) comme fluide d'échange thermique et l'air ambiant comme fluide de refroidissement ainsi que possibilités d'air forcé comme fluide de refroidissement.

5.2 Conditions liées à l'environnement

5.2.1 Circulation de l'air ambiant

L'équipement installé dans une pièce doit être raccordé à la source d'approvisionnement (illimité) en fluide de refroidissement ou, si l'air de refroidissement provient de l'air ambiant de la pièce, on doit prendre des dispositions pour extraire la chaleur de la pièce, lequel air ambiant peut alors être considéré comme un échangeur intermédiaire de chaleur entre l'équipement et l'air extérieur.

Pour ce qui concerne les convertisseurs installés dans des enveloppes, l'ambient des convertisseurs (l'air à l'intérieur de l'armoire ou de l'enceinte) est à considérer comme un fluide d'échange thermique et non comme un fluide de refroidissement. Il convient de tenir compte de réverbérations sur les parois de l'enceinte. Les ensembles installés dans des

armoires ou des enceintes doivent satisfaire aux conditions de surcharge à la température maximale de l'air extérieur.

5.2.2 Conditions de service normales

Sauf spécifications contraires, les limites suivantes doivent s'appliquer.

5.2.2.1 Températures de stockage et de transport

	Minimale	Maximale
Stockage et transport	–25 °C	+55 °C

Ces limites s'appliquent avec le liquide de refroidissement vidangé.

5.2.2.2 Fonctionnement incluant des périodes hors charges

5.2.2.2.1 Températures de l'air de refroidissement

	Minimale	Maximale
a) Valeurs extrêmes	–5 °C	+40 °C
b) Moyenne journalière		+35 °C
c) Moyenne annuelle		+25 °C

5.2.2.2.2 Humidité relative de l'air ambiant

- a) Minimum: 15 %
- b) Maximum: les convertisseurs de conception normalisée sont destinés pour le cas où il ne peut pas y avoir de la condensation. S'il doit y avoir de la condensation, le cas doit être traité comme une condition de service particulière (voir 5.2.3).

5.2.2.2.3 Teneur en poussières et particules solides

L'équipement de conception normalisée est un équipement pour l'intérieur dont le degré de pollution est 3A. (Se reporter au Tableau A.4 de la CEI 62497-1.)

L'acheteur doit spécifier comme condition de service particulière toute condition excédant les conditions PD (Degré de pollution) 3A.

5.2.2.2.4 Vibrations

Le matériel doit être approprié à une installation aux abords d'une voie ferrée. Les fondations doivent être conçues pour atténuer les principaux effets du passage des trains. Cependant une vibration ou des chocs restreints sont susceptibles d'affecter le matériel qui doit être capable de fonctionner de façon satisfaisante lorsqu'il est exposé à des vibrations sinusoïdales classiques de 10 Hz appliquées séparément et de caractéristiques suivantes:

	Valeur crête de l'accélération	Durée
Accélération verticale:	5 m/s ²	30 s
Accélération horizontale:	5 m/s ²	30 s

Toute condition qui diffère des précédentes doit faire l'objet d'un accord entre l'acheteur et le fournisseur.

5.2.2.3 Altitude

En ce qui concerne l'emploi de l'air comme fluide de refroidissement ou d'échange thermique, les altitudes jusqu'à 1 000 m sont considérées comme normales. Si un convertisseur doit être utilisé à une altitude au dessus de 1 000 m mais qu'il est essayé à l'altitude normale, le courant admissible doit être diminué de 1 % pour chaque 100 m supplémentaire au-dessus de

1 000 m en cas de refroidissement naturel à l'air, et de 1,5 % en cas de refroidissement par air forcé.

En ce qui concerne les propriétés diélectriques de l'air, les altitudes jusqu'à 2 000 m sont considérées comme normales (se reporter à la CEI 62497-1).

5.2.3 Conditions de service particulières

Les conditions de service sont présumées être celles énumérées en conditions de service normales. La liste suivante donne des exemples de conditions de service particulières qui doivent faire l'objet d'un accord particulier entre l'acheteur et le fournisseur:

- a) contraintes mécaniques particulières, par exemple des chocs et des vibrations;
- b) particules étrangères dans l'air ambiant, par exemple de la terre ou de la poussière de manière anormale;
- c) air salé (par exemple en bord de mer);
- d) humidité relative élevée et/ou température similaires à celles associées au climat tropical;
- e) autres conditions de service particulières non couvertes par la présente liste ou conditions de service excédant les limites spécifiées des conditions de service normales.

Au cas où des conditions de service particulières sont exigées, il convient d'utiliser de préférence les conditions de service énumérées dans la CEI 60721.

5.3 Conditions de fonctionnement électriques

5.3.1 Généralités

On doit se référer aux publications du CE 77 de la CEI et de ses sous-comités en ce qui concerne les conditions des réseaux d'alimentation à courant alternatif.

On doit se référer aux CEI 62236-5, CEI 62497-1 et CEI 60850 en ce qui concerne les conditions des réseaux de traction.

Des informations sur les conditions présumées de coexistence entre les systèmes d'alimentation, les charges perturbatrices et le matériel sensible (surtout l'équipement de commande à courant faible, les autres convertisseurs de puissance, les condensateurs de puissance et les lignes sensibles utilisées pour les communications, la signalisation et la commande) sont essentielles dès le début de la conception d'une installation (notamment: le rapport de la puissance de court-circuit à la puissance apparente, la présence de condensateurs ou d'autres convertisseurs).

On trouvera les indications des méthodes de calcul dans la CEI 60146-1-2.

5.3.2 Valeurs limites des caractéristiques assignées de base

Sauf spécifications contraires, le convertisseur doit être conçu pour fonctionner dans les conditions de service fixées par les limites suivantes.

5.3.2.1 Réseau d'alimentation triphasé à courant alternatif

5.3.2.1.1 Fréquence

	Variation
Gamme	$\pm 2 \% \text{ de } f_N$
Vitesse de variation	$\pm 1 \%/\text{s}$

5.3.2.1.2 Tension

Variation

Régime établi +10 % / –10 % de U_N

Courte durée (0,5 à 30 cycles) +15 % / –15 %

5.3.2.1.3 Harmoniques de la tension d'alimentation

Se reporter à la CEI 61000-2-12 et à la CEI 61000-2-4.

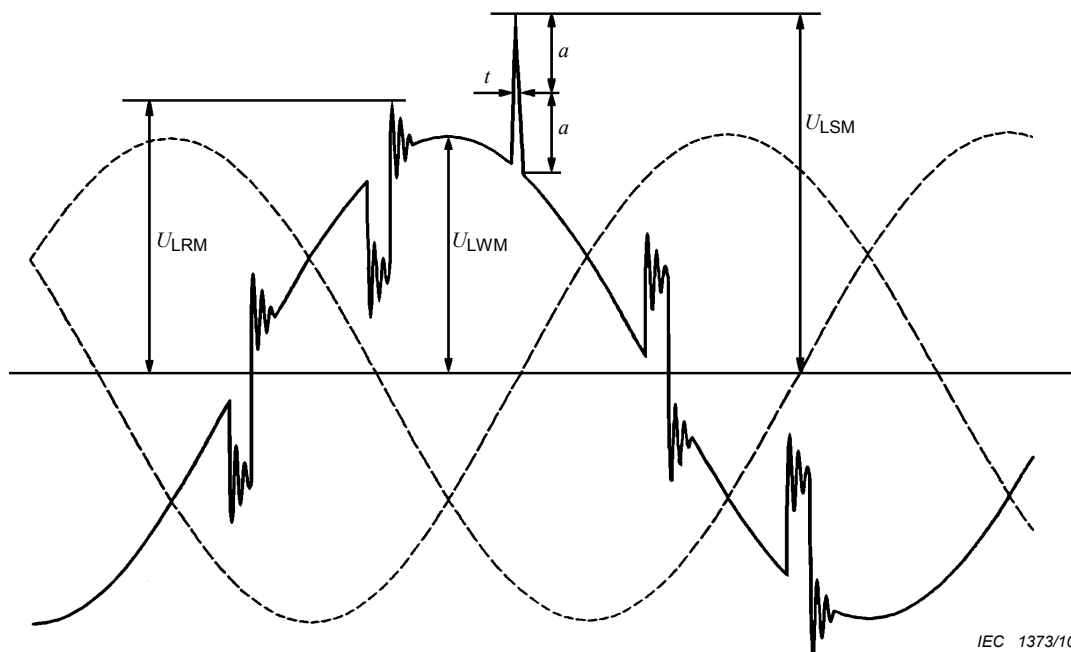
NOTE Une distorsion harmonique de la tension d'alimentation alternative peut occasionner des surcharges dans:

- des redresseurs dodécaphasés et leurs transformateurs en raison du déséquilibre des charges,
- deux redresseurs hexaphasés en parallèle avec des transformateurs séparés en raison du déséquilibre des charges,
- les circuits capacitifs des convertisseurs.

5.3.2.1.4 Transitoires répétitifs et non répétitifs

Sur demande et dans la mesure du possible, les caractéristiques suivantes doivent être spécifiées:

- | | |
|---|-------------------|
| a) énergie transitoire disponible aux bornes du convertisseur | (J); |
| b) temps de montée, (valeur crête réduite de 0,1 à 0,9) | (μ s); |
| c) valeur crête U_{LRM}/U_{LWM} | (valeur réduite); |
| d) valeur crête U_{LSM}/U_{LWM} | (valeur réduite); |
| e) durée au dessus de 50 % (t) | (μ s). |



IEC 1373/10

NOTE Voir la CEI 60146-1-2 pour des informations complémentaires sur les ondes de tension alternative.

Figure 3 – Onde de tension alternative

5.3.2.2 Tension d'alimentation monophasée du système de traction à courant alternatif

5.3.2.2.1 Fréquence

La gamme de fréquences selon la CEI 60850 s'applique.

5.3.2.2.2 Tension

La gamme de tensions selon la CEI 60850 s'applique.

5.3.2.2.3 Harmoniques

Se reporter à la CEI 61000-2-4.

5.3.2.2.4 Transitoires répétitifs et non répétitifs

Se reporter à 5.3.2.1.4.

5.3.3 Tension d'alimentation du système de traction à courant continu

La gamme de tensions selon la CEI 60850 s'applique.

6 Convertisseur et ensembles de convertisseurs

6.1 Couplages électriques

Les convertisseurs de conception standard d'alimentation de traction sont d'habitude chacun individuellement connecté à un transformateur d'alimentation alternative monophasé ($p = 2$) ou triphasé ($p = 6$ ou 12).

Les convertisseurs dodécaphasés et les convertisseurs doubles hexaphasés requièrent un transformateur ayant deux enroulements secondaires connectés avec un déphasage de 30 degrés électriques et, connectés normalement en étoile et en triangle, ou deux transformateurs séparés avec des couplages différents.

