

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

Semiconductor converters – General requirements and line commutated converters –

Part 1-1: Specification of basic requirements

Convertisseurs à semiconducteurs – Exigences générales et convertisseurs commutés par le réseau –

Partie 1-1: Spécification des exigences de base



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2009 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 It also gives information on projects, withdrawn and replaced publications.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 60146-1-1

Edition 4.0 2009-06

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

**Semiconductor converters – General requirements and line commutated
converters –**

Part 1-1: Specification of basic requirements

**Convertisseurs à semiconducteurs – Exigences générales et convertisseurs
commutés par le réseau –**

Partie 1-1: Spécification des exigences de base

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX

XD

ICS 29.200, 29.045

ISBN 2-8318-1049-5

CONTENTS

FOREWORD.....	5
1 Scope and object.....	7
2 Normative references	7
3 Terms and definitions	9
3.1 Semiconductor devices and combinations	10
3.2 Arms and connections	13
3.3 Controllability of converter arms and quadrants of operation (on d.c. side)	15
3.4 Commutation, quenching and commutation circuitry	16
3.5 Commutation characteristics	18
3.6 Rated values	20
3.7 Specific voltages, currents and factors	22
3.8 Cooling.....	25
3.9 Service conditions tolerances and electromagnetic compatibility	26
3.10 Harmonic distortion	27
3.11 Definitions related to insulation co-ordination	31
4 Operation of semiconductor power equipment and valve devices.....	34
4.1 Classification.....	34
4.1.1 Semiconductor converter.....	34
4.1.2 Semiconductor valve devices.....	35
4.2 Principal letter symbols and subscripts.....	36
4.3 Basic operation of semiconductor converters.....	38
4.3.1 Commutation	38
4.3.2 Basic calculation factors for line commutated converters	40
4.3.3 Disturbances and fault conditions	42
5 Service conditions	43
5.1 Code of identification for cooling method.....	43
5.2 Environmental conditions	44
5.2.1 Ambient air circulation	44
5.2.2 Normal service conditions – Temperatures	44
5.2.3 Other normal service conditions	45
5.2.4 Unusual service conditions	45
5.3 Characteristics of the load.....	46
5.4 Service condition tolerances.....	46
5.4.1 Steady state and short time conditions	46
5.4.2 Repetitive and non-repetitive transients.....	49
6 Power conversion equipment and assemblies.....	49
6.1 Electrical connections.....	49
6.2 Calculation factors.....	50
6.2.1 Essential variables	50
6.2.2 Losses and efficiency	53
6.2.3 Power factor	54
6.2.4 Voltage regulation	54
6.3 Electromagnetic compatibility	56
6.3.1 Harmonics	56
6.3.2 Other EMC aspects	57
6.4 Rated values	57

6.4.1	General	57
6.4.2	Rated output voltage	58
6.4.3	Rated current values	58
6.5	Duty classes.....	59
6.5.1	Principles	59
6.5.2	Selection of duty class and rated current value.....	60
6.5.3	Particular remarks for double converters	61
6.6	Markings	62
6.6.1	General	62
6.6.2	Rating plate.....	62
7	Tests for valve device assemblies and power conversion equipment	63
7.1	General.....	63
7.1.1	Methods of testing	63
7.1.2	Kinds of tests	63
7.1.3	Performance of tests	63
7.2	Insulation tests.....	64
7.2.1	General	64
7.2.2	Insulation routine tests of power conversion equipment	65
7.2.3	Additional tests.....	68
7.3	Functional test.....	68
7.3.1	Light load test and functional test	68
7.3.2	Rated current test.....	69
7.3.3	Over-current capability test.....	69
7.3.4	Measurement of the inherent voltage regulation	69
7.3.5	Measurement of ripple voltage and current	69
7.3.6	Measurement of harmonic currents.....	69
7.4	Losses, temperature and power factor.....	70
7.4.1	Power loss determination for assemblies and equipment	70
7.4.2	Temperature rise test	71
7.4.3	Power factor measurements	72
7.5	Auxiliaries and control	72
7.5.1	Checking of auxiliary devices	72
7.5.2	Checking the properties of the control equipment	72
7.5.3	Checking the protective devices	72
7.6	EMC tests	73
7.7	Measurement of audible noise and additional tests.....	73
7.8	Tolerances	73
Annex A	(normative) Harmonics and interharmonics	75
Annex B	(informative) Electrical environment – Short-circuit ratio	79
Annex C	(normative) Protection against electric shock and energy hazards	83
Bibliography		86
Index of definitions		89

Figure 1 – Types of commutation	39
Figure 2 – Illustration of angles	40
Figure 3 – Voltage regulation	41
Figure 4 – A.C. voltage waveform	49
Figure B.1 – PCC, IPC, installation current ratio and R_{SI}	81
Figure B.2 – PCC, IPC, installation current ratio and R_{SC}	82
Table 1 – List of major subscripts	36
Table 2 – Symbols	36
Table 3 – Performance criteria	42
Table 4 – Cooling medium or heat transfer agent	44
Table 5 – Method of circulation	44
Table 6 – Limit of temperature of the cooling medium for indoor equipment	45
Table 7 – Immunity levels to frequency and voltage amplitude for stiff a.c. voltage connections	47
Table 8 – Immunity levels to voltage unbalance for stiff a.c. voltage connections	48
Table 9 – Immunity levels to voltage waveform for stiff a.c. voltage connections	48
Table 10 – Connections and calculation factors	52
Table 11 – Standard duty classes	60
Table 12 – Examples of load cycles as guidance for selection of duty class	61
Table 13 – Summary of tests	64
Table 14 – AC or d.c. test voltages for equipment directly connected to low voltage mains	67
Table 15 – AC or d.c. test voltages for equipment directly connected to high voltage mains	67
Table 16 – Tolerances	74

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**SEMICONDUCTOR CONVERTERS –
GENERAL REQUIREMENTS AND LINE COMMUTATED CONVERTERS –****Part 1-1: Specification of basic requirements**

FOREWORD

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

International Standard IEC 60146-1-1 has been prepared by IEC technical committee 22: Power electronic systems and equipment.

This fourth edition cancels and replaces the third edition published in 1991, Corrigendum 1 (1993) and Amendment 1 (1996). This fourth edition constitutes a technical revision.

This fourth edition introduces five main changes:

- a) re-edition of the whole standard according to the current directives;
- b) correction of definitions and addition of new terms, especially terms concerning EMC, harmonic distortion and insulation co-ordination;
- c) the service condition tolerances have been revised according to the IEC 61000 series;
- d) the insulation tests have been revised considering the insulation co-ordination;
- e) addition of three annexes.

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

FDIS	Report on voting
22/146/FDIS	22/149/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 main purposes of the IEC 60146-1 series are as follows.

Part 1-1, IEC 60146-1-1, Specification of basic requirements:

- to establish basic terms and definitions;
- to specify service conditions which influence the basis of rating;
- to specify test requirements for electronic power converters and assemblies, standard design, (for special design, see IEC/TR 60146-1-2);
- to specify basic performance requirements;
- to give application oriented requirements for semiconductor power converters.

Part 1-2, IEC/TR 60146-1-2, Application guide:

- to give additional information on test conditions and components (for example: semiconductor valve devices), when required for their use in semiconductor power converters, in addition to or as a modification on existing standards;
- to provide useful reference, calculation factors, formulae and diagrams pertaining to power converter practice.

Part 1-3, IEC 60146-1-3, Transformers and reactors:

- to give additional information on characteristics wherein converter transformers differ from ordinary power transformers. In all other respects, the rules specified in IEC 60076 shall apply to converter transformers, insofar as they are not in contradiction with this International Standard.

A list of all parts of the IEC 60146 series, under the general title: *Semiconductor converters*, can be found on the IEC website.

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

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

SEMICONDUCTOR CONVERTERS – GENERAL REQUIREMENTS AND LINE COMMUTATED CONVERTERS –

Part 1-1: Specification of basic requirements

1 Scope and object

This International Standard specifies the requirements for the performance of all semiconductor power converters and semiconductor power switches using controllable and/or non-controllable electronic valve devices.

The electronic valve devices mainly comprise semiconductor devices, either not controllable (i.e. rectifier diodes) or controllable (i.e. thyristors, triacs, turn-off thyristors and power transistors). The controllable devices may be reverse blocking or reverse conducting and controlled by means of current, voltage or light. Non-bistable devices are assumed to be operated in the switched mode.

This standard is primarily intended to specify the basic requirements for converters in general and the requirements applicable to line commutated converters for conversion of a.c. power to d.c. power or vice versa. Parts of this standard are also applicable to other types of electronic power converter provided that they do not have their own product standards.

These specific equipment requirements are applicable to semiconductor power converters that either implement power conversion or use commutation (for example semiconductor self-commutated converters) or involve particular applications (for example semiconductor converters for d.c. motor drives) or include a combination of said characteristics (for example direct d.c. converters for electric rolling stock).

This standard is applicable to all power converters not covered by a dedicated product standard, or if special features are not covered by the dedicated product standard. Dedicated product standards for power converters should refer to this International Standard.

NOTE 1 This standard is not intended to define EMC requirements. It covers all phenomena and therefore introduces references to dedicated standards which are applicable according to their scope.

NOTE 2 A large part of this standard, particularly for power transformers, is covered in IEC 61378-1.