NOTE De plus grands indices de pulsation peuvent être atteints en utilisant des transformateurs avec un déphasage approprié et en couplant plusieurs convertisseurs hexaphasés ou dodécaphasés en série ou en parallèle. Pour l'alimentation de traction, on utilise un indice de pulsation allant jusqu'à $p = 24$.

Se reporter à la CEI 60146-1-2 pour les convertisseurs soumis à un accord particulier entre l'acheteur, le fournisseur et probablement les compagnies électriques en raison de leurs caractéristiques assignées, des exigences particulières ou du mode de fonctionnement. La CEI 60146-1-2 donne également d'autres montages de convertisseurs pour des applications particulières.

Le Tableau 3 donne des valeurs conventionnelles de quelques facteurs de calcul pour les montages de convertisseurs les plus utilisés. La CEI 60146-1-2 facilite d'autres montages.

Les numéros des montages sont les mêmes que ceux employés dans la série CEI 60146.

Tableau 3 – Montages et facteurs de calcul des convertisseurs commutés par le réseau

N° du montage	Couplage des transformateurs côté valve	Couplage	p	q	Facteur de courant côté alternatif I_v/I_d	$\frac{U_{di}}{U_{v0}}$	$\frac{U_{iM}}{U_{di}}$	$\frac{d_{xtB}}{e_{xB}}$
7			2	2	1	$0,9$ $\left(\frac{2\sqrt{2}}{\pi}\right)$	$1,57$ $\left(\frac{\pi}{2}\right)$	$0,707$ $\left(\frac{1}{\sqrt{2}}\right)$
8			6	3	$0,816$ $\left(\frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}}\right)$	$1,35$ $\left(\frac{3\sqrt{2}}{\pi}\right)$	$1,05$ $\left(\frac{\pi}{3}\right)$	$0,5$
9			12	3	$0,408$ $\left(\frac{1}{\sqrt{6}}\right)$	$1,35$ $\left(\frac{3\sqrt{2}}{\pi}\right)$	$1,05$ $\left(\frac{\pi}{3}\right)$	$0,26$
12			12	3	$0,816$ $\left(\frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}}\right)$	$2,7$ $\left(\frac{6\sqrt{2}}{\pi}\right)$	$0,524$ $\left(\frac{\pi}{6}\right)$	$0,26$
18			6	3	$0,816$ $\left(\frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}}\right)$	$1,35$ $\left(\frac{3\sqrt{2}}{\pi}\right)$	$1,05$ $\left(\frac{\pi}{3}\right)$	$0,5$
19			6	3	$0,816$ $\left(\frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}}\right)$	$1,35$ $\left(\frac{3\sqrt{2}}{\pi}\right)$	$1,05$ $\left(\frac{\pi}{3}\right)$	$0,5$

NOTE Le montage n° 9 avec une bobine d'inductance inter-pont est utilisé en même temps que des transformateurs de convertisseur équipés de deux enroulements secondaires à faible flux de fuite magnétique et un facteur de couplage $K > 0,9$ (voir l'EN 50329).

Le montage n° 9 peut être utilisé sans bobine d'inductance inter-pont si $K < 0,2$ c'est-à-dire que:

- un transformateur à trois-enroulements avec les enroulements secondaires non couplés, ou
- un transformateur à quatre-enroulements, ou
- deux transformateurs triphasés séparés avec des couplages différents

sont utilisés. Dans ce cas d_{xtB}/e_{xB} est égal à 0,5.

6.2 Facteurs de calcul

6.2.1 Facteur de courant côté alternatif

Le quotient de la valeur efficace I_v du courant coté alternatif et du courant redressé I_d est indiqué dans le Tableau 3 en faisant l'hypothèse que le courant redressé est lissé et que la forme d'onde des courants alternatifs est rectangulaire.

6.2.2 Chute de tension

Le Tableau 3 donne le rapport

$$\frac{d_{xtB}}{e_{xB}}$$

entre la chute inductive de tension continue au courant de base d_{xtB} due à la réactance de commutation du transformateur soumis à U_{di} , et la composante inductive e_{xB} de la tension de court-circuit de transformateur au courant de service de base, côté alimentation du groupe convertisseur, pour l'équipement complet exprimé en pourcentage de la tension alternative assignée.

La chute inductive de tension continue d_{xtB} peut être calculée en utilisant la valeur e_{xB} d'un transformateur triphasé seulement pour les connexions avec un indice de commutation $q = 3$.

Pour tous les autres montages avec p égal ou supérieur à 12, le rapport entre d_{xtB} et e_{xB} dépend de la répartition des réactances entre le primaire et le secondaire du transformateur. La caractéristique externe peut être représentée graphiquement.

NOTE La chute de tension des groupes redresseurs à diodes dépend principalement des caractéristiques du transformateur du convertisseur. La présente Norme ne contient donc pas d'information quant à la chute de tension. Voir la CEI 62589 pour les exigences concernant la chute de tension.

Si l'acheteur exige des dispositions pour parer à la montée de tension à des courants en-dessous du courant critique, il doit le spécifier dans l'appel d'offre.

6.3 Pertes et rendement

6.3.1 Généralités

Le rendement, aux conditions de charges de base, peut être déterminé par calcul des pertes internes ou par mesure de puissance en courant alternatif et en tension continue. Si l'acheteur exige la mesure des pertes ceci doit être mentionné dans le cahier des charges.

La tolérance admissible pour les pertes est + 10 % de la valeur garantie.

6.3.2 Pertes assimilées

Les pertes suivantes doivent être incluses dans la détermination du rendement:

- les pertes internes dans l'ensemble telles que les pertes dans les valves à semiconducteur, les fusibles, les potentiomètres, les équilibres de courant, les circuits amortisseurs à résistances et à condensateurs ainsi que dans les parasurtenseurs;
- les pertes dans les transducteurs, les bobines d'inductance inter-pont (en tant que fourniture du convertisseur), les inductances de limitation et d'équilibrage du courant entre le transformateur et les ensembles de thyristors ou de diodes;
- sauf spécification contraire, la puissance absorbée par les auxiliaires tels que les ventilateurs ou les pompes et par les relais;
- les pertes dues aux courants de circulation;
- la puissance consommée par le dispositif de commande de gâchette, le cas échéant.

6.4 Facteur de puissance

Puisque le courant de ligne d'un convertisseur commuté par le réseau contient des harmoniques, il est important d'indiquer la nature du facteur de puissance escompté lors de la rédaction de la spécification d'un facteur de puissance d'alimentation garanti.

Sauf spécification contraire, il est fait référence au facteur de puissance du fondamental ou au facteur de déphasage $\cos \varphi_1$.

Pour des indices de pulsation supérieurs à 6, la différence entre le facteur de puissance total λ et le facteur de déphasage $\cos \varphi_1$ est petite, mais la différence est significative pour un indice de pulsation inférieur.

Sauf indication contraire dans le contrat, le fabricant doit donner des garanties sur le facteur de déphasage $\cos \varphi_1$ des convertisseurs multiphasés alimentant une charge inductive.

NOTE 1 Dans de tels cas, le calcul est suffisant pour obtenir des chiffres fiables du facteur de déphasage en condition de commande symétrique.

Lorsque des calculs exacts du facteur de déphasage ou du facteur de puissance total sont exigés, la connaissance d'un grand nombre de paramètres est nécessaire, y compris l'impédance de ligne. Se reporter à la CEI 60146-1-2 pour de tels calculs.

NOTE 2 Voir l'Annexe C de la CEI 62589 pour le facteur de puissance des redresseurs à diodes.

6.5 Résidu harmonique de la tension continue

Pour les tensions d'alimentation parfaitement équilibrées, les angles de retard d'amorçage, etc., la fréquence du courant redressé et le résidu harmonique de la tension continue sont donnés par:

$$f_{h,dc} = k \times p \times f_N \quad k = \text{entier } (1 \dots n)$$

Une tension d'alimentation déséquilibrée provoque une tension inverse. La tension inverse produit une composante harmonique supplémentaire à une fréquence $2 \times f_N$, qui ne peut pas être annulée par une conception appropriée du convertisseur, à moins d'ajouter une forte réactance de lissage ou un filtre à la sortie courant continu.

Se reporter à la CEI 60146-1-2 pour de plus amples renseignements.

6.6 Compatibilité électromagnétique (CEM)

Les convertisseurs d'alimentation de traction doivent faire face aux exigences relatives à l'immunité et à l'émission énoncées dans la série CEI 62236.

Le cas échéant, l'acheteur doit mentionner les exigences supplémentaires dans les spécifications d'achat.

Là où des câbles de puissance à courant alternatif et à courant continu, des câbles auxiliaires et de commande, de filtrage etc., sont installés par l'acheteur ou des tiers, leur parcours doit être conforme aux instructions fournies par le fournisseur du convertisseur et aux exigences de la CEI 62236-5.

L'immunité et l'émission du groupe convertisseur ne peuvent être vérifiées qu'avec le(s) transformateur(s) en tant qu'essai de la sous-station complète. Ces essais ne sont pas du domaine de la présente Norme.

Les appareils de commande et de protection doivent être essayés séparément selon leurs normes de produit.

6.7 Valeurs assignées des convertisseurs

6.7.1 Généralités

Les valeurs assignées d'un convertisseur doivent, soit être les valeurs de conception normalisées pour les convertisseurs de conception normalisée, soit être, pour les convertisseurs de conception particulière, aussi proches que possible de la charge voulue en service. Les caractéristiques assignées du convertisseur ne sont pas valables si la charge est remplacée par une charge à laquelle le convertisseur n'est pas destiné.

6.7.2 Valeurs des courants

6.7.2.1 Courants à spécifier

Chaque équipement convertisseur doit avoir une valeur assignée du courant redressé de base ainsi que des courants admissibles selon une classe de service ou un cycle de charge. Il convient d'utiliser de préférence les classes de service normalisées selon le Tableau 4. Pour les autres types de service, les classes de service définies par l'acheteur ou les cycles de charge selon 6.7.2.3 s'appliquent.

Tableau 4 – Classes de service normalisées

Classe de service	Courants admissibles des convertisseurs (valeurs relatives en valeur réduite de I_{Bd})	Applications types	Note
I	valeur réduite 1,0 en continu	Convertisseurs de fréquence pour chemins de fer d'intérêt général	
V	a) valeur réduite 1,0 en continu b) valeur réduite 1,5 pendant 2 h – après a) c) valeur réduite 2,0 pendant 1 min – après a)	Transport collectif rapide Trolleybus	
VI	a) valeur réduite 1,0 en continu b) valeur réduite 1,5 pendant 2 h – après a) c) valeur réduite 3,0 pendant 1 min – après a)	Chemins de fer d'intérêt général Transport collectif rapide Métros légers	
VII	a) valeur réduite 1,0 en continu b) valeur réduite 1,5 pendant 2 h – après a) c) valeur réduite 4,5 pendant 15 s – après a)	Chemins de fer secondaires Métros légers Tramways	
VIII	a) valeur réduite 1,0 en continu b) valeur réduite 1,5 pendant 2 h – après a) c) valeur réduite 2,0 pendant 1 min – après b)	Transport collectif rapide	Cumulé
IX	a) valeur réduite 1,0 en continu b) valeur réduite 1,5 pendant 2 h – après a) c) valeur réduite 3,0 pendant 5 min – après b)	Chemins de fer d'intérêt général	Cumulé
JP	a) valeur réduite 1,0 en continu b) valeur réduite 1,2 pendant 2 h – après a) c) valeur réduite 3,0 pendant 1 min – après b)	Chemins de fer d'intérêt général	Cumulé

L'acheteur d'un convertisseur doit spécifier le courant redressé de base et la classe de service.

Si pour une application donnée, on ne peut pas trouver dans le Tableau 4 une classe de service normalisée appropriée, l'acheteur doit spécifier un cycle de charge ou une classe de service.

Indépendamment de la classe de service ou du cycle de charge, le convertisseur et ses ensembles constitutifs doivent pouvoir conduire le courant de court-circuit selon 6.7.2.4.

NOTE Contrairement à un grand nombre d'autres composants électriques, les dispositifs à semiconducteurs peuvent être irrémédiablement endommagés, même en un temps très court de fonctionnement au dessus de leurs valeurs assignées. Il convient de tenir compte du courant redressé assigné ainsi que de la classe de service ou du cycle de charge dans le choix d'un convertisseur.

Le fournisseur doit représenter le courant de courte durée admissible et le courant de surcharge du convertisseur sur un graphique logarithmique pour des durées de surintensité comprises entre 0,01 s et 10 000 s. Le courant de base doit être I_{Bd} .

6.7.2.2 Classes de service

Les classes de service spécifient les courants admissibles et les conditions d'essais pour les convertisseurs en termes de valeurs et de durées de courant. Le Tableau 4 contient les classes de service normalisées et donne des lignes directrices pour sélectionner les différents types de chemins de fer et leur rapport type entre le courant de base et les courants de courte durée.

Le courant de base d'un convertisseur n'est valable que pour la classe de service définie. Si un convertisseur est conçu pour fonctionner à des classes de service différentes, un courant de base séparé doit être donné pour chaque classe de service.

NOTE La classe de service peut être choisie soit à partir des recommandations données dans le Tableau 4, soit à partir des résultats d'une simulation numérique et de calcul de réseau donnant le courant efficace prévu et les caractéristiques de surcharge en fonction du temps pour l'utilisation voulue du convertisseur.

Une classe de service spécifiée par l'acheteur doit être appelée classe X.

6.7.2.3 Cycles de charge

Les cycles de charge spécifient la demande répétitive de courant à un convertisseur pour une application donnée.

L'acheteur doit spécifier les valeurs du courant et les durées respectives du cycle de charge prescrit.

Sauf spécification contraire, la moyenne quadratique du courant de charge pendant la durée T du cycle de charge est supposée être le courant redressé de base du convertisseur pendant le cycle de charge spécifique.

$$I_{Bd} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_T I_d^2 dt}$$

Le fournisseur doit calculer la capacité d'un convertisseur à transiter les courants spécifiés du cycle de charge. L'annexe B donne les lignes directrices de ce calcul.

Si l'acheteur exige un essai de type spécifique pour un cycle de charge, il doit le mentionner dans les spécifications d'achat.

6.7.2.4 Capacité de tenue de courte durée

Le fournisseur doit déclarer le courant de tenue admissible de courte durée du convertisseur.

Sauf accord entre l'acheteur et le fournisseur, le courant de tenue admissible de courte durée doit être déclaré pour un court-circuit:

- après un fonctionnement ininterrompu au courant de base I_{Bd} , et

- pendant une durée de court-circuit de 0,15 s, et
- avec un facteur de 1,6 entre le courant permanent et la valeur de crête.

NOTE Se reporter à l'Annexe B de la CEI 62589 pour le calcul du courant de court-circuit pour une application donnée.

Les convertisseurs commandés avec une caractéristique de limitation du courant n'ont pas besoin d'avoir un courant de tenue admissible de courte durée. Ils doivent être équipés de dispositifs de protection capables de détecter des courts-circuits dans l'appareillage de connexion ou le système de lignes de contact qui, en cas de limitation du courant, ne peuvent probablement pas être détectés par les dispositifs de protection classiques contre les surintensités dans les lignes d'alimentation à courant continu ou à courant alternatif.

6.7.3 Capacité aux charges dissymétriques d'un convertisseur dodécaphasé connecté en parallèle

Pour un convertisseur dodécaphasé connecté en parallèle (montage n° 9), une répartition dissymétrique des charges entre les deux ponts triphasés jusqu'à $\pm 5\%$ de I_{Bd} doit être considérée comme une condition normale.

NOTE Dans la détermination des caractéristiques assignées du convertisseur, il convient de tenir compte des points ci-après susceptibles de provoquer une répartition dissymétrique des charges entre les deux ponts triphasés:

- distorsion harmonique de la tension d'alimentation à courant alternatif dépassant les valeurs de la CEI 61000-2-12;
- tensions de court-circuit différentes des enroulements secondaires du transformateur;
- déséquilibres de la tension à vide dans le transformateur;
- longueurs différentes de câble entre le transformateur et le convertisseur;
- nombre inégal de convertisseurs avec différentes connexions de transformateur dans une sous-station.

6.7.4 Conditions de défaillance des dispositifs à semiconducteurs

L'acheteur doit spécifier si les dispositifs à semiconducteurs requièrent des fusibles.

L'acheteur doit spécifier le niveau d'immunité exigé en cas de défaillance d'un ou plusieurs dispositifs à semiconducteurs montés en série ou en parallèle par bras.

Lorsqu'une perturbation, quelle qu'en soit l'origine, ne dépasse pas le niveau d'immunité spécifié, la performance correspondante doit être maintenue. Le Tableau 5 définit les niveaux d'immunité.

Tableau 5 – Conditions de défaillance des dispositifs à semiconducteurs

Niveau d'immunité		Conséquence	
Redondance	R	Aucune conséquence immédiate, qualité de fonctionnement intacte	Signal d'annonce
Fonctionnement	F	Qualité de fonctionnement réduite (réduction du courant admissible)	Signal d'annonce ou signal de déclenchement
Déclenchement	T	Interruption de service due aux dispositifs de protection	Signal de déclenchement
Dommage	D	Interruption de service due à un dommage	Signal de déclenchement

6.8 Caractéristiques mécaniques

6.8.1 Généralités

Les convertisseurs peuvent être sous enveloppe ou ne pas être sous enveloppe. Les châssis et les enveloppes éventuelles doivent être métalliques.

Les convertisseurs et leurs enveloppes doivent être conçus pour que le service normal, les opérations d'inspection et d'entretien, le remplacement des diodes et des fusibles, la mise à la terre des câbles ou des jeux de barres ainsi que les essais de tension puissent être réalisés facilement et en toute sécurité.

Tous les matériaux utilisés doivent être de qualité et de la classe la plus appropriée au fonctionnement dans les conditions spécifiées. Il faut particulièrement faire attention à la capacité à résister à l'humidité et au feu. A moins de permettre une Classe de comportement au feu F0, les matériaux utilisés doivent être métalliques ou auto-extinguibles.

Le choix des matériaux doit être tel que la corrosion occasionnée par des phénomènes atmosphériques et électrolytiques soit minimisée.

La réglementation européenne à propos des matériaux nocifs ou toxiques doit être observée.

6.8.2 Mise à la terre

Pour assurer la sécurité pendant les travaux d'entretien, toutes les parties du circuit principal auxquelles on exige ou on donne accès, doivent pouvoir être mises à la terre par des moyens appropriés. Ceci ne s'applique pas aux parties débrochables ou amovibles, devenues accessibles après avoir été séparées de leur enveloppe.

Cependant, une partie débrochable ne doit pas être retirée de son enveloppe sans avoir déchargé les condensateurs à des valeurs de sécurité.

Pour les systèmes d'alimentation de traction à courant continu, l'acheteur doit spécifier dans la demande de renseignements le détail de mise à la terre de l'enveloppe ou du châssis du convertisseur conformément à la CEI 61992-7-1, 6.5.8.

NOTE Dans les systèmes d'alimentation de traction à courant continu, la « mise à la terre » signifie soit une connexion de mise à la terre, soit une connexion au circuit de retour, selon les exigences de mise à la terre du système à courant continu.

Les parties métalliques des enveloppes ou des châssis doivent être raccordées à une borne de mise à la terre appropriée et placée à un endroit accessible, afin de permettre la connexion au système de terre principal de la sous-station. La borne de mise à la terre doit être convenablement protégée contre la corrosion.

6.8.3 Degré de protection

L'acheteur doit spécifier le degré de protection conformément à la CEI 60529.

Les fenêtres d'inspection et les orifices de ventilation doivent au moins procurer le degré de protection spécifié pour l'enveloppe.

NOTE 1 Sauf accord entre l'acheteur et le fournisseur, le degré de protection des enveloppes de convertisseur est supposé être valable pour les portes et les parois de l'enveloppe.

En raison des exigences spécifiques de refroidissement et de raccordement des câbles ou des jeux de barres à courant alternatif et à courant continu des convertisseurs, le degré de protection IP 00 est considéré comme normal pour le fond et le dessus de l'enveloppe.

NOTE 2 Normalement, aucun degré de protection ne prémunit les convertisseurs intérieurs contre la pénétration d'eau.

6.9 Marques et indications

6.9.1 Plaque d'identification

La plaque signalétique de chaque équipement de convertisseur (voir Article 1) livré comme une unité intégralement assemblée et de chaque ensemble livré séparément doit comporter le marquage suivant:

- a) le signe du constructeur ou du fabricant;
- b) l'indication du type de l'équipement (4.1.1);
- c) le numéro de la présente Norme;
- d) la désignation du type du fabricant;
- e) le numéro de série;
- f) le nombre de phases en entrée ou la mention « DC »;
- g) la tension d'entrée assignée (la tension continue assignée en cas d'onduleurs);
- h) la fréquence d'entrée assignée, le cas échéant;
- i) le nombre de phases en sortie ou la mention « DC »;
- j) la tension continue nominale;
- k) le courant de base redressé;
- l) la classe de service ou le cycle de charge;
- m) la capacité de court-circuit;
- n) la fréquence de sortie assignée, le cas échéant;
- o) la plage de variation de la tension de sortie (si la tension de sortie est réglable);
- p) la méthode de refroidissement;
- q) le type de couplage.