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 60050-101:1998, *International Electrotechnical Vocabulary – Part 101: Mathematics*

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

IEC 60050-551-20:2001, *International Electrotechnical Vocabulary – Part 551-20: Power electronics – Harmonic analysis*

IEC 60364-1, *Low-voltage electrical installations – Part 1: Fundamental principles, assessment of general characteristics, definitions*

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

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

IEC 60700-1, *Thyristor valves for high voltage direct current (HVDC) power transmission – Part 1: Electrical testing*

IEC 61000 (all parts), *Electromagnetic compatibility (EMC)*

IEC 61000-2-2:2002, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 2-2: Environment – Compatibility levels for low-frequency conducted disturbances and signalling in public low-voltage power supply systems*

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

IEC 61000-3-2, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 3-2: Limits – Limits for harmonic current emissions (equipment with input current ≤ 16 A per phase)*

IEC 61000-3-3, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 3-3: Limits – Limitation of voltage changes, voltage fluctuations and flicker in public low-voltage supply systems for equipment with rated current ≤ 16 A per phase and not subject to conditional connection*

IEC 61000-3-11, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 3-11: Limits – Limitation of voltage changes, voltage fluctuations and flicker in public low-voltage supply systems – Equipment with rated current ≤ 75 A and subject to conditional connection*

IEC 61000-3-12:2004, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 3-12: Limits – Limits for harmonic currents produced by equipment connected to public low-voltage systems with input current > 16 A and ≤ 75 A per phase*

IEC 61000-4-7, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-7: Testing and measurement techniques – General guide on harmonics and interharmonics measurements and instrumentation, for power supply systems and equipment connected thereto*

IEC 61000-6-1, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 6-1: Generic standards – Immunity for residential, commercial and light-industrial environments*

IEC 61000-6-2, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 6-2: Generic standards – Immunity for industrial environments*

IEC 61000-6-3, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 6-3: Generic standards – Emission standard for residential, commercial and light-industrial environments*

IEC 61000-6-4, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 6-4: Generic standards – Emission standard for industrial environments*

IEC 61140, *Protection against electric shock – Common aspects for installation and equipment*

IEC 61180-1:1992, *High-voltage test techniques for low voltage equipment – Part 1: Definitions, test and procedure requirements*

IEC 61204-3, *Low-voltage power supplies, d.c. output – Part 3: Electromagnetic compatibility (EMC)*

IEC 61204-7, *Low voltage power supplies, d.c. output – Part 7: Safety requirements*

IEC 61800-3, *Adjustable speed electrical power drive systems – Part 3: EMC requirements and specific test methods*

IEC 61800-5-1, *Adjustable speed electrical power drive systems – Part 5-1: Safety requirements – Electrical, thermal and energy*

IEC 61954, *Power electronics for electrical transmission and distribution systems – Testing of thyristor valves for static VAR compensators*

IEC/PAS 61975, *Guide to the specification and design evaluation of a.c. filters for HVDC systems*

IEC 62040-1, *Uninterruptible power systems (UPS) – Part 1: General and safety requirements for UPS*

IEC 62040-2, *Uninterruptible power systems (UPS) – Part 2: Electromagnetic compatibility (EMC) requirements*

IEC 62103, *Electronic equipment for use in power installations*

IEC 62310-1, *Static transfer systems (STS) – Part 1: General and safety requirements*

IEC 62310-2, *Static transfer systems (STS) – Part 2: Electromagnetic compatibility (EMC) requirements*

NOTE Some other IEC publications are quoted for information in the Bibliography.

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).

All the terms listed in this clause are not necessarily used in this International Standard, however they are necessary to establish a common understanding in the application of semiconductor converters.

The policy adopted is as follows:

- a) when an existing IEC definition needs amplification or additional information, the title, the reference and the additional text are given;
- b) explanations and figures are given in 4.3;
- c) terms used in connection with converter faults are defined in IEC/TR 60146-1-2.

An alphabetical index is given in the Index of definitions.

NOTE For easier use of this index, a cross reference numbering is set up, noted [df *n*], in which *n* is the natural integer following the alphabetical order of the definitions.

3.1 Semiconductor devices and combinations

3.1.1

semiconductor device

device, the essential electric characteristics of which are due to the flow of charge carriers within one or more semiconductor materials

[IEV 151-13-63] [df 164]

3.1.2

electronic (power) switch

an operative unit for electronic power switching comprising at least one controllable valve device

[IEV 551-13-01] [df 60] [df 123] [df 173]

3.1.3

semiconductor switch

an electronic power switch with semiconductor valve devices

[IEV 551-13-05] [df 165] [df 174]

NOTE Similar terms are used for electronic switches or power controllers with specific electronic valve devices, for example thyristor controller, transistor switch.

3.1.4

non-controllable valve device

rectifier diode

a reverse blocking valve device the current path of which conducts in its conducting direction without any control signal being applied

[IEV 551-14-04] [df 45] [df 105] [df 149]

3.1.5

thyristor

bi-stable semiconductor device comprising three or more junctions which can be switched from the off-state to the on-state or vice versa

[IEV 521-04-61] [df 178]

NOTE 1 Devices having only three layers but having switching characteristics similar to those of four layers thyristors may also be called thyristors.

NOTE 2 The term "thyristor" is used as a generic term to cover the whole range of PNP type devices. It may be used by itself for any member of the thyristor family when such use does not result in ambiguity or misunderstanding. In particular, the term "thyristor" is widely used for reverse blocking triode thyristor, formerly called "silicon controlled rectifier".

3.1.6

reverse blocking triode thyristor

three-terminal thyristor which for negative anode voltage does not switch, but exhibits a reverse blocking state

[IEV 521-04-63] [df 158] [df 179] [df 193]

3.1.7

reverse conducting triode thyristor

three-terminal thyristor which for negative anode voltage does not switch and conducts large currents at voltages comparable in magnitude to the forward on-state voltage

[IEV 521-04-65] [df 159]

3.1.8**bidirectional triode thyristor
triac**

three-terminal thyristor having substantially the same switching behaviour in the first and third quadrants of the current-voltage characteristic

[IEV 521-04-67, modified] [df 11] [df 188]

3.1.9**turn-off thyristor
GTO**

thyristor which can be switched from the on-state to the off-state and vice versa by applying control signals of appropriate polarity to the gate terminal

[IEV 521-04-68] [df 79] [df 81] [df 195]

NOTE Also known as gate turn-off thyristor.

3.1.10**power transistor**

transistor designed for switching from the on-state to the off-state and vice versa by applying control signals of appropriate polarity to the base or gate terminal [df 124] [df 186]

NOTE 1 The structure of the device intrinsically provides the capability of amplification (see IEV 521-04-46)

NOTE 2 Different technologies of power transistors are used such as bipolar transistors, insulated gate bipolar transistors (IGBT), metal-oxide-semiconductor field-effect transistors, (MOSFET) etc.

3.1.11**valve device stack**

a single structure of one or more electronic valve devices with its (their) associated mounting(s) and auxiliaries if any

[IEV 551-14-12] [df 171] [df 203]

3.1.12**valve device assembly**

an electrically and mechanically combined assembly of electronic valve devices or stacks, complete with all its connections and auxiliaries in its own mechanical structure

NOTE Similar terms are applied to stacks or assemblies comprising specific electronic valve devices, for example diode stack (rectifier diodes only), thyristor assembly (thyristors only or in combination with rectifier diodes).

[IEV 551-14-13] [df 6] [df 201]

3.1.13**electronic valve device**

an indivisible electronic device for electronic power conversion or electronic power switching, comprising a non-controllable or bistably controlled unidirectionally conducting current path

[IEV 551-14-02] [df 61] [df 199]

3.1.14**semiconductor valve device**

an electronic valve device which is a semiconductor device

[IEV 551-14-09] [df 166] [df 200]

NOTE 1 Typical semiconductor valve devices are thyristors, rectifier diodes, bipolar transistors, metal-oxide-semiconductor field-effect transistors (MOSFET) and insulated-gate bipolar transistors (IGBT).

NOTE 2 Two or more semiconductor valve devices may be integrated on a common semiconductor chip (examples: a thyristor and a rectifier diode in a reverse conducting thyristor, a power switching field effect transistor with its reverse diode) or packaged in a common case (semiconductor power module). These combinations are considered as separate semiconductor valve devices.

3.1.15

(electronic) (power) conversion

change of one or more of the characteristics of an electric power system essentially without appreciable loss of power by means of electronic valve devices

[IEV 551-11-02] [df 32] [df 58] [df 116]

NOTE Characteristics include, for example, voltage amplitude, number of phases and frequency, including zero frequency.

3.1.16

(electronic) (power) converter

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

[IEV 551-12-01, modified] [df 36] [df 59] [df 119]

NOTE Converter transformers and filters related to network interfacing in terms of electrical characteristics are excluded from the converter itself. Such devices are part of the system aspect. Any device necessary to the correct operation of the converter itself are included in the converter, for example filters for limitation of the du/dt applied to the valve devices, surge arrestors, etc. Any auxiliary necessary to the correct operation of the converter itself are included in the converter, for example fans or cooling system.

3.1.17

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 [df 80] [df 191]

3.1.18

system control equipment

equipment associated with a power conversion equipment or system which performs automatic adjustment of the converter output characteristics as a function of a controlled quantity (for example motor speed, traction force, etc.) [df 26] [df 176]

3.1.19

semiconductor converter

an electronic power converter with semiconductor valve devices

[IEV 551-12-42] [df 37] [df 163]

NOTE Similar terms for converters in general or for specific kinds of converters or for converters with other or specific valve devices, for example thyristor converter, transistor inverter.

3.1.20

power conversion equipment

PCE

equipment including the electronic power converter and auxiliaries necessary for operation of the converter itself, or even other parts dedicated to the application and where these parts cannot be physically separated without preventing the operation of the converter [df 33] [df 66] [df 117]

3.1.21

power conversion system

system consisting of a power conversion equipment and associated components for the application for example switchgear, reactors or transformers, dedicated filters, etc. [df 35] [df 118] [df 175]

3.2 Arms and connections

3.2.1

(valve) arm

a part of the circuit of an electronic power converter or switch bounded by any two a.c. or d.c. terminals and including one or more simultaneously conducting electronic valve devices connected together and other components if any

[IEV 551-15-01] [df 5] [df 198]

3.2.2

principal arm

a valve arm involved in the major transfer of power from one side of the converter or electronic switch to the other

[IEV 551-15-02] [df 4] [df 125]

3.2.3

auxiliary arm

any valve arm other than a principal arm

NOTE Sometimes an auxiliary arm temporarily fulfils more than one of the following functions: by-pass arm, free-wheeling arm, turn-off arm or regenerative arm.

[IEV 551-15-05] [df 3] [df 7]

3.2.4

by-pass arm

an auxiliary arm providing a conductive path which allows the current to circulate without an interchange of power between source and load

[IEV 551-15-06] [df 14]

3.2.5

free-wheeling arm

a by-pass arm containing only non-controllable valve devices

[IEV 551-15-07] [df 75]

3.2.6

turn-off arm

an auxiliary arm which temporarily takes over the current directly from a conducting valve arm, consisting of one or more latching valve devices which cannot be turned off by a control signal

[IEV 551-15-08] [df 194]

3.2.7

regenerative arm

a valve arm which transfers a part of the power from the load side to the source side

[IEV 551-15-09] [df 153]

3.2.8

converter connection

the electrical arrangement of valve arms and other components essential for the function of the main power circuit of a converter

[IEV 551-15-10] [df 38]

NOTE Common practice also uses the term “topology” of the converter with the same sense.

3.2.9

basic converter connection

the electrical arrangement of principal arms in a converter

[IEV 551-15-11] [df 8]

3.2.10

single-way connection (of a converter)

a converter connection such that the current through each of the phase terminals of the a.c. circuit is unidirectional

[IEV 551-15-12] [df 170]

3.2.11

double-way connection (of a converter)

a converter connection such that the current through each of the phase terminals of the a.c. circuit is bidirectional

[IEV 551-15-13] [df 52]

3.2.12

bridge connection

a double-way connection of pairs of arms such that the centre terminals are the phase terminals of the a.c. circuit, and that the outer terminals of like polarity are connected together and are the d.c. terminals

[IEV 551-15-14] [df 13]

3.2.13

uniform connection

a connection with either all principal arms controllable or all principal arms non-controllable

[IEV 551-15-15] [df 197]

3.2.14

non-uniform connection

a connection with both controllable and non-controllable principal arms

[IEV 551-15-18] [df 106]

3.2.15

series connection

connection of two-terminal networks so that they form a single path

[IEV 131-12-75] [df 167]

3.2.16

series connection of converters

a series connection in which two or more converters are connected in such a way that their voltages add [df 168]

3.2.17

boost and buck connection

a series connection of two or more converter connections the direct voltages of which may be added or subtracted depending on the control of the individual connections

[IEV 551-15-21] [df 12]

3.3 Controllability of converter arms and quadrants of operation (on d.c. side)

3.3.1

controllable arm

converter arm including controllable valve device(s) [df 27]

3.3.2

non-controllable arm

converter arm including only no-controllable valve device(s) [df 104]

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 [df 130]

3.3.4

one-quadrant converter

an a.c./d.c. or d.c. converter with one possible direction of d.c. power flow

[IEV 551-12-34] [df 107]

3.3.5

two-quadrant converter

an a.c./d.c. or d.c. converter with two possible directions of d.c. power flow associated with one direction of direct current and two directions of direct voltage or vice versa

[IEV 551-12-35] [df 196]

3.3.6

four-quadrant converter

an a.c./d.c. or d.c. converter with two directions of d.c. power flow, associated with two directions of direct voltage and two directions of direct current

[IEV 551-12-36] [df 74]

3.3.7

reversible converter

bi-directional converter

a converter in which the direction of the power flow is reversible

[IEV 551-12-37] [df 10] [df 160]

NOTE The term bi-directional converter corresponds to common practice, and provides a better picture of the bi-directional power flow in the converter.

3.3.8

single converter

a current stiff reversible a.c./d.c converter with direct current in one direction

[IEV 551-12-38] [df 169]

3.3.9

double converter

a current stiff reversible a.c./d.c. converter with direct current in both directions

[IEV 551-12-39] [df 50]

3.3.10

converter section of a double converter

that part of a double converter in which the main direct current when viewed from the d.c. terminals always flows in the same direction

[IEV 551-12-40] [df 39]

3.3.11

phase control

the process of varying the instant within the cycle at which current conduction in an electronic valve device or valve arm begins

[IEV 551-16-23] [df 115]

3.3.12

triggering

the control action to achieve firing of a latching valve device or an arm consisting of such devices

[IEV 551-16-61] [df 192]

3.4 Commutation, quenching and commutation circuitry

3.4.1

commutation

in an electronic power converter the transfer of current from one conducting arm to the next to conduct in sequence, without interruption of the current, both arms conducting simultaneously during a finite time interval

[IEV 551-16-01] [df 17]

3.4.2

quenching

the termination of current flow in an arm without commutation

[IEV 551-16-19] [df 131]

3.4.3

direct commutation

a commutation between two principal arms without transfer through any auxiliary arms

[IEV 551-16-09] [df 46]

3.4.4

indirect commutation

a series of commutations from one principal arm to another or back to the original one by successive commutations via one or more auxiliary arms

[IEV 551-16-10] [df 90]

3.4.5

external commutation

a commutation where the commutating voltage is supplied by a source outside the converter or electronic switch

[IEV 551-16-11] [df 70]

3.4.6**line commutation**

an external commutation where the commutating voltage is supplied by the line

[IEV 551-16-12] [df 99]

3.4.7**load commutation**

an external commutation where the commutating voltage is taken from a load other than the line

[IEV 551-16-13] [df 100]

3.4.8**machine commutation**

external commutation where the commutating voltage is supplied by a rotating machine

[IEV 551-16-14] [df 101]

3.4.9**resonant load commutation**

method of load commutation in which the commutating voltage is supplied by the load, using its resonant property [df 157]

3.4.10**self-commutation**

a commutation where the commutating voltage is supplied by components within the converter or the electronic switch

[IEV 551-16-15] [df 161]

3.4.11**capacitor commutation**

method of self-commutation in which the commutating voltage is supplied by capacitors included in the commutation circuit

[IEV 551-16-17] [df 15]

3.4.12**inductively coupled capacitor commutation**

method of capacitor commutation in which the capacitor circuit is inductively coupled to the commutation circuit [df 93]

3.4.13**valve device commutation**

a method of self-commutation in which the commutating voltage is created by turning off the conducting electronic valve device by a control signal

NOTE Simultaneously the next electronic valve device to conduct is turned on.

[IEV 551-16-16] [df 202]

3.4.14**valve device quenching**

a method of quenching in which the quenching is performed by the electronic valve device itself

[IEV 551-16-20] [df 204]

3.4.15

external quenching

a method of quenching in which the quenching results from causes external to the device

[IEV 551-16-21] [df 71]

NOTE External quenching occurs in line-commutated converters under discontinuous conduction operation.

3.5 Commutation characteristics

3.5.1

commutation circuit

the circuit consisting of the commutating arms and the source providing the commutating voltage

[IEV 551-16-03] [df 18]

3.5.2

commutation voltage

the voltage which causes the current to commute

[IEV 551-16-02] [df 25]

3.5.3

commutation inductance

the resulting inductance in the commutation circuit

[IEV 551-16-07] [df 20]

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

3.5.4

commutation interval

the time interval in which commutating arms are carrying principal current simultaneously

[IEV 551-16-04] [df 21]

3.5.5

angle of overlap

μ

the commutation interval expressed in angular measure

[IEV 551-16-05] [df 2]

NOTE Also known as overlap angle μ .

3.5.6

commutation notch

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

[IEV 551-16-06] [df 22]

3.5.7

commutation repetitive transient

voltage oscillation associated with the commutation notch [df 24]

3.5.8**commutating group**

a group of principal arms which commute cyclically among themselves without intermediate commutation of the current to other principal arms

[IEV 551-16-08] [df 19]

3.5.9**commutation number q**

the number of commutations from one principal arm to another during one elementary period in each commutating group

[IEV 551-17-03] [df 23]

3.5.10**pulse number p**

the number of non-simultaneous symmetrical direct or indirect commutations from one principal arm to another which occur during one elementary period

[IEV 551-17-01] [df 129]

3.5.11**trigger delay angle**

α

the time expressed in angular measure by which the trigger pulse is delayed with respect to the reference instant in the case of phase control

NOTE With line, machine or load commutated converters the reference instant is the zero crossing instant of the commutating voltage. With a.c. controllers it is the zero crossing instant of the supply voltage. For a.c. controllers with inductive loads, the trigger delay angle is the sum of the phase shift and the current delay angle.

[IEV 551-16-33] [df 190]

3.5.12**trigger advance angle**

β

the time expressed in angular measure by which the trigger pulse is advanced with respect to the reference instant

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

[IEV 551-16-34] [df 189]

3.5.13**inherent delay angle**

α_p

the current delay angle occurring, even without phase control, caused by multiple overlap

[IEV 551-16-35] [df 94]

NOTE Multiple overlap occurs in line commutated converters at high angles of overlap.

3.5.14**extinction angle**

γ

the time, expressed in angular measure, between the instant when the current of the arm falls to zero and the instant when the arm is required to withstand steeply rising off-state voltage
[df 72]

3.5.15

hold-off interval

the interval between the instant when the on-state current of a latching valve device has decreased to zero and the instant when the same valve device is subjected to reapplied off-state voltage

[IEV 551-16-45] [df 86]

3.6 Rated values

3.6.1

rated value

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

[IEV 151-16-08] [df 145]

NOTE 1 The quantity may describe electrical, thermal, mechanical, or environmental properties.

NOTE 2 In the case of semiconductor converters, rated values usually apply to a semiconductor valve device, a valve device assembly or a converter.

NOTE 3 The nominal value of a system (for example nominal voltage – IEC 601-01-21) is often equal to the corresponding rated value of the equipment, where both values are within the tolerance band of a quantity.

NOTE 4 Unlike many other electrical components, semiconductor devices may be irreparably damaged, even within a very short time of operation, in excess of maximum rated values.

NOTE 5 Variations of rated values should be specified. Certain of the values assigned are limiting values. These limiting values may be either maximum or minimum values.

3.6.2

rated frequency (for converters and their transformers)

f_N

specified frequency on the a.c. side of a converter [df 142]

3.6.3

rated voltage on the line side (for converters and their transformers)

U_{LN}

specified r.m.s. value of the voltage between conductors on the line side of the converter [df 146]

If the line side transformer winding is provided with taps, the rated value of the voltage of the line side shall refer to a specified tap, which is the principal tap.

3.6.4

rated voltage on the valve side of the transformer (for converters and their transformers)

U_{vN}

r.m.s. value of the no-load voltage between vectorially consecutive commutating phase terminals of the valve windings of a commutating group at rated voltage on the line side of the transformer [df 147]

NOTE If no transformer is provided, within the converter case of a directly connected converter, the rated voltage on the valve side is the rated voltage on the line side of the converter.

3.6.5

rated current on the line side (for converters and their transformers)

I_{LN}

maximum r.m.s. value of the current on the line side of the converter under rated conditions [df 137]

NOTE 1 It takes into account rated load and the most onerous combination of all other conditions within their specified ranges, for example line voltage and frequency deviations.

NOTE 2 For polyphase equipment, this value is computed from the rated direct current on the basis of rectangular shaped currents of the converter arms.

For single phase equipment, the basis of calculation should be specified.

NOTE 3 The rated line current includes currents supplied to the auxiliary circuits of the converter. It also takes into account the effect of d.c. current ripple and circulating current, if any.