Il est admis d'ajouter les points supplémentaires suivants, le cas échéant:

- r) les exigences de refroidissement (température, débit du fluide de refroidissement);
- s) le poids total et le cas échéant, le poids du fluide de refroidissement;
- t) le degré de protection (Code IP);
- u) le facteur de déphasage aux conditions assignées;
- v) le symbole de la courbe des caractéristiques de sortie.

6.9.2 Bornes du circuit principal

Le marquage des bornes d'entrée et de sortie du circuit principal doit spécifier l'ordre des phases (s'il doit être respecté) et la polarité des bornes à courant continu.

7 Essais

7.1 Généralités

Se reporter à la CEI 60050-811 pour la terminologie des procédures d'essai.

7.1.1 Réalisation des essais

Chaque fois que cela est réalisable, les essais doivent être exécutés dans des conditions électriques équivalentes à celles rencontrées en service réel. Lorsque cela n'est pas réalisable, les ensembles et l'équipement doivent être respectivement essayés dans toutes les conditions permettant de prouver les qualités de fonctionnement spécifiées.

Les composants du convertisseur sont supposés être essayés séparément.

Sauf disposition contraire lors du contrat, les tensions d'alimentation à courant alternatif et les tensions d'essai doivent être à la fréquence assignée.

NOTE Lorsque l'acheteur, ou son représentant, désire assister aux essais en usine, il convient de le mentionner dans les spécifications d'achat.

7.1.2 Programme d'essais

Sauf disposition contraire, les essais doivent comprendre tous les points suivants marqués d'un « X », lesquels s'appliquent à l'ensemble ou au convertisseur (voir Tableau 6).

Les essais marqués d'un « (x) » ne doivent être réalisés que s'il y a eu un accord contractuel précis.

Tableau 6 – Résumé des essais

Essai	Essai de type	Essai individuel	Essai facultatif	Paragraphe des spécifications
Essai d'isolement	X	X		7.2.1
Essai de fonctionnement à puissance réduite	X	X		7.2.2
Essai en charge	X	(x) ^a		7.2.3
Détermination des pertes	X ^a	(x) ^b		7.2.4
Essai d'échauffement	X			7.2.5
Vérification des dispositifs auxiliaires	X	X		7.2.6
Vérification des propriétés de l'équipement de commande	X	X		7.2.7
Vérification des protections	X	X		7.2.8
Essai au courant de tenue de courte durée			(x)	7.2.9
Essais supplémentaires			(x)	7.2.10
a Pour les convertisseurs auto-commutés, l'essai en charge doit être réalisé sous la forme d'un essai individuel.				
b Uniquement si la détermination des pertes par des mesures est exigée, voir 3.3.1.				

7.2 Modalités d'essais

7.2.1 Essais d'isolement

7.2.1.1 Généralités

Des essais d'isolement doivent être exécutés pour vérifier le bon état de l'isolement d'une unité complètement assemblée. En général, ils doivent être exécutés comme un essai de tension à fréquence industrielle.

Pendant les essais d'isolement, les bornes principales du convertisseur, de même que celles de l'anode, de la cathode et de la gâchette de tous les dispositifs de puissance à semiconducteurs, doivent être connectées ensemble. Cependant, ceci ne s'applique pas aux auxiliaires pour lesquels, en cas de défaut d'isolement, une tension peut être transmise aux parties accessibles non raccordées à l'enveloppe ou depuis le côté de la tension la plus élevée vers le côté de la tension la plus basse. Ce sont par exemple, les transformateurs auxiliaires, l'équipement de mesure, les transformateurs d'impulsions et les transformateurs de mesure.

Les appareils de commutation des circuits principaux doivent être fermés ou shuntés.

Les auxiliaires non connectés métalliquement aux circuits principaux (par exemple l'équipement de commande du système, les moteurs des ventilateurs) doivent être connectés au châssis ou à l'enveloppe pendant l'essai d'isolement selon 7.2.1.2.

Dans l'essai de tension de tenue à fréquence industrielle, la tension d'essai à la fréquence disponible pour le montage d'essai ou à la fréquence assignée, mais ne dépassant pas 100 Hz, doit se conformer à 7.2.1.3.

Si une tension d'essai alternative ne peut pas être appliquée en raison des éléments de filtrage de CEM (Compatibilité électromagnétique), lesquels ne peuvent pas être facilement débranchés, on peut utiliser une tension d'essai continue ayant la même valeur que la valeur crête de la tension d'essai indiquée en 7.2.1.3.

Dans les essais individuels de série sur des ensembles, il suffit d'appliquer la tension d'essai complète de 7.2.1.3 pendant 60 s. On peut omettre une augmentation progressive de la tension d'essai.

L'essai a échoué s'il se produit un claquage ou un contournement.

Avant l'essai et 1 min après l'essai, la résistance d'isolement doit être mesurée en appliquant une tension continue d'au moins 500 V. La résistance d'isolement doit être supérieure à 1 000 Ω/V . La mesure de la résistance d'isolement n'est pas nécessaire pendant les essais individuels de série.

Les résistances de mise à la terre et les parafoudres, le cas échéant, doivent être débranchés pendant les essais d'isolement.

Si un liquide est utilisé comme fluide d'échange thermique, l'essai d'isolement doit être exécuté avec le liquide en question.

Les essais de tension de tenue aux chocs ne sont exigés que pour les convertisseurs avec $U_{Nm} > 2\,500$ V. Par accord entre l'acheteur et le fournisseur, l'essai de tension de choc peut être remplacé par un essai de tension de tenue à fréquence industrielle U_{ac} (voir CEI 62497-1). Dans cet essai, la tension doit être appliquée pendant 5 s.

7.2.1.2 Essais d'isolement de l'équipement et des ensembles de convertisseurs disposés dans une enveloppe unique

Chaque circuit du convertisseur doit être soumis à un essai d'isolement par rapport à l'enveloppe et à tous les autres circuits qui sont électriquement séparés de la section de circuit essayée. La tension d'essai doit être choisie conformément à 7.2.1.3 avec une tension du circuit en essai U_{Nm} déterminée.

La tension d'essai doit être appliquée entre le circuit en essai et le châssis ou l'enveloppe auxquels, pour les besoins de cet essai, doivent être connectées les bornes de tous les autres circuits.

7.2.1.3 Tensions d'essais, distances d'isolement et lignes de fuite

7.2.1.3.1 Tensions d'essais, distances d'isolement et lignes de fuite de convertisseurs de fréquence alternatif/alternatif

Les tensions d'essai, les distances d'isolement et les lignes de fuite selon le Tableau 7 ne s'appliquent qu'aux dispositifs connectés directement à la tension de traction. L'acheteur et le fournisseur peuvent convenir des propriétés diélectriques des convertisseurs isolés de la tension de traction par des transformateurs.

Les essais selon 7.2.1.2 doivent être exécutés avec une tension d'essai dont la valeur efficace et la valeur de crête sont conformes à la CEI 62497-1.

Pour les distances d'isolement et lignes de fuite, se reporter à la CEI 62497-1.

7.2.1.3.2 Tensions d'essais, distances d'isolement et lignes de fuite des convertisseurs alternatif/continu

Les distances d'isolement doivent être conçues conformément aux exigences relatives aux distances d'isolement spécifiées dans la CEI 62497-1. Les essais d'isolement doivent être exécutés avec les tensions d'essai selon le Tableau 7.

Les distances d'isolement du Tableau 7 sont des distances d'isolement minimales entre une phase ou un pôle et la terre.

Tableau 7 – Niveaux d'isolement des convertisseurs alternatif/continu

Tension nominale U_n kV	Tension d'isolement assignée U_{Nm} kV	Tension de tenue à fréquence industrielle U_a kV		Tension de choc 1,2 μ s/50 μ s U_{Ni} kV		Distance d'isolement mm	
0,6	0,9	2,8		non applicable		10	
0,75	1,2	3,6		non applicable		14	
0,75	1,8	4,6		non applicable		18	
1,5	2,3	5,5		non applicable		22	
1,5	3,0	9,2		non applicable		36	
3,0	3,6	OV 3	11,5	OV 3	25	OV 3	45
		OV 4	14,0	OV 4	30	OV 4	54
3,0	4,8	OV 3	14,0	OV 3	30	OV 3	54
		OV 4	18,5	OV 4	40	OV 4	72
3,0	6,5	OV 3	18,5	OV 3	40	OV 3	72
		OV 4	23,0	OV 4	50	OV 4	91

NOTE Pour les tensions d'isolement assignées jusqu'à 3 kV, les valeurs sont prises en supposant qu'on utilise la catégorie de surtension OV 3 définie dans la CEI 62497-1. Pour les tensions d'isolement assignées égales ou supérieures à 3 kV, la catégorie de surtension OV 4 est utilisée.

7.2.2 Essai de fonctionnement à puissance réduite

L'essai de fonctionnement à puissance réduite est effectué à une charge suffisante afin de vérifier que toutes les parties du circuit principal et les circuits auxiliaires fonctionnent correctement.

Pour l'essai individuel de série, le convertisseur doit être raccordé à la ou aux tensions d'alimentation assignées.

Pour les convertisseurs auto-commutés, on peut combiner l'essai de fonctionnement à puissance réduite et un essai en charge.

Si on utilise dans les bras du convertisseur, des dispositifs à semiconducteurs montés en série, la répartition de tension doit être contrôlée pour être dans les limites de conception.

7.2.3 Essai en charge

L'essai est réalisé pour vérifier que l'équipement fonctionnera de manière satisfaisante au courant de base.

Les bornes à courant continu doivent être reliées par l'intermédiaire d'un shunt de mesure ou d'un dispositif similaire. Une tension en courant alternatif de valeur suffisante doit être connectée aux bornes à courant alternatif du convertisseur pour provoquer la conduction du courant redressé de base.

Pendant l'essai, l'équipement de commande, le cas échéant, et les auxiliaires doivent être alimentés séparément avec leur tension assignée.

Pour une bonne coordination entre la tension de commande, le cas échéant, et la tension appliquée en courant alternatif, le courant redressé de base doit circuler par les bornes à courant continu.

Si on utilise dans les bras, des dispositifs montés en parallèle, la répartition de courant doit être contrôlée pour être dans les limites de conception.

L'essai en charge et l'essai d'échauffement peuvent être combinés.

Pour les convertisseurs auto-commutés, l'essai en charge doit être réalisé sous la forme d'un essai individuel.