3.6.6

rated current on the valve side (for converters and their transformers)

I_{vN}

maximum r.m.s. value of the current on the valve side of the converter under rated conditions [df 138]

NOTE 1 It takes into account rated load and the most onerous combination of all other conditions within their specified ranges, for example line voltage and frequency deviations.

NOTE 2 For polyphase equipment, this value is computed from the rated direct current on the basis of rectangular shaped currents of the converter arms.

NOTE 3 For single phase equipment, the basis of calculation should be specified.

3.6.7

rated apparent power on the line side (for converters and their transformers)

S_{LN}

total apparent power, at the line side terminals, at rated frequency, rated voltage on the line side and rated current on the line side [df 132]

3.6.8

rated direct voltage

U_{dN}

mean value, at rated d.c. current, specified by the manufacturer, of the direct voltage between the d.c. terminals of the assembly or equipment [df 141]

3.6.9

rated direct current

I_{dN}

mean value of the direct current specified by the manufacturer for specified load and service conditions [df 140]

NOTE It may be referred to as the 1,0 p.u. value, to which other values of I_d are compared.

3.6.10

rated continuous direct current (maximum value)

I_{dMN}

mean value of the direct current which an assembly or converter is capable of carrying continuously without damage, for specified service conditions [df 133]

NOTE 1 The rated continuous direct current of an assembly is very often essentially higher than the rated direct current of the corresponding complete equipment.

NOTE 2 The rated continuous direct current of an assembly may be limited by parts other than the semiconductor.

3.6.11

peak maximum direct current

I_{dSMN}

mean value of the direct current which an assembly or converter is capable of carrying without damage, for a specified short duration, starting from an undefined duration at the rated current and followed by a no-load period of short duration [df 113]

NOTE The value and duration of the peak current (peak maximum direct current I_{dSMN}), as well as the minimum time of no-load before again carrying any current, are associated parts of the definition of the peak maximum direct current.

3.6.12

intermittent peak maximum direct current

I_{dRMN}

mean value of the direct current which an assembly or converter is capable of carrying without damage, for a specified short duration and intermittently, starting from any value of current equal or below the rated current, and back to any value of current equal or below the rated current [df 98]

NOTE The value and duration of the peak current (intermittent peak maximum direct current I_{dRMN}), as well as the minimum time between applications of intermittent peak loads are associated parts of the definition of the intermittent peak maximum direct current.

3.6.13

rated current for peak load duty (short-time duty)

mean value of the direct current which an assembly or converter is capable of carrying for specified duration under specified service conditions, associated with a short-time peak maximum direct current [df 135]

NOTE The characteristics of the associated maximum direct current I_{dSMN} are parts of the definition of the short time duty.

3.6.14

rated current for continuous duty with superimposed peak loads

mean value of the direct current which an assembly or converter is capable of carrying for unlimited duration under specified service conditions and with intermittently applied intermittent peak maximum direct current of specified magnitudes and durations [df 134]

NOTE The characteristics of the associated intermittent peak maximum direct current (I_{dRMN}) are parts of the definition of the rated current for continuous duty with superimposed peak loads.

3.6.15

rated current for repetitive load duty (periodic duty)

rated direct current of the assembly or converter, specified as the r.m.s. value of the load current evaluated over the period of the load duty cycle [df 136]

NOTE The duty class should be specified as a sequence of current values together with their durations.

3.6.16

rated d.c. power

product of the rated direct voltage and the rated direct current [df 139]

NOTE The measured d.c. power may differ from the rated d.c. power as defined because of voltage and current ripple.

3.7 Specific voltages, currents and factors

3.7.1

ideal no-load direct voltage

U_{di}

the theoretical no-load direct voltage of an a.c./d.c. converter assuming no reduction by phase control, no threshold voltages of electronic valve devices, and no voltage rise at small loads

[IEV 551-17-15] [df 87]

3.7.2

controlled ideal no-load direct voltage

$U_{di\alpha}$

the theoretical no-load direct voltage of an a.c./d.c. converter corresponding to a specified trigger delay angle assuming no threshold voltages of electronic valve devices and no voltage rise at small loads

[IEV 551-17-16] [df 29]

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

the mean value of the direct voltage which would be obtained by extrapolating the direct voltage/current characteristic from the region of continuous flow of direct current to zero current at zero trigger delay angle, i.e. without phase control

[IEV 551-17-17] [df 31]

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

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

mean value of the direct voltage corresponding to a specified trigger delay angle which would be obtained by extrapolating the direct voltage/current characteristic from the region of continuous flow of direct current to zero current

[IEV 551-17-18] [df 28]

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

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

the actual mean direct voltage at zero direct current

[IEV 551-17-19] [df 148]

3.7.6**direct voltage regulation**

the difference between the conventional no-load direct voltage and the direct voltage at load at the same trigger delay angle excluding the correcting effect of stabilizing means if any

[IEV 551-17-21] [df 48] [df 154]

NOTE 1 If voltage stabilizing means are used, refer also to 3.7.9.

NOTE 2 The nature of the d.c. circuit (for example capacitors, back e.m.f. load) may affect the voltage change significantly. Where this is the case, special consideration may be required.

3.7.7**inherent direct voltage regulation**

the direct voltage regulation excluding the effect of the a.c. system impedance

[IEV 551-17-22] [df 95]

3.7.8**total direct voltage regulation**

the direct voltage regulation including the effect of the a.c. system impedance

[IEV 551-17-23] [df 180]

3.7.9**output voltage tolerance band**

specified range of steady-state values of a stabilized output voltage around its nominal or preset value [df 108]

3.7.10

transition current

the mean direct current of a converter connection when the direct current(s) of the commutating group(s) become(s) intermittent when decreasing the current

[IEV 551-17-20] [df 187]

3.7.11

conversion factor

the ratio of the fundamental output power or d.c. output power to the fundamental input power or d.c. input power

[IEV 551-17-10] [df 34]

NOTE 1 The fundamental power (IEV 551-17-08) is the active power determined by the fundamental components of voltage and current.

NOTE 2 For the purposes of this definition, the d.c. power is the product of the mean value of the voltage and mean value of the current.

3.7.12

power efficiency

ratio of the output power to the input power of the converter [df 120]

NOTE 1 In the conversion factor, the power of the a.c. components on the d.c. side is not taken into account. In the power efficiency, it is included in the d.c. power. Therefore, for a.c. to d.c. conversion, the conversion factor has a lower value. For a single phase, two-pulse (full wave) converter with resistive load, the theoretical maximum conversion factor is 0,81 p.u., where the maximum power efficiency is 1,0 p.u.

NOTE 2 The conversion factor may be correctly obtained only by measurement of the fundamental a.c. power and d.c. voltage and current. The power efficiency may be correctly obtained either by measurement of a.c. power and d.c. power or by calculation or measurement of internal losses.

NOTE 3 The active power (mean value of the power) on the a.c. side, and the mean value of the power the on the d.c. side are to be considered.

3.7.13

power factor

λ

under periodic conditions, ratio of the absolute value of the active power P to the apparent power S

$$\lambda = \frac{|P|}{S}$$

NOTE Under sinusoidal conditions, the power factor is the absolute value of the active factor.

[IEV 131-11-46] [df 121]

3.7.14

power factor of the fundamental wave

displacement factor

$\cos \varphi_1$

under periodic conditions, ratio of the active power of the fundamental components P_1 to the apparent power of the fundamental components S_1

$$\cos \varphi_1 = \frac{P_1}{S_1} \quad [df 49] [df 122]$$

NOTE IEC 131-11-48 defines the displacement angle as "under sinusoidal conditions, phase difference between the voltage applied to a linear two-terminal element or two-terminal circuit and the electric current in the element or circuit". A note is added "The cosine of the displacement angle is the active factor."

3.7.15**deformation factor** ν ratio of the total power factor λ to the displacement factor $\cos \varphi_1$

$$\nu = \frac{\lambda}{\cos \varphi_1} \quad [\text{df } 44]$$

NOTE Under sinusoidal voltage condition, the deformation factor is equal to the fundamental factor. See Note 2 of 3.10.14.

3.8 Cooling**3.8.1****cooling medium**

liquid (for example water) or gas (for example air) which removes the heat from the equipment [df 40]

3.8.2**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 [df 85]

3.8.3**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 [df 47]

3.8.4**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 [df 91]

3.8.5**natural cooling****convection**

method of circulating the cooling fluid (cooling medium or heat transfer agent) which uses the change of volumetric mass (density) with temperature [df 30] [df 103]

3.8.6**forced cooling**

method of circulating the cooling medium or heat transfer agent by means of blower(s), fan(s) or pump(s) [df 73]

3.8.7**mixed cooling**

method of circulating the cooling medium or heat transfer agent, which uses, alternatively, natural and forced circulation [df 102]

NOTE Mixed circulation may be used for light load/overload periods or in the case of an emergency.

3.8.8**equilibrium temperature**

steady-state temperature reached by a component of a converter under specified conditions of load and cooling [df 65]

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.

3.8.9

ambient air temperature

temperature of the air surrounding the power conversion equipment, 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

[IEV 441-11-13, modified] [df 1]

3.8.10

cooling medium temperature for air and gas cooling

average temperature measured outside the equipment at points 50 mm from the inlet to the equipment [df 41]

NOTE For the evaluation of the fraction of heat which is radiated, the ambient temperature is that defined under 3.8.9.

3.8.11

cooling medium temperature for liquid cooling

temperature measured in the liquid pipe 100 mm upstream from the liquid inlet [df 42]

3.8.12

temperature of heat transfer agent

heat transfer agent temperature measured at a point to be specified by the supplier [df 177]

3.9 Service conditions tolerances and electromagnetic compatibility

3.9.1

electromagnetic compatibility

EMC

the ability of an equipment or system to function satisfactorily in its electromagnetic environment without introducing intolerable electromagnetic disturbances to anything in that environment

[IEV 161-01-07] [df 54]

3.9.2

(electromagnetic) emission

the phenomenon by which electromagnetic energy emanates from a source

[IEV 161-01-08] [df 57] [df 63]

3.9.3

emission level of a converter

the level of a given electromagnetic disturbance emitted from a converter operated within specified conditions and measured in a specified way

[IEV 161-03-11, modified] [df 64]

3.9.4

electromagnetic disturbance

any electromagnetic phenomenon which may degrade the performance of a device, equipment or system, or adversely affect living or inert matter

[IEV 161-01-05] [df 55]

3.9.5

electromagnetic disturbance level

the level of an electromagnetic disturbance existing at a given location, which results from all contributing disturbance sources

[IEV 161-03-29] [df 56]

3.9.6

reference level of generated disturbance of a converter

assumed level of disturbance produced by a converter, when the actual operating conditions are not known and rated operating conditions are used to calculate or measure the disturbance level [df 152]

NOTE The level of disturbance generally depends on the supply source impedance which may not be considered as a characteristic quantity of the converter.

3.9.7

immunity to a disturbance

ability of a device, equipment or system to perform without degradation in the presence of an electromagnetic disturbance

[IEV 161-01-20] [df 89]

3.9.8

immunity level of a converter

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

[IEV 161-03-14, modified] [df 88]

3.9.9

relative short-circuit power

R_{sc}

ratio of the short-circuit power of the source to the rated apparent power on the line side of the converters [df 156]

NOTE 1 R_{sc} refers to a given point of the network, for specified operating conditions and specified network configuration.

NOTE 2 Since the first edition of IEC 60146-1-1, the reference has been changed from the “fundamental apparent power on the line side of the converters” to the “rated apparent power on the line side of the converters” in order to maintain consistency with definitions adopted in other IEC technical committees (TC77).

NOTE 3 Within the IEC 61000-3 series the short-circuit ratio is defined with the short-circuit power of the source at the PCC, instead of short-circuit power of the source at the IPC of use of the converter. The risk of confusion is clarified in Clause B.2 of this International Standard.

3.10 Harmonic distortion

For the purpose of harmonic definitions, the symbol Q is used to represent a quantity, which in any application is more dedicated (example U for voltage, I for current). In the other parts of this standard, Q is the symbol used for reactive power (see Table 2). Explanations supporting these definitions are given in Annex A.

3.10.1

PC, PCC, IPC

these definitions are given in IEC 61000-2-4 [df 112]

NOTE The definitions are :

- PC: point of coupling for either of next cases;
- PCC (point of common coupling on a public network): point on a public network, electrically nearest to a particular load, at which other loads are, or could be connected;

- IPC (in-plant point of coupling): point on a network inside a system or an installation, electrically nearest to a particular load, at which other loads are, or could be, connected.

3.10.2

fundamental frequency

frequency of the fundamental component

[IEV 551-20-03] [df 78]

3.10.3

fundamental component (of a Fourier series)

fundamental

sinusoidal component of the Fourier series of a periodic quantity having the frequency of the quantity itself

NOTE For practical analysis, an approximation of the periodicity may be necessary.

[IEV 551-20-01] [df 76] [df 77]

3.10.4

reference fundamental component

sinusoidal component of the Fourier series of a periodic quantity having the frequency to which all other components are referred and which is not the fundamental component

NOTE 1 If it is clearly stated in a context that the reference fundamental component is used, the word "reference" may be omitted, but this standard does not recommend this practice.

NOTE 2 For practical analysis, an approximation of the periodicity may be necessary.

NOTE 3 In power electronics, often the component having the frequency of the a.c. supply system or of the converter output quantities is chosen as reference fundamental component.

[IEV 551-20-02] [df 150]

3.10.5

reference fundamental frequency

frequency of the reference fundamental component

NOTE If it is clearly stated in a context that the reference fundamental component is used, the word "reference" may be omitted, but this International Standard does not recommend this practice.

[IEV 551-20-04] [df 151]

3.10.6

harmonic frequency

frequency which is an integer multiple greater than one of the fundamental frequency or of the reference fundamental frequency

[IEV 551-20-05] [df 84]

NOTE The ratio of the harmonic frequency to the fundamental frequency, or to the reference fundamental frequency, is named harmonic order (recommended notation " h ").

3.10.7

harmonic component

sinusoidal component of a periodic quantity having a harmonic frequency

[IEV 551-20-07] [df 82]

NOTE 1 For brevity, such a component may be referred to simply as a harmonic.

NOTE 2 For practical analysis, an approximation of the periodicity may be necessary.

NOTE 3 The value is normally expressed as an r.m.s. value.

3.10.8**interharmonic frequency**

frequency which is a non-integer multiple of the reference fundamental frequency

[IEV 551-20-06] [df 97]

NOTE 1 By extension of the harmonic order, the interharmonic order is the ratio of interharmonic frequency to the reference fundamental frequency, this ratio is not an integer (recommended notation " m ").

NOTE 2 In the case where " $m < 1$ " the term of sub-harmonic frequency may also be used (see IEV 551-20-10).

3.10.9**interharmonic component**

sinusoidal component of a periodic quantity having an interharmonic frequency

[IEV 551-20-08] [df 96]

NOTE 1 For brevity, such a component may be referred to simply as an interharmonic.

NOTE 2 For practical analysis, an approximation of the periodicity may be necessary.

NOTE 3 The value is normally expressed as an r.m.s. value.

NOTE 4 As stated in IEC 61000-4-7, the time window has a width of 10 fundamental periods (50 Hz systems) or 12 fundamental periods (60 Hz systems), i.e. approximately 200 ms. The difference in frequency between two consecutive interharmonic components is, therefore, approximately 5 Hz. In the case of other fundamental frequencies, the time window should be selected between 6 fundamental periods (approximately 1 000 ms at 6 Hz) and 18 fundamental periods (approximately 100 ms at 180 Hz).

3.10.10**harmonic content**

sum of the harmonic components of a periodic quantity

[IEV 551-20-12] [df 83]

NOTE 1 The harmonic content is a time function.

NOTE 2 For practical analysis, an approximation of the periodicity may be necessary.

NOTE 3 The harmonic content depends on the choice of the fundamental component. If it is not clear from the context which one is used, an indication should be given.

NOTE 4 The r.m.s. value of the distortion content is

$$HC = \sqrt{\sum_{h=2}^{h=H} Q_h^2}$$

where

Q represents either current or voltage;

h is the harmonic order;

H is 50 for the purpose of this International Standard. It has been 40 for a long time in standards related to power electronics, and should be moved to 50 in line with IEC 61000-2-2 and IEC 61000-2-4.

3.10.11**total harmonic ratio****total harmonic distortion****THD**

ratio of the r.m.s. value of the harmonic content to the r.m.s. value of the fundamental component or the reference fundamental component of an alternating quantity

[IEV 551-20-13] [df 184] [df 185]

NOTE 1 It is preferable to change the term to "total harmonic ratio" for consistency with the naming rule.

NOTE 2 The harmonic content depends on the choice of the fundamental component. If it is not clear from the context which one is used, an indication should be given.

NOTE 3 The total harmonic ratio may be restricted to a certain harmonic order (recommended notation " H "), 50 for the purpose of this International Standard.

$$THD = \sqrt{\sum_{h=2}^{h=H} \left(\frac{Q_h}{Q_1} \right)^2} = \frac{HC}{Q_1}$$

where, in addition to notations already given in 3.10.10, Q_1 is the r.m.s. value of the fundamental component.

3.10.12

total distortion content

quantity obtained by subtracting from an alternating quantity its fundamental component or its reference fundamental component

[IEV 551-20-11] [df 181]

NOTE 1 The total distortion content includes harmonic components and interharmonic components if any.

NOTE 2 The total distortion content depends on the choice of the fundamental component. If it is not clear from the context which one is subtracted, an indication should be given.

NOTE 3 The total distortion content is a time function.

NOTE 4 An alternating quantity (abbreviated as Q) is a periodic quantity with zero d.c. component.

NOTE 5 The r.m.s. value of the distortion content is

$$DC = \sqrt{Q^2 - Q_1^2}$$

where

notations come from 3.10.10 and 3.10.11. See also IEV 101-14-54 and IEV 551-20-06.

3.10.13

total distortion ratio

TDR

ratio of the r.m.s. value of the total distortion content to the r.m.s. value of the fundamental component or the reference fundamental component of an alternating quantity

[IEV 551-20-14] [df 183]

NOTE The total distortion ratio depends on the choice of the fundamental component. If it is not clear from the context which one is used an indication should be given.

$$TDR = \frac{DC}{Q_1} = \frac{\sqrt{Q^2 - Q_1^2}}{Q_1}$$

3.10.14

total distortion factor

TDF

ratio of the r.m.s. value of the total distortion content to the r.m.s. value of an alternating quantity

[IEV 551-20-16] [df 182]

NOTE 1 The total distortion factor depends on the choice of the fundamental component. If it is not clear from the context which one is used an indication should be given.

$$TDF = \frac{DC}{Q} = \frac{\sqrt{Q^2 - Q_1^2}}{Q}$$

NOTE 2 The ratio between TDF and TDR equals the ratio between the r.m.s. value of the fundamental component and the total r.m.s. value. It is the fundamental factor IEV 161-02-22:

$$FF = \frac{TDF}{TDR} = \frac{Q_1}{Q} \leq 1$$

3.10.15**individual harmonic ratio****IHR**

ratio of any harmonic component to the fundamental [df 92]

NOTE 1 In IEC 161-02-20 this term is named “ n^{th} harmonic ratio”. The term here has been chosen for consistency with 3.10.11, and the order index has been chosen as “ h ” instead of “ n ” which is frequently used elsewhere, for example for the natural integer list.

NOTE 2 The value of the individual harmonic ratio is $IHR = \frac{Q_h}{Q_1}$

3.10.16**partial weighted harmonic ratio****PWHR**

ratio of the r.m.s. value of a selected group of higher order harmonics, weighted with the harmonic order h , to the r.m.s. value of the fundamental

[IEC 61000-3-12, definition 3.2, modified] [df 111]

NOTE 1 The partial weighted harmonic ratio is employed in order to ensure that the effects of the higher order harmonic currents on the results are reduced sufficiently and individual limits need not be specified.

NOTE 2 In IEC 61000-3-12, this term is defined as “partial weighted harmonic distortion (PWHD)” and the orders of harmonics in the group are defined from 14 to 40.

$$PWHD = \sqrt{\sum_{h=14}^{h=40} h \cdot \left(\frac{Q_h}{Q_1} \right)^2}$$

In a draft IEC 61000-3-12 2nd edition, the term and definition have been changed to “partial weighted harmonic current (PWHC)”.

3.11 Definitions related to insulation co-ordination

The definitions of Clause 3 of IEC 60664-1 apply together with the following.

3.11.1**(electrical) circuit (of an equipment)**

current paths of components or assemblies, conductors or terminals connected to each other by electrically conductive connections and insulated from the remaining part of the equipment [df 16] [df 53]

NOTE If parts of the same equipment are conductively connected only via a protective equipotential bonding system, then they are regarded as separate circuits.