7.2.4 Détermination des pertes

Si on doit déterminer les pertes de puissance par des mesures et non par le calcul (voir 6.3.1), il est admis d'utiliser les méthodes de mesure des pertes de puissance données dans la CEI 60146-1-2, Article 4.

7.2.5 Essai d'échauffement

7.2.5.1 Généralités

L'échauffement du convertisseur doit être déterminé dans les conditions d'essai données pour l'essai en charge du 7.2.3. Des corrections doivent être faites si l'essai est effectué à une température ambiante inférieure à la température maximale spécifiée. L'essai d'échauffement n'est pas limité au circuit principal.

L'essai d'échauffement doit être effectué pour une classe de service au courant de base et aux courants de surcharge pendant la durée indiquée pour la classe de service ou le cycle de charge.

On doit augmenter le courant d'essai de 10 % afin de corriger les pertes des éléments ayant une onde de forme sinusoïdale du courant de conduction sur 180° par opposition à ceux dont l'onde est de forme rectangulaire à 120° de conduction.

On doit enregistrer l'échauffement des points accessibles des dispositifs à semiconducteurs où la température est potentiellement la plus élevée. L'augmentation de la température de jonction virtuelle doit être calculée et être basée sur les mesures de température afin de montrer que l'ensemble est capable de supporter la classe de service ou le cycle de charge spécifié sans dépasser la température de jonction virtuelle maximale des dispositifs. On doit tenir compte de la véritable répartition du courant entre des valves en parallèle.

Les températures des jeux de barres, des isolants, des câbles et des dispositifs de commande et de protection ne doivent pas dépasser leurs limites admissibles (absence de dommages permanents).

L'échauffement au courant permanent au-dessus de la température ambiante doit être noté lorsque les relevés de température ont atteint l'équilibre. Des variations de moins de 1 K/h, avec une durée d'essai maximale de 8 h, doivent être considérées comme des conditions remplissant les exigences du régime établi.

Des connexions temporaires au circuit principal doivent être effectuées pour qu'il n'y ait pendant l'essai, aucune dissipation ni apport de chaleur à l'ensemble convertisseur. L'échauffement est mesuré aux bornes du circuit principal et à 1 m des bornes des connexions temporaires. La différence d'échauffement ne doit pas dépasser 5 K.

Dans le cas où il y a une redondance parallèle de dispositifs à semiconducteurs, on doit exclure les dispositifs redondants dont l'échauffement potentiel est le plus faible afin de vérifier que les dispositifs restants n'excèdent pas la température admissible maximale.

Dans le cas où il y a une redondance série de dispositifs à semiconducteurs, on doit inclure tous les dispositifs.

La température virtuelle de jonction maximale, mesurée et corrigée par le calcul, ne doit pas dépasser la température de jonction maximale admissible donnée par le fabricant du dispositif à semiconducteurs.

7.2.5.2 Température de l'air ambiant et du fluide de refroidissement

7.2.5.2.1 Température de l'air ambiant

La température de l'air ambiant, protégé du rayonnement direct de chaleur émis par l'équipement, doit être mesurée à mi-distance de tout équipement voisin, mais au maximum à 300 mm de l'enveloppe, à mi-hauteur de l'équipement.

7.2.5.2.2 Température du fluide de refroidissement pour un refroidissement par air

La température moyenne doit être mesurée en des endroits situés à l'extérieur de l'équipement et distants de 50 mm de l'entrée d'air.

NOTE Pour l'évaluation de la proportion de chaleur rayonnée, la température de l'air ambiant est celle donnée en 7.2.5.2.1.

7.2.5.2.3 Température du fluide de refroidissement pour un refroidissement par un liquide

La température doit être mesurée dans la canalisation du liquide à 100 mm en amont de l'entrée du liquide.

7.2.5.2.4 Température du fluide d'échange thermique

La température du fluide d'échange thermique doit être mesurée en un point à spécifier par le fabricant.

7.2.6 Vérification des dispositifs auxiliaires

Le fonctionnement des dispositifs auxiliaires tels que les contacteurs, les pompes, l'équipement de commande séquentielle, les ventilateurs, etc., doit être vérifié.

7.2.7 Vérification des propriétés de l'équipement de commande

Il n'est pas possible de vérifier les propriétés de l'équipement de commande dans toutes les conditions de charge susceptibles d'être rencontrées en fonctionnement réel. Cependant, il est recommandé de contrôler dans la mesure du possible, le dispositif de commande de gâchette dans les conditions réelles de charge. Lorsque le contrôle ne peut pas être fait dans

les locaux des fabricants, il peut être, avec l'accord de l'utilisateur, exécuté après l'installation.

Chaque fois que cela est réalisable, le contrôle de l'équipement de commande peut être limité aux deux conditions de charge spécifiées respectivement en 7.2.2 et 7.2.3.

Dans tous les cas, les propriétés statiques et dynamiques de l'équipement de commande doivent être vérifiées. Ceci doit inclure le contrôle du fonctionnement satisfaisant de l'équipement pour toutes les valeurs de tensions d'alimentation à l'intérieur des plages de variation pour lesquelles il a été conçu.

Dans les essais de type, la fonction des circuits auxiliaires doit être essayée aux valeurs maximales et minimales de la tension d'alimentation.

Dans le cas où le convertisseur de puissance à semiconducteur est muni d'un équipement de commande automatique, par exemple une commande à tension constante ou une commande à courant constant, le contrôle des propriétés peut être remplacé par d'autres moyens tels qu'une simulation et une analyse de stabilité par accord entre acheteur et fournisseur.

7.2.8 Vérification des protections

Les dispositifs de protection doivent être contrôlés sans solliciter dans la mesure du possible les composants de l'équipement au-dessus de leurs valeurs assignées.

En raison de la grande diversité de dispositifs de protection et de leurs combinaisons, on ne peut pas en énoncer de règles générales de vérification. Cependant, on doit vérifier la capacité de protection d'un équipement de commande de système, conçu pour protéger le convertisseur des surcharges.

Des essais individuels de série doivent être réalisés pour vérifier le fonctionnement des dispositifs de protection. On n'a cependant pas l'intention de devoir vérifier le fonctionnement de dispositifs tels que des fusibles, etc., dont le fonctionnement est basé sur la destruction du composant actif.

7.2.9 Essai de courant de tenue de courte durée

L'essai de courant de tenue de courte durée est un essai supplémentaire. L'essai est réalisé pour vérifier la capacité de transit du courant de tenue de courte durée (voir 6.7.2.4) du convertisseur pour le courant et la durée spécifiés. Le présent paragraphe s'applique aux essais du convertisseur sans son transformateur.

L'essai de courant de tenue de courte durée doit être effectué aux conditions d'essai données pour l'essai de charge de 7.2.3.

Le convertisseur doit être préchauffé comme décrit en 7.2.5. Le courant de courte durée doit être appliqué au convertisseur en moins de 1 s lorsque la température de jonction du dispositif à semiconducteurs, qui a été trouvé être le plus chaud lors de l'essai d'échauffement, a atteint la température mesurée en régime permanent à I_{Bd} .

Après l'essai du courant de tenue de courte durée, tous les dispositifs à semiconducteurs et tous les fusibles doivent fonctionner correctement. Les jeux de barres, les isolants et les autres parties mécaniques ne doivent pas être endommagés. Afin de vérifier le bon fonctionnement du convertisseur, un essai de fonctionnement à puissance réduite selon 7.2.2 doit être exécuté.

Dans les cas où il y a une redondance parallèle de dispositifs à semiconducteurs, on doit exclure les dispositifs redondants afin de vérifier que les dispositifs restants peuvent conduire le courant de courte durée.

7.2.10 Essais supplémentaires

Les spécifications et les procédures d'essais supplémentaires, par exemple des essais de vibration, de dérive de tension, de bruit audible, doivent faire l'objet d'un accord entre l'acheteur et le fournisseur.

Annexe A **(informative)**

Informations requises

A.1 Généralités

Il convient que l'acheteur et le fournisseur échangent les informations résumées dans la présente annexe.

A.2 Redresseurs à diodes

A.2.1 Spécifications d'achat

Au cas où les points suivants s'appliquent, il convient de les inclure dans les spécifications émises par l'acheteur afin de préciser les exigences techniques.

NOTE Les caractéristiques ne sont utilisées que là où elles s'appliquent précisément.

A.2.1.1 Caractéristiques et exigences fonctionnelles

- a) type d'équipement (voir 4.3.1);
- b) tension continue nominale;
- c) tension alternative assignée côté alimentation;
- d) tension d'isolement assignée;
- e) exigences d'isolement qui diffèrent de celles définies comme normales (le cas échéant);
- f) courant de base redressé;
- g) classe de service ou désignation d'un cycle de charge;
- h) capacité en court-circuit du convertisseur ou durée de coupure du disjoncteur haute tension;
- i) puissance en courant continu;
- j) montage des convertisseurs (voir 6.2);
- k) niveau d'immunité des diodes aux pannes (voir 6.7.4);
- l) exigences relatives aux fusibles des diodes;
- m) exigences relatives aux diodes ou aux dispositifs de surveillance de la fusion du fusible de la diode;
- n) exigences relatives à la surveillance de la température des diodes;
- o) données du transformateur redresseur;
- p) exigences et données des dispositifs de mesure de la tension et/ou du courant;
- q) tension assignée des circuits auxiliaires;
- r) méthode de refroidissement;
- s) verrouillages de sécurité;
- t) exigences pour parer à la montée de tension en dessous du courant critique.

A.2.1.2 Conditions de service particulières

Ce sont les conditions d'environnement et électriques en service qui diffèrent de celles définies comme normales (voir 5.2 et 5.3).

A.2.1.3 Exigences mécaniques

- a) code IP demandé (selon la CEI 60529);
- b) exigence d'un équipement fixe ou débrochable;
disposition des connections en courant continu et en courant alternatif;
type et nombre de câbles, de jeux de barres ou de bus en conduit en courant continu et en courant alternatif;
- c) exigences de cadenassage;
- d) installations de mises à la terre et équipotentielles;
- e) méthode de mise à la terre de l'enveloppe ou du châssis du convertisseur (voir 6.8.2);
- f) dimensions maximales du convertisseur au lieu d'implantation;
- g) dispositions détaillées pour le transport et la livraison au lieu d'implantation;
- h) détails pour l'installation sur le site.

A.2.1.4 Essais

Les essais qui diffèrent de ceux spécifiés en 7.1.2 comme essais individuels de série.

A.2.2 Spécification de l'offre du fournisseur

NOTE Les caractéristiques ne sont utilisées que là où elles s'appliquent précisément.

A.2.2.1 Identification

- a) nom du constructeur ou marque de fabrique;
- b) type d'équipement (voir 4.3.1);
- c) désignation du type;
- d) référence à la Norme nationale correspondant à la présente Norme, par rapport à laquelle le fabricant déclare la conformité.