3.11.2**part of a circuit**

section of a circuit having its own rated insulation voltage [df 110]

3.11.3**equipotentiality**

state when conductive parts are at a substantially equal electric potential

[IEV 195-01-09] [df 69]

3.11.4**equipotential bonding**

provision of electric connections between conductive parts, intended to achieve equipotentiality

[IEV 195-01-10] [df 67]

3.11.5
equipotential bonding system
EBS

interconnection of conductive parts providing equipotential bonding between those parts

[IEV 195-02-22] [df 68]

3.11.6
protective equipotential bonding system
PEBS

equipotential bonding system providing protective equipotential bonding

[IEV 195-02-23] [df 126]

3.11.7
working voltage

voltage, at rated supply conditions (without tolerances) and worst case operating conditions, which occurs by design in a circuit or across insulation [df 205]

NOTE The working voltage can be d.c. or a.c.. Both the r.m.s. and recurring peak values are used.

3.11.8
decisive voltage class

calculated voltage range used to determine the classification of protective measures against electric shock [df 43]

3.11.9
rated insulation voltage

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

[IEC 60664-1:2007, definition 3.9.1, modified] [df 144]

NOTE 1 The rated insulation voltage is higher than or equal to the rated voltage of the equipment, or to the rated voltage of the concerned part of the equipment, which is primarily related to functional performance.

NOTE 2 The rated insulation voltage refers to the insulation between electric circuits, between live parts and exposed conductive parts and within an electric circuit.

NOTE 3 For clearances and solid insulation, the peak value of the voltage occurring across the insulation or clearance is the determining value for the rated insulation voltage. For creepage distances, the r.m.s. value is the determining value.

NOTE 4 The rated insulation voltage depends either on the result of the insulation co-ordination investigation for high voltage systems, or on the expectable temporary over-voltage, the over-voltage category, and the r.m.s. value of the working voltage, whichever is the higher.

3.11.10
rated impulse voltage

amplitude of the impulse used as reference for the definition and the tests of insulation characteristics of a circuit [df 143]

NOTE The rated impulse voltage depends either on the result of the insulation co-ordination investigation for high voltage systems, or on the expectable impulse voltages from any origin related to the over-voltage category and on the peak value of the working voltage, whichever is the higher.

3.11.11
over-voltage category

concept used to classify equipment directly energized from the mains supply network [df 109]

NOTE IEC 60664-1 considers four categories of equipment.

- Category I: connected to a distribution circuit protected against a defined level of transient over-voltages
- Category II: not permanently connected within the installation (any IPC)

- Category III: permanently connected within the installation (any IPC)
- Category IV: permanently connected at the origin of the installation (nearest to the PCC)

3.11.12

basic insulation

insulation applied to live parts to provide basic protection against electric shock

[IEV 195-06-06, modified] [df 9]

3.11.13

supplementary insulation

independent insulation applied in addition to basic insulation in order to provide basic protection against electric shock in the event of a failure of basic insulation

[IEC 60664-1:2007, definition 3.17.3, modified] [df 172]

3.11.14

double insulation

insulation comprising both basic insulation and supplementary insulation

[IEV 826-12-16] [df 51]

NOTE Basic and supplementary insulation are separate, each designed for basic protection against electric shock.

3.11.15

reinforced insulation

single insulation system, applied to live parts, which provides a degree of protection against electric shock equivalent to double insulation under the conditions specified by the relevant IEC standard

[IEC 60664-1:2007, definition 3.17.5, modified] [df 155]

3.11.16

protective separation

separation between circuits by means of basic and supplementary protection (basic insulation plus supplementary insulation or protective screening) or by an equivalent protective provision (for example reinforced insulation) [df 128]

3.11.17

protective screening

separation of circuits from hazardous live parts by means of an interposed conductive screen connected to the means of connection to an external protective earthing conductor [df 127]

3.11.18

ELV (extra low voltage) circuit

circuit the voltage of which does not exceed 50 V a.c. and 120 V d.c. or the value specified in the relevant product standard

[IEV 826-12-30, modified] [df 62]

3.11.19

PELV (protective extra low voltage) circuit

electrical circuit with the following characteristics:

- the voltage does not exceed ELV; and
- protective separation from circuits other than PELV or SELV; and
- provisions for earthing of the PELV circuit, or its accessible conductive parts, or both

[IEV 826-12-32, modified] [df 114]

3.11.20**SELV (safety extra low voltage) circuit**

electrical circuit with the following characteristics:

- the voltage does not exceed ELV; and
- protective separation from circuits other than SELV or PELV; and
- no provisions for earthing of the SELV circuit, or its accessible conductive parts; and
- basic insulation of the SELV circuit from earth and from PELV circuits

[IEV 826-12-31, modified] [df 162]

4 Operation of semiconductor power equipment and valve devices**4.1 Classification****4.1.1 Semiconductor converter**

Semiconductor converters can be classified as below.

a) Type of conversion and switching

- 1) a.c. to d.c. conversion (rectifier, identified as (power) rectification in IEV 551-11-06);
- 2) d.c. to a.c. conversion (inverter, identified as (power) inversion in IEV 551-11-07);
- 3) d.c. to d.c. conversion (direct or indirect d.c. converter, identified as d.c. conversion in IEV 551-11-09);
- 4) a.c. to a.c. conversion (direct or indirect a.c. converter, identified as a.c. conversion in IEV 551-11-08);
- 5) switching (periodic or non-periodic).

NOTE 1 Other similar terms are used, e.g. “d.c./d.c. conversion” for d.c. conversion or “a.c./a.c. converter” for a.c. converter.

b) Purpose of conversion

In a power system, the converter changes or controls one or more characteristics such as:

- 1) frequency (including zero frequency);
- 2) voltage level or current level;
- 3) number of phases, phase angle;
- 4) flow of active power;
- 5) flow of reactive power, waveform;
- 6) quality of load power.

c) Type of valve turn-off

A semiconductor valve device can be turned off either by commutation implying that the current of the arm is transferred to another arm or by quenching if the current of the arm falls to zero before another arm is turned on. See Figure 1.

NOTE 2 Both types of turn-off may occur in normal operation of converters depending on the load. The classification is based on normal operation, full load current.

NOTE 3 The types of turn-off can be characterized by the source of the turn-off voltage:

- a) external commutation (or quenching);
 - line commutation (or quenching);
 - load commutation (or quenching);

- b) self commutation (or quenching see also 4.1.2, NOTE 2)
 - valve device commutation (or quenching);
 - capacitor commutation (or quenching).

d) Type of d.c. system

Converters connected to at least one d.c. system can usually be wholly or partly classified as current source (current stiff converter) or voltage source (voltage stiff converter) depending on whether the current or the voltage on the d.c. side is smoothed, in fact of the predominant internal impedance. A thyristor converter is generally a current stiff converter.

For a converter connecting an a.c. system to a d.c. system, rectification implies a power flow from the a.c. to the d.c. side and inversion a power flow in the opposite direction.

For each mode of operation, in a current source system, the current is unidirectional, but the voltage polarity depends on the direction of the power flow. In a voltage source system, the converse applies.

4.1.2 Semiconductor valve devices

Valve devices used in the power circuits of semiconductor converters can be divided into the following categories:

- a) non controllable valve device with a conductive forward and a blocking reverse characteristic (rectifier diode);
- b) valve device with a controllable forward switch-on (thyristor). Common name of this type of valve device is on-switched valve device;
- c) valve device with a controllable forward switch-on and forward switch-off (turn-off thyristor (GTO), power transistor). Common name of this type of valve device is switched valve device;
- d) valve device which is controllable in both directions (for example triac).

NOTE 1 A valve device is controllable if it can be switched from the blocking to the conducting state by means of a control signal.

NOTE 2 Power transistors and turn-off thyristors can be turned off by a signal applied to or taken off the gate. Thyristors and triacs do not have this property and must be turned off by main circuit voltages and currents.

NOTE 3 Depending on the type of semiconductor valve devices, they can have a conductive or a blocking reverse characteristic. Some of them can have an “only few volts” blocking reverse characteristic.

4.2 Principal letter symbols and subscripts

The principal letter symbols and subscripts are given in Table 1 and Table 2.

Table 1 – List of major subscripts

Subscript	Signification
0 (zero)	at no load
c	commutating
d	direct current or voltage
f	dependent of frequency
h	pertaining to harmonic component of order h
i	ideal
L	referring to line or source
M	maximum
m	pertaining to interharmonic component of order m
min	minimum
N	rated value or at rated load
p	inherent
R	repetitive (over-voltage or peak current)
r	resistive
S	non-repetitive (over-voltage or peak current)
SC	short-circuit
v	valve side
x	inductive
α	controlled value (by delay angle)

Table 2 – Symbols

Symbol	Quantity
d_{xtN}	inductive direct voltage regulation due to converter transformer referred to U_{di}
e_{xN}	inductive component of the relative short-circuit voltage of the converter transformer corresponding to I_{LN}
f_N	rated frequency
g	number of sets of commutating groups between which I_{dN} is divided
h	order of harmonic
I_d	direct current (any defined value)
I_{dN}	rated direct current
I_{dMN}	rated continuous direct current (maximum value)
I_{dRMN}	intermittent peak maximum direct current
I_{dSMN}	peak maximum direct current
I_L	r.m.s. current on line side (of converter or transformer if included)
I_{LN}	rated value of I_L
I_{1LN}	r.m.s. value of the fundamental component of I_{LN}

Table 2 (continued)

Symbol	Quantity
I_{hLN}	r.m.s. value of harmonic order h of I_{LN}
I_{VN}	rated value of current on valve side of transformer
p	pulse number (see note)
P	active power
P_{LN}	active power on line side at rated load
q	commutation number
Q_{1LN}	reactive power on line side at rated load
R_{SC}	relative short-circuit power
s	number of series connected commutating groups
S_{com}	short-circuit power calculated at the a.c. terminals of the commutating arms
S_{SC}	short-circuit power of the supply source
S_{Cmin}	minimum short-circuit power of the supply source
S_{LN}	rated apparent power on line side
S_{1LN}	value of S_{LN} based on I_{1LN}
S_{tN}	transformer rated apparent power
U_d	direct voltage (any defined value)
U_{d0}	conventional no load direct voltage
$U_{d0\alpha}$	value of U_{d0} with trigger delay angle α
U_{d00}	real no-load direct voltage
U_{di}	ideal no-load direct voltage
$U_{di\alpha}$	controlled ideal no-load direct voltage
U_{dN}	rated direct voltage
U_{dxN}	total inductive direct voltage regulation at rated direct current
U_{hL}	r.m.s. value of harmonic order h of U_L
U_{iM}	ideal crest no-load voltage, appearing between the end terminals of an arm neglecting internal and external voltage surge and voltage drops in valves, at no load. The ratio remains the same at light load current close to the transition current
U_L	line-to-line voltage on line side of converter or transformer, if any
U_{LN}	rated value of U_L
U_{LRM}	maximum instantaneous value of U_L including repetitive over-voltage but excluding non repetitive over-voltages
U_{LSM}	maximum instantaneous value of U_L including non repetitive over-voltages
U_{LWM}	maximum instantaneous value of U_L excluding transient over-voltages
U_M	maximum of the sinusoidal waveform of the voltage (see 7.2.3.1)
U_{v0}	no-load line-to-line voltage on the line side of the converter or on the valve side of the transformer, if any
U_{vN}	rated voltage on the valve side of the transformer
X_{tN}	inductive voltage drop of the transformer in per unit

Table 2 (*continued*)

Symbol	Quantity
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
μ	angle of overlap (commutation angle) NOTE The overlap angle is noted μ in this 4 th edition of IEC 60146-1-1. It was noted μ in the previous editions, which is still the case for edition 3 of IEC/TR 60146-1-2, the application guide. Progress in common printing facilities allow to confirm the current practice μ .
ν	deformation factor
φ_1	displacement angle of the fundamental component of I_L
NOTE The pulse number p includes the number of phases.	