A.2.2.2 Caractéristiques

- a) tension continue nominale;
- b) courant de base redressé;
- c) classe de service ou aptitude du convertisseur pour un cycle de charge spécifié (voir 6.7.2);
- d) courbe de surintensité (voir 6.7.2.1);
- e) tension crête inverse des diodes;
- f) pertes;
- g) rendement;
- h) méthode de refroidissement;
- i) dimensions de l'ensemble convertisseur;
- j) espace requis pour la maintenance;
- k) nécessité d'un accès à l'arrière;
- l) poids de l'ensemble complet;
- m) confirmation de la conformité avec les exigences de l'acheteur (voir A.2.1) et liste des non-conformités;
- n) besoin d'outils particuliers pour la maintenance ou la réparation.

A.2.3 Informations et données à communiquer par le fournisseur à la livraison

- a) diagrammes et schémas de tous les circuits;

- b) demande d'un fluide de refroidissement (ex.: l'air);
- c) méthode de fixation de l'ensemble convertisseur au sol;
- d) manuels d'exploitation et d'entretien.

A.3 Convertisseurs et onduleurs commandés

A.3.1 Spécifications d'achat

Au cas où les points suivants s'appliquent, il convient de les inclure dans les spécifications émises par l'acheteur afin de préciser les exigences techniques pour le bon fonctionnement du convertisseur.

On présume qu'un convertisseur commandé ne peut être qu'un groupe convertisseur complet comprenant la fourniture du transformateur et des filtres dont le fournisseur du convertisseur est globalement responsable.

NOTE Les caractéristiques ne sont utilisées que là où elles s'appliquent précisément.

A.3.1.1 Caractéristiques et exigences fonctionnelles

- a) type d'équipement (voir 4.3.1);
- b) tension continue nominale;
- c) tension d'isolement assignée;
- d) exigences d'isolement qui diffèrent de celles définies comme normales;
- e) tension alternative assignée côté alimentation du groupe convertisseur;
- f) tension conventionnelle à vide;
- g) tension continue assignée;
- h) courant de base redressé;
- i) classe de service ou désignation d'un cycle de charge;
- j) exigences de limitation du courant;
- k) puissance en courant continu;
- l) exigences concernant le résidu harmonique du courant alternatif et du courant continu;
- m) tension assignée des circuits auxiliaires;
- n) méthode de refroidissement;
- o) verrouillages de sécurité.

A.3.1.2 Conditions de service particulières

Ce sont les conditions d'environnement et électriques en service qui diffèrent de celles définies comme normales (voir 5.2 et 5.3).

A.3.1.3 Exigences mécaniques

- a) code IP demandé (selon la CEI 60529);
- b) disposition des connections en courant continu et en courant alternatif;
- c) exigences de cadenassage;
- d) installations de mises à la terre et équipotentielles;
- e) méthode de mise à la terre de l'enveloppe ou du châssis du convertisseur (voir 6.8.2);
- f) dimensions maximales du convertisseur au lieu d'implantation;
- g) dispositions détaillées pour le transport et la livraison au lieu d'implantation.

A.3.1.4 Essais

Les essais qui diffèrent de ceux spécifiés en 7.1.2 comme essais individuels de série.

A.3.2 Spécification de l'offre du fournisseur

NOTE Les caractéristiques ne sont utilisées que là où elles s'appliquent précisément.

A.3.2.1 Identification

- a) nom du constructeur ou marque de fabrique;
- b) type d'équipement (voir 4.3.1);
- c) désignation du type;
- d) référence à la Norme nationale correspondant à la présente Norme, par rapport à laquelle le fabricant déclare la conformité.

A.3.2.2 Caractéristiques

- a) tension nominale;
- b) courant de base redressé;
- c) classe de service ou aptitude du convertisseur pour un cycle de charge spécifié (voir 6.7.2);
- d) courbe de surintensité (voir 6.7.2.1);
- e) pertes;
- f) rendement;
- g) méthode de refroidissement;
- h) dimensions de l'ensemble convertisseur;
- i) espace requis pour la maintenance;
- j) nécessité d'un accès à l'arrière;
- k) poids de l'ensemble complet;
- l) confirmation de la conformité avec les exigences de l'acheteur (voir A.2.1) et liste des non-conformités;
- m) besoin d'outils particuliers pour la maintenance ou la réparation.

A.3.2.3 Informations et données à communiquer par le fournisseur à la livraison

- a) diagrammes et schémas de tous les circuits;
- b) demande d'un fluide de refroidissement (ex.: l'air);
- c) méthode de fixation de l'ensemble convertisseur au sol;
- d) manuels d'exploitation et d'entretien.

A.4 Convertisseurs de fréquence (convertisseurs directs et de liaison à tension continue)

A.4.1 Spécifications d'achat

Au cas où les points suivants s'appliquent, il convient de les inclure dans les spécifications émises par l'acheteur afin de préciser les exigences techniques.

On présume qu'un convertisseur de fréquence ne peut être qu'un groupe convertisseur complet comprenant la fourniture du transformateur et des filtres dont le fournisseur du convertisseur est globalement responsable.

A.4.1.1 Caractéristiques et exigences fonctionnelles

- a) type d'équipement (voir 4.3.1);
- b) tension alternative nominale, 1 phase;
- c) tension alternative assignée, 3 phases;
- d) fréquences assignées, 1 phase et 3 phases;
- e) tensions d'isolement assignées;
- f) exigences d'isolement qui diffèrent de celles définies comme normales;
- g) puissance réactive et/ou active nominale au point de fonctionnement, 1 phase;
- h) exigences relatives à la caractéristique de puissance réactive, 3 phases;
- i) classe de service ou désignation d'un cycle de charge;
- j) puissance de court-circuit minimale et maximale, 1 phase et 3 phases;
- k) résidu harmonique existant dans les tensions alternatives, 1 phase et 3 phases;
- l) limites de production d'harmoniques supplémentaire, 1 phase et 3 phases;
- m) fréquences de résonance ou impédances du réseau $[Z(f)]$, 1 phase et 3 phases;
- n) exigences et données des dispositifs de mesure de la tension et du courant;
- o) exigences des fonctions de commande et de régulation;
- p) verrouillages de sécurité.

A.4.1.2 Conditions de service

Ce sont les conditions d'environnement qui diffèrent de celles définies comme normales (voir 5.2).

A.4.1.3 Exigences mécaniques

- a) code IP demandé (selon la CEI 60529);
- b) exigences de cadenassage;
- c) installations de mises à la terre et équipotentielles;
- d) détails pour l'installation sur le site;
- e) dispositions détaillées pour le transport et la livraison au lieu d'implantation;
- f) dimensions maximales du convertisseur au lieu d'implantation.

A.4.1.4 Essais

Il convient d'être d'accord sur les essais des composants conformément aux Normes appropriées.

Il convient de définir les essais pour les groupes convertisseurs durant le processus de soumission.

A.4.2 Spécification de l'offre du fournisseur

NOTE Les caractéristiques ne sont utilisées que là où elles s'appliquent précisément.

A.4.2.1 Identification

- a) nom du constructeur ou marque de fabrique;
- b) type d'équipement (voir 4.3.1);
- c) désignation du type le cas échéant;
- d) référence à la Norme nationale correspondant à la présente Norme, par rapport à laquelle le fabricant déclare la conformité.

A.4.2.2 Caractéristiques

- a) tension nominale, 1 phase, 3 phases et en courant continu;
- b) courant assigné, 1 phase, 3 phases et en tension continue;
- c) fréquences assignées, 1 phase, 3 phases;
- d) données et exigences des transformateurs des convertisseurs, 1 phase et 3 phases;
- e) classe de service ou cycle de charge à 1 phase;
- f) pertes;
- g) rendement;
- h) méthode de refroidissement;
- i) tension assignée et demande de puissance des circuits auxiliaires et de commande;
- j) dimensions de l'ensemble convertisseur;
- k) espace requis pour la maintenance;
- l) poids de l'ensemble complet;
- m) confirmation de la conformité avec les exigences de l'acheteur (voir A.2.1) et liste des non-conformités;
- n) besoin d'outils particuliers pour la maintenance ou la réparation.

A.4.2.3 Informations et données à communiquer par le fournisseur à la livraison

- a) diagrammes et schémas de tous les circuits;
- b) plans cotés des principaux composants et du groupe convertisseur complet;
- c) demande d'un fluide de refroidissement (ex.: l'air);
- d) méthode de fixation de l'ensemble convertisseur au sol;
- e) manuels d'exploitation et d'entretien, comprenant les instructions et informations de sécurité relatives au transport, à l'emballage, au montage et à la mise en service.

Annexe B (informative)

Détermination du courant admissible par calcul de la température virtuelle de jonction

B.1 Généralités

Le calcul de la température virtuelle de jonction est la base pour la détermination du courant admissible des convertisseurs.

Les Articles B.3 à B.6 présentent une méthode pour calculer la température virtuelle de jonction.

La méthode est valable en faisant les hypothèses suivantes:

- a) la température virtuelle de jonction à calculer dépend seulement de la puissance dissipée dans le dispositif à semiconducteurs de puissance à l'étude. En d'autres termes, chaque semiconducteur de puissance a son propre chemin de transfert de chaleur vers le fluide de refroidissement, réellement ou virtuellement indépendant des chemins de transfert de chaleur des autres éléments de la pile ou de l'ensemble de dissipateurs de puissance;

NOTE 1 Il n'en est pas de même par exemple pour les ensembles à quatre quadrants dans lesquels les semiconducteurs de puissance appartenant à des sections directes et inverses partagent les mêmes corps de refroidissement.

- b) la résistance thermique et l'impédance thermique transitoire entre la jonction virtuelle et le point de référence sont indépendantes de la température, c'est-à-dire qu'il existe une relation linéaire entre l'échauffement et la puissance dissipée;

NOTE 2 Cette condition n'est généralement pas satisfaite dans le cas du refroidissement par convection.

- c) les pertes des semiconducteurs sont principalement des pertes de conduction; pertes à l'allumage, à l'extinction et dépendantes de la tension. On peut avoir à envisager en particulier les pertes qui dépendent de la tension dans le cas de convertisseurs auto-commutés ou de convertisseurs commutés par un réseau à courant important.

B.2 Forme approchée de l'impulsion de puissance appliquée au dispositif à semiconducteur

Les pertes de puissance équivalentes avec des impulsions de forme rectangulaire sont choisies pour avoir:

- a) la même valeur de crête que l'impulsion réelle de puissance;
- b) une durée d'impulsion réglée pour donner la même valeur moyenne que les impulsions réelles de puissance.