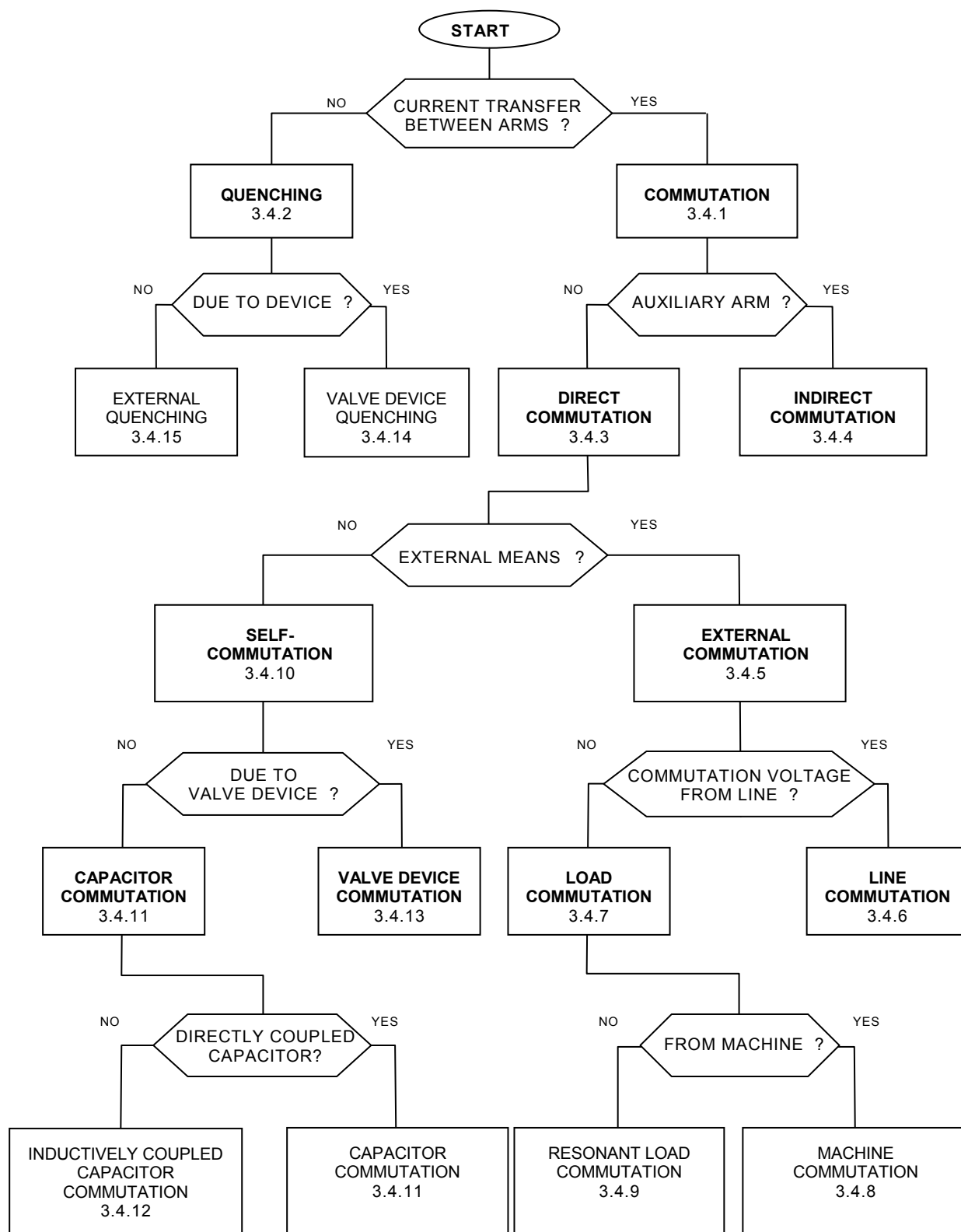
4.3 Basic operation of semiconductor converters

4.3.1 Commutation

Power electronic converters are semiconductor converters which, by means of the commutation or the quenching of the semiconductor valve devices, convert amplitude and/or frequency of the voltage or of the current from one side to the other side of the converter. The commutation or quenching is the basis of the function and the operation of a semiconductor converter. The general performance is moreover defined by the converter connections of the semiconductor valve devices (circuit topology) and their control.

The different types of commutations are defined in 3.4 and the characteristics of commutation in 3.5. The definition differentiates between commutation which is a transfer of current from an arm to another, and quenching which is the termination of the current within an arm.

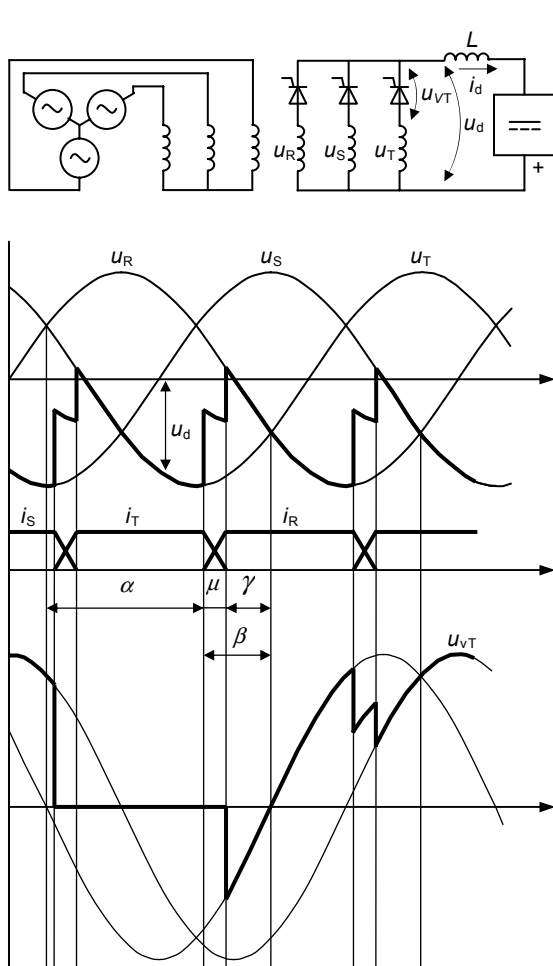
Figure 1 gives an overview of the different types of commutations.



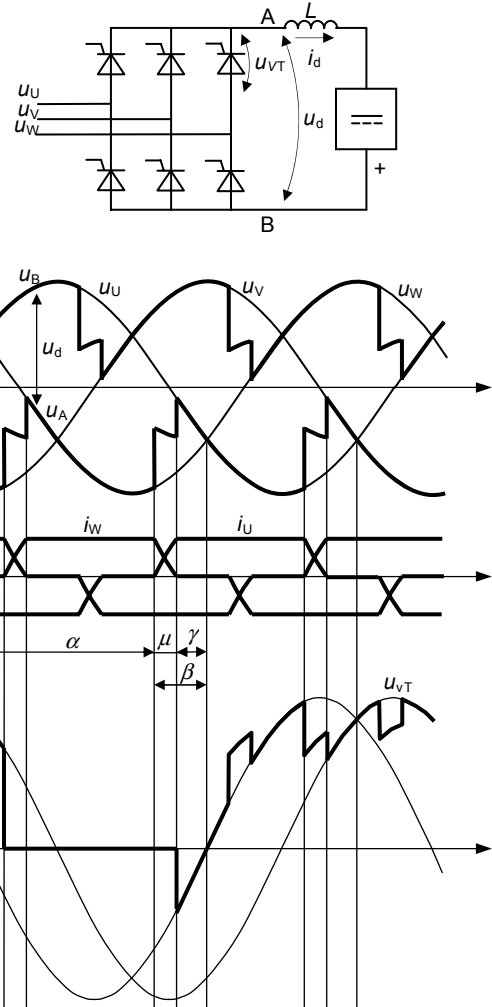
IEC 1144/09

Figure 1 – Types of commutation

The commutation is characterized by the waveforms of voltage and current and by angles, see 3.5.4, 3.5.11, 3.5.12, 3.5.14 and following. Figure 2 illustrates these angles with a simple case of commutating voltages from line. The top trace shows the rectified voltage and the bottom trace shows an anode to cathode voltage.



IEC 1145/09



IEC 1146/09

Figure 2a – Three phase star connection converter

Figure 2b – Three phase bridge converter

Figure 2 – Illustration of angles

4.3.2 Basic calculation factors for line commutated converters

4.3.2.1 Voltage

The ideal no-load direct voltage U_{di} is obtained from the voltage between two commutating phases U_{v0} and the pulse number p by the formula:

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

The controlled ideal no-load direct voltage $U_{di\alpha}$ is calculated for different cases, first for uniform connections (see 3.2.13, example with thyristors), and for non-uniform connections (see 3.2.14, example half with thyristors and half with diodes).

a) Uniform connection (fully controllable)

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:

for

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

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 connection (half controllable)

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

4.3.2.2 Voltage characteristics and transition current

Below the value of the transition current (mean value), and during the period where the current is zero (instantaneous value), the d.c. voltage only depends on the d.c. circuit and no longer depends on the line side voltage.