Cette méthode d'approximation des pertes de puissance est applicable:

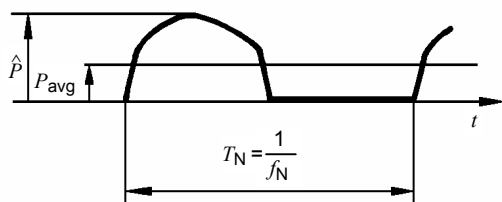
- c) dans une période de la fréquence d'alimentation, à savoir égale à la période de conduction d'un élément de circuit du convertisseur;
- d) dans le cas où la charge d'un convertisseur est cyclique, avec une période allant jusqu'à plusieurs minutes.

Dans le cas c)

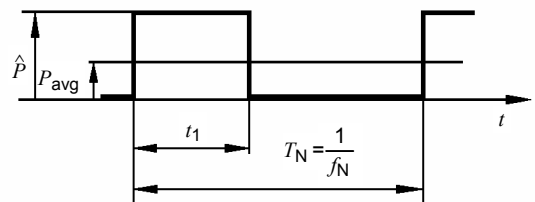
$$t_1 = \frac{P_{avg}}{\hat{P}} \times T_N$$

Dans le cas d)

$$t_p = \frac{P_M}{\hat{P}_{avg}} \times T$$



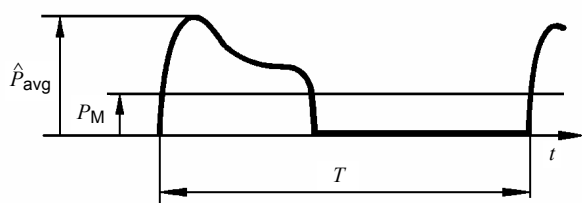
Impulsion de puissance réelle



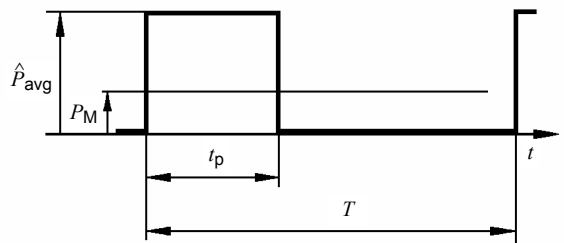
Impulsion de puissance approchée

IEC 1374/10

Figure B.1a



Impulsion de puissance réelle



Impulsion de puissance approchée

IEC 1375/10

Figure B.1b

Figure B.1 – Forme approchée de l'impulsion de puissance

Dans quelques cas, surtout pour une durée d'impulsion supérieure à 1 s et pour des impulsions réelles de perte de puissance de formes divergeant considérablement de la forme d'onde rectangulaire, il peut être nécessaire de maquiller une impulsion de puissance approchée par plusieurs impulsions rectangulaires d'amplitudes et de durées différentes pour obtenir un résultat plus précis. Il convient de choisir chacune de ces impulsions pour avoir la même durée et la même valeur moyenne que la section de l'impulsion réelle de la perte qu'elle remplace.

B.3 Méthode de superposition pour le calcul de la température

La méthode est basée sur l'application d'une courbe d'impédance thermique transitoire. On suppose que les pertes de puissance sont représentées par des impulsions d'onde carrée approchées selon B.2.

La différence de température Θ_n entre deux points spécifiés A et B au temps t_n est donnée comme étant la somme des contributions de température de tous les échelons de puissance ΔP_v précédant le temps t_n .

$$\Theta_n = \sum_{v=1}^{n-1} \Delta P_v \times Z_{nv}$$

Un échelon de puissance positif donne une contribution de température positive et un échelon de puissance négatif donne une contribution de température négative.

La méthode est illustrée au Tableau B.1.

B.4 Calcul de la température virtuelle de jonction pour une charge permanente

Dans ce cas, la température virtuelle de jonction varie selon le temps avec une fréquence déterminée par la tension alternative du réseau.

Les pertes de puissance approchées par la méthode donnée à l'Article B.2 et la température virtuelle de jonction en fonction du temps sont données par le diagramme suivant (Figure B.2).

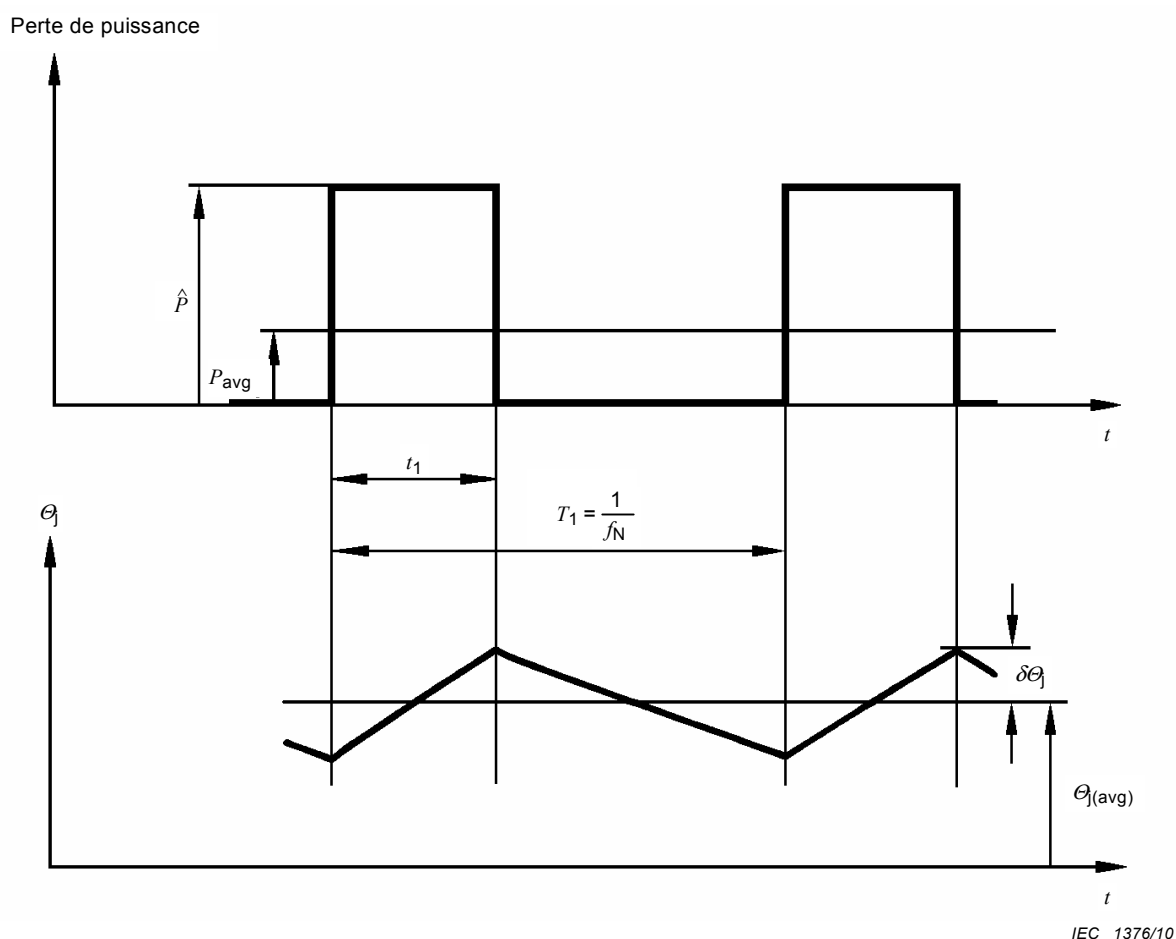


Figure B.2 – Calcul de la température virtuelle de jonction pour une charge permanente

B.4.1 Calcul de la valeur moyenne de la température virtuelle de jonction

La valeur moyenne de la température virtuelle de jonction est donnée par la formule:

$$\theta_{j(avg)} = \theta_x + P_{avg} \times R_{th}$$

B.4.2 Calcul de la température instantanée maximale virtuelle de jonction

La température instantanée maximale virtuelle de jonction dans un cycle est calculée par la formule:

$$\theta_j = \theta_{j(avg)} + \delta\theta_j$$

Une valeur précise de l'excursion de température $\delta\theta_j$ peut être calculée par la méthode de superposition des impulsions de puissance décrite à l'Article B.3.

$$\delta\theta_j = \frac{T_{1N}}{t_1} \times P_{avg} \left[\sum_{\nu=1}^{\frac{n}{2}} \times Z_n \times (2\nu - 1) - \sum_{\nu=1}^{\frac{n-2}{2}} \times Z_n \times 2\nu \right] - P_{avg} \times R_{th}$$

Puisque $\delta\theta_j$ est normalement petite par rapport à $\theta_{j(avg)}$, la formule approchée suivante est recommandée.

$$\theta_j = \frac{T_{1N}}{t_1} \times P_{avg} - \left[Z_{t1} - Z_T + \left(1 - \frac{t_1}{T} \right) \times Z_{(t1+T)} \right]$$

B.5 Calcul de la température virtuelle de jonction pour des charges cycliques

Dans ce cas, la température virtuelle de jonction varie avec le temps à une fréquence déterminée par les variations de charge mais aussi avec une fréquence plus élevée déterminée par la tension alternative comme décrit à l'Article B.4 (voir Figure B.3).

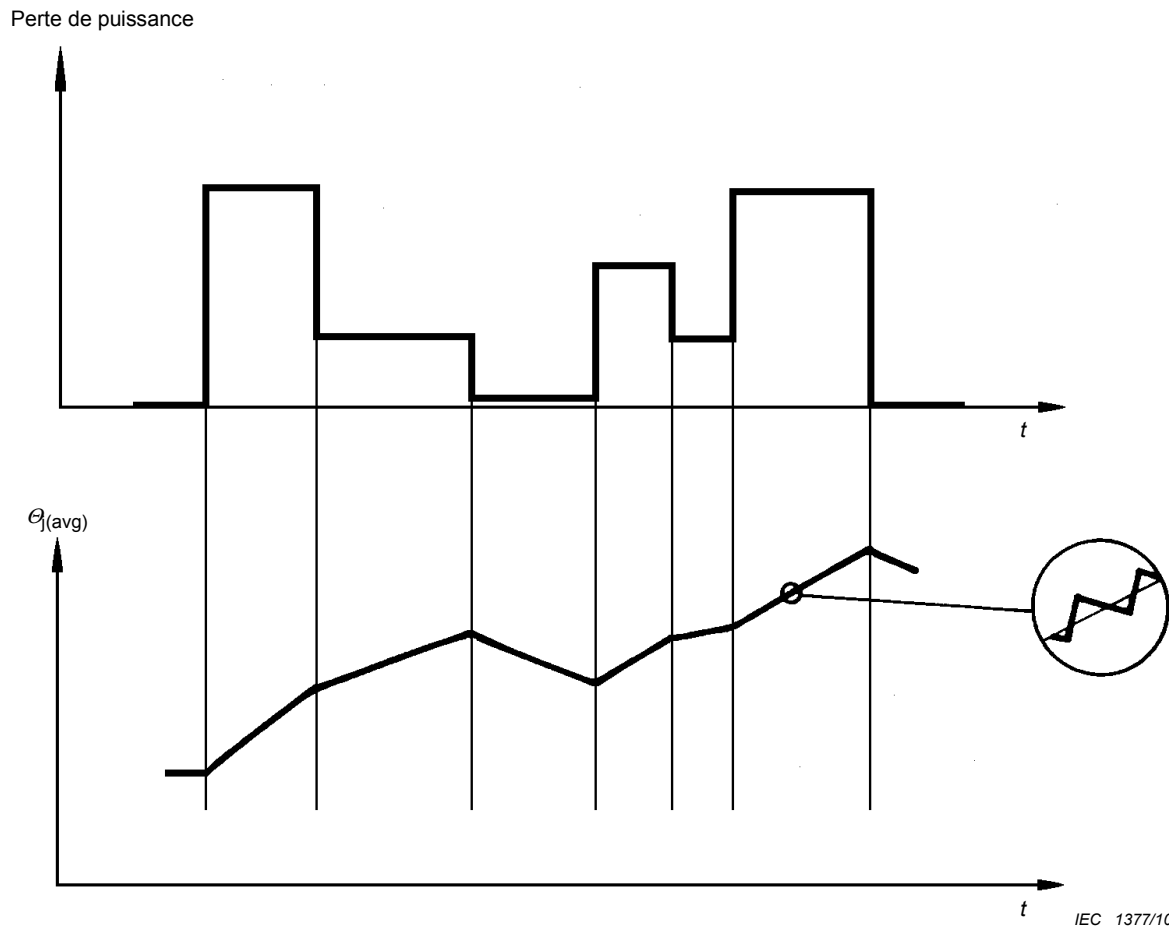


Figure B.3 – Calcul de la température virtuelle de jonction pour des charges cycliques

L'excursion de température occasionnée par l'échauffement de la jonction pendant la période de conduction et le refroidissement pendant la période à faible charge ou à vide, sont calculés de la même façon que la charge permanente selon B.4.2. La valeur moyenne de la température virtuelle de jonction calculée sur plus d'un cycle de la fréquence d'alimentation à un certain instant du cycle de charge, est déterminée selon la méthode donnée en B.4.1.

La température virtuelle moyenne de jonction au temps t_n est alors donnée par:

$$\Theta_{j(\text{avg})n} = \Theta_x + \sum_{v=1}^{n-1} \Delta P_v \times Z_{nv}$$

La valeur instantanée maximale de la température virtuelle de jonction t_n est donnée par:

$$\Theta_j = \Theta_{j(\text{avg})} + \Delta \Theta_j$$

B.6 Exemples d'applications types

Tableau B.1 – Exemples d'applications types

Condition de charge	Diagramme des pertes	Diagramme de la température moyenne virtuelle	Formules de calcul
Impulsion de charge unique			$\Theta_{j(\text{avg})2} = \Theta_x + P_1 \times Z_{21}$ $\Theta_{j(\text{avg})3} = \Theta_x + P_1 \times Z_{31} - P_1 \times Z_{32}$
Séquence d'impulsions de charge			$\Theta_{j(\text{avg})2} = \Theta_x + P_1 \times Z_{21}$ $\Theta_{j(\text{avg})4} = \Theta_x + P_1 \times Z_{41} - P_1 \times Z_{42} + P_3 \times Z_{43}$ $\Theta_{j(\text{avg})6} = \Theta_x + P_1 \times Z_{61} - P_1 \times Z_{62} + P_3 \times Z_{63} - P_3 \times Z_{64} + P_5 \times Z_{65}$
Longue séquence d'impulsions de charge d'amplitude égale			n est pair: $\Theta_{j(\text{avg})n} = \Theta_x + \sum_{v=1}^{\frac{n}{2}} P_0 \times Z_{n(2v-1)} - \sum_{v=1}^{\frac{n}{2}-1} P_0 \times Z_{n(2v)}$ n est impair: $\Theta_{j(\text{avg})n} = \Theta_x + \sum_{v=1}^{\frac{n-1}{2}} P_0 \times Z_{n(2v-1)} - \sum_{v=1}^{\frac{n-1}{2}} P_0 \times Z_{n(2v)}$ ou par approximation: $\Theta_{j(\text{avg})n} = \Theta_x + P_0 \times \left[Z_{t_p} - Z_T + \left(1 - \frac{t_p}{T} \right) \times Z_{(T+t_p)} + \frac{t_p}{T} \times R_T \right]$

Annexe C (informative)

Index des définitions

Terme	CEI	Paragraphe
angle d'empiètement u	60050-551-16-05	3.5.4
bras de valve	60050-551-15-01	3.2.1
ensemble de valves	60050-551-14-13	3.1.3
montage de base d'un convertisseur	60050-551-15-11	3.2.4
courant de service de base à l'alimentation d'un convertisseur I_{BV}		3.6.8
courant de base redressé I_{Bd}		3.6.10
montage survolteur/dévolteur	60050-551-15-21	3.2.10
groupe commutateur	60050-551-16-08	3.5.7
tension de commutation	60050-551-16-02	3.5.2
commutation	60050-551-16-01	3.4.1
circuit de commutation	60050-551-16-03	3.5.9
inductance de commutation	60050-551-16-07	3.5.3
encoche de commutation	60050-551-16-06	3.5.5
indice de commutation q	60050-551-17-03	3.5.8
transitoire de commutation répétitif		3.5.6
bras commandable		3.3.1
tension continue conventionnelle à vide avec réglage $U_{d0\alpha}$	60050-551-17-18	3.8.4
tension continue fictive à vide avec réglage $U_{di\alpha}$	60050-551-17-16	3.8.2
convection (circulation naturelle)		3.10.5
tension continue conventionnelle à vide U_{d0}	60050-551-17-17	3.8.3
montage de convertisseur	60050-551-15-10	3.2.3
section convertisseur d'un convertisseur double	60050-551-12-40	3.3.10
fluide de refroidissement		3.10.1
puissance en courant continu		3.7.3
facteur de déformation v		3.8.11
commutation directe	60050-551-16-09	3.4.3
refroidissement direct		3.10.3
chute de tension continue	60050-551-17-21	3.8.8
convertisseur double	60050-551-12-39	3.3.9
montage à double voie (d'un convertisseur)	60050-551-15-13	3.2.6
classe de service		3.7.1
perturbation électrique		3.11.1
convertisseur électronique de puissance	60050-551-12-01	3.1.4
température d'équilibre		3.10.8

Terme	CEI	Paragraphe
commutation externe	60050-551-16-11.....	3.4.5
angle d'extinction γ		3.5.13
circulation forcée (refroidissement forcé)		3.10.6
convertisseur (double) à quatre quadrants	60050-551-12-36.....	3.3.6
taux de distorsion harmonique (totale)	60050-551-17-06.....	3.11.3
fluide d'échange thermique		3.10.2
tension crête fictive à vide		3.8.6
tension continue fictive à vide U_{di}	60050-551-17-15.....	3.8.1
niveau d'immunité d'un convertisseur		3.11.2
commutation indirecte	60050-551-16-10.....	3.4.4
refroidissement indirect		3.10.4
angle de retard propre α_p	60050-551-16-35.....	3.5.12
commutation par le réseau	60050-551-16-12.....	3.4.6
commutation par la charge	60050-551-16-13.....	3.4.7
cycle de charge		3.7.2
circulation mixte		3.10.7
convection circulation naturelle		3.10.5
tension nominale U_n		3.6.3
bras non commandable		3.3.2
montage mixte	60050-551-15-18.....	3.2.8
convertisseur à un quadrant	60050-551-12-34.....	3.3.4
montage en parallèle		3.2.11
rendement		3.7.4
facteur de puissance du fondamental ou facteur de déphasage		
$\cos \varphi_1$		3.8.9
bras principal	60050-551-15-02.....	3.2.2
indice de pulsation p	60050-551-17-01.....	3.5.9
quadrants de fonctionnement (côté courant continu)		3.3.3
extinction	60050-551-16-19.....	3.4.2
courant assigné côté traction d'un convertisseur de fréquence I_{Nt}		3.6.9
tension alternative assignée côté alimentation d'un convertisseur U_{NV}		3.6.5
tension alternative assignée côté traction d'un convertisseur U_{Nt}		3.6.6
tension continue assignée U_{Nd}		3.6.7
fréquence assignée f_N		3.6.2
tension d'isolement assignée U_{Nm}		3.6.4
valeur assignée		3.6.1
tension continue réelle à vide U_{d00}	60050-551-17-19.....	3.8.5

Terme	CEI	Paragraphe
convertisseur réversible	60050-551-12-37	3.3.7
commutation autonome	60050-551-16-15	3.4.8
dispositif à semiconducteurs		3.1.1
montage en série		3.2.9
convertisseur simple	60050-551-12-38	3.3.8
montage à simple voie (d'un convertisseur)	60050-551-15-12	3.2.5
bloc de valves	60050-551-14-12	3.1.2
dispositif de commande du système		3.1.6
résistance thermique R_{th}		3.9.1
facteur de puissance total λ		3.8.9
impédance thermique transitoire Z_{th}		3.9.2
courant critique	60050-551-17-20	3.8.7
angle d'avance de l'ordre d'amorçage β	60050-551-16-34	3.5.11
angle de retard de l'ordre d'amorçage α	60050-551-16-33	3.5.10
dispositif de commande de gâchette (de déclenchement)		3.1.5
convertisseur (simple) à deux quadrants	60050-551-12-35	3.3.5
montage homogène	60050-551-15-15	3.2.7
température virtuelle de jonction Θ_j		3.9.3

Bibliographie

CEI 60050-151:2001, *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) – Partie 151: Dispositifs électriques et magnétiques*

CEI 60050-441:1984, *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) – Chapitre 441: Appareillage et fusibles*

CEI 60050-521:2002, *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) – Partie 521: Dispositifs à semiconducteurs et circuits intégrés*

CEI 60050-601:1985, *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) – Chapitre 601: Production, transport et distribution de l'énergie électrique – Généralités*

CEI 60146-2:1999, *Convertisseurs à semiconducteurs – Partie 2: Convertisseurs autocommutés à semiconducteurs y compris les convertisseurs à courant continu directs*

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

CEI 62589, *Applications ferroviaires – Installations fixes – Harmonisation des valeurs assignées et des essais sur les groupes convertisseurs*¹

¹ A publier.

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

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

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