At the transition current value, the voltage/current characteristic bends as is shown in Figure 3. Transition current can be obtained, for example in the case of back e.m.f. load because the inductance of the d.c. circuit can not maintain direct current over the entire period or in case of interphase transformer connection, because the direct current decreases below the critical value where the interphase transformer becomes ineffective.

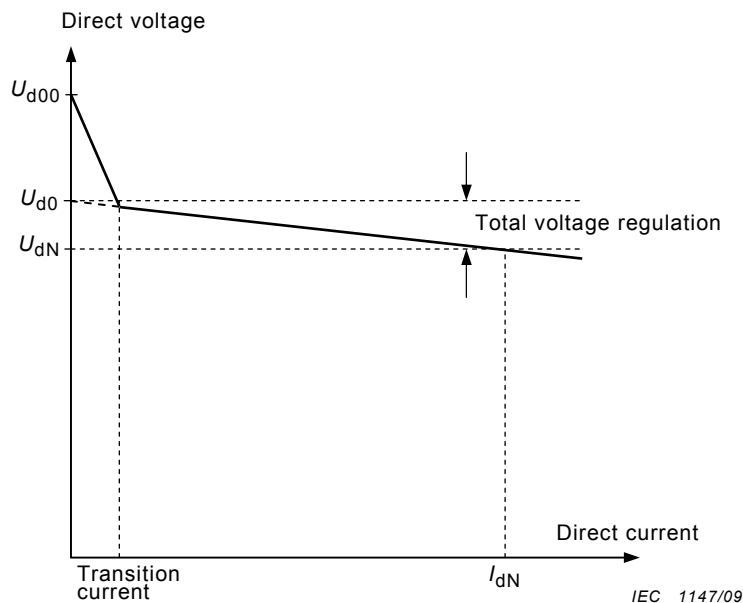


Figure 3 – Voltage regulation

4.3.3 Disturbances and fault conditions

4.3.3.1 Level of immunity of a converter

When a disturbance from any origin does not exceed the immunity level specified (see for example Table 7, Table 8 and Table 9), the corresponding performance shall be maintained: no loss of performance, no tripping and no damage. Table 3 defines the levels.

Table 3 – Performance criteria

Immunity level	Symbol	Performance criteria
Functional	F	No loss of performance
Tripping	T	No interruption of service due to protective devices
Damage	D	No permanent damage (fuses excepted)

The functional immunity level (F) of a converter is a combination of all the limiting levels of the various kinds of electromagnetic disturbance level which said converter can withstand without loss of performance.

The tripping immunity level (T) of a converter is a combination of all the limiting levels of the various kinds of electromagnetic disturbance level which said converter can withstand without interruption of service due to protective devices.

The tripping immunity level can be further divided into two sub-levels:

- tripping with automatic reset when the disturbance is over;
- tripping without automatic reset (requiring outside intervention for restarting, manual resetting of a circuit-breaker, changing fuse, etc.).

NOTE Automatic resumption of service should consider safety aspects according to the application.

The damage immunity level (D) of a converter is a combination of all the limiting levels of the various kinds of electromagnetic disturbance level which said converter can withstand without sustaining permanent damage.

4.3.3.2 Disturbances and compatibility

The electromagnetic compatibility (EMC) in general is the object of the IEC 61000 series, and in addition dedicated requirements for some semiconductor converters are stated in product standards:

- IEC 61204-3 for power supply units (PSU);
- IEC 61800-3 for power drive systems (PDS);
- IEC 62040-2 for uninterruptible power systems (UPS);
- IEC 62310-2 for static transfer systems (STS).

NOTE 1 This International Standard is not intended to define EMC requirements. It covers all phenomena and therefore introduces references to dedicated standards which are applicable according to their scope.

Conducted phenomena need to distinguish the system borne low frequency disturbances, in other words disturbances which may exist previous to the coupling of the converter to the electrical system, and the converter generated disturbances, in other words disturbances generated by the converter itself.

a) System borne disturbances

Disturbances attributable to a number of causes, such as in the case of varying loads on the distribution system, switching transients, changes of configuration in the supply network, for which only statistical values can be specified.

NOTE 2 Examples of such disturbances are:

- overvoltages, switching transients, lightning strokes;
- voltage changes due to motor starting, capacitor switching;
- faults and fault clearing: single phase-to-earth, phase-to-phase;
- quasi-permanent voltage unbalance, to be specified in terms of negative to positive sequence ratio;
- frequency variation and phase displacement;
- ripple-control signals;
- harmonic and inter-harmonic components of voltage and current.

b) Converter generated disturbances

Disturbances due to the non-linearity of the converter are generated by the operation of the converter.

NOTE 3 Examples of such disturbances are:

- harmonic currents, in terms of order, magnitude and phase relationship, for specified operating conditions, taking into account the average, the "most likely" value and the maximum, occasional value for short durations (for example 1 min);
- commutation notches, to be specified in terms of width, depth, area;
- commutation repetitive transients, to be specified as short impulses in terms of energy, crest value, rate of rise, etc.;
- non-repetitive transients which may be due to transformer inrush current, internal or external fault clearing, etc.;
- interharmonic components (for example frequency changers);
- voltage dips and swells, to be specified as the difference of r.m.s. value between consecutive steady-states.

NOTE 4 The listed disturbances may be produced by the converter under consideration or by other converters and the actual level may change with the network impedance, at the point at which they are considered.

NOTE 5 For more information, refer to IEC/TR 60146-1-2. For example, when many converters with large pulse numbers and phase-shift transformers are used, the harmonic problem may be alleviated to a point, where the voltage changes become the main concern.

5 Service conditions

5.1 Code of identification for cooling method

The cooling method is identified by letters symbols. They are arranged in a code form. The code consists of two letters for direct cooling, and of four letters for indirect cooling.

a) Direct cooling

For direct cooling, the first letter indicates the cooling medium (see 3.8.1 and refer to Table 4), the second the circulation method (refer to Table 5).

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

b) Indirect cooling

For indirect cooling, the same rule applies first to the two first letters corresponding to the heat transfer agent (see 3.8.2) and secondly to the two last letters corresponding to the cooling medium (see 3.8.1).

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

c) 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 temperature.

Example for direct cooling: AN/AF, converter with natural direct air cooling and possibilities for forced direct air cooling.

Example for indirect cooling: 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.

Table 4 – Cooling medium or heat transfer agent

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-state cooling	P

Table 5 – Method of circulation

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

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

5.2 Environmental conditions

5.2.1 Ambient air circulation

Indoor type 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 assemblies mounted in a cubicle or cabinet, the ambient for the assemblies (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. Therefore, for the cubicle or cabinet mounted assemblies, a higher ambient temperature has to be specified and the clearance distances shall comply with the suppliers specification.

5.2.2 Normal service conditions – Temperatures

The following limits shall apply unless otherwise specified.

a) Storage and transport temperatures

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

These limits apply with cooling liquid removed.

b) Operation including off-load periods, indoor equipment

Temperature conditions are defined in Table 6, according to different cases.

Table 6 – Limit of temperature of the cooling medium for indoor equipment

Conditions	Cooling medium	Minimum °C	Maximum °C
Temporary extreme temperatures of the cooling medium	Air	0	40
	Water	+ 5	30
	Oil	– 5	30
Daily average	Air		30
Yearly average	Air		25

5.2.3 Other normal service conditions

Operation including off-load periods are intended under the following limits.

- a) Relative humidity of the ambient air for indoor equipment

Minimum: 15 %.

Maximum: standard equipment is designed for the case where no condensation can occur. The case of condensation shall be treated as unusual service conditions (see 5.2.4).

- b) Dust and solid particle content for indoor equipment

Standard equipment is designed for clean air (IEC 60664-1, pollution degree 1). Any other conditions are to be specified by the purchaser as unusual service conditions (see 5.2.4).

- c) Outdoor equipment

Operation including off-load periods for outdoor equipment shall be specified by the purchaser.

5.2.4 Unusual service conditions

The service conditions are assumed to be those listed under normal service conditions. The following list is an example of unusual service conditions that shall be subject to special agreement between purchaser and supplier:

- a) unusual mechanical stresses, for example shocks and vibrations;
- b) cooling water which may cause corrosion or obstruction, for example sea water or hard water;
- c) foreign particles in the ambient air, for example abnormal dirt or dust;
- d) salt air (for example proximity to the sea), high humidity, dripping water or corrosive gases;
- e) exposure to steam or oil vapour;
- f) exposure to explosive mixtures of dust or gases;
- g) exposure to radioactive radiation;
- h) high values of relative humidity and temperature similar to those associated with sub-tropical or tropical climatic conditions;
- i) fluctuations of temperature exceeding 5 K/h and relative humidity changes exceeding 0,05 p.u./h;
- j) altitude more than 1 000 m (see IEC/TR 60146-1-2);
- k) operation at ambient temperatures below +5 °C with water cooling;
- l) operation at ambient temperatures below –5 °C with oil cooling;
- m) other unusual service conditions not covered by this list or service conditions exceeding the specified limits of normal service conditions.

5.3 Characteristics of the load

The supplier shall state the type of load for which the converter is designed and for which its rating is valid:

- resistive (W);
- highly inductive (L);
- motor (M);
- battery charging (B);
- capacitive (C);
- regenerative (G).

Conversely, the purchaser shall specify the type and characteristics of the load in the prospective application.

Examples of loads which require to be specified in detail include:

- inductive load requiring voltage reversing and/or over-voltage protection, such as d.c. motor fields, electromagnets, inductors with high X/R ratio;
- energy-storing load such as storage batteries, capacitor banks, electrochemical process cells, inverters;
- hoists, unwinders and other regenerative loads which require means of handling the regenerated energy and protection against mains failure;
- highly variable impedance loads with high rate of current rise.

5.4 Service condition tolerances

5.4.1 Steady state and short time conditions

Unless otherwise specified, the converter shall be designed to conform to the requirements for immunity to conducted disturbances specified by the following determinations.

Disturbance levels corresponding to the immunity levels include the disturbance effects of the converter; but if the converter improves the disturbance values, the disturbance levels shall exclude the corresponding effects of the converter.

For different a.c. or d.c. connections, different immunity classes or special immunity levels may be specified. If no immunity class is specified, class B shall be assumed to apply.

For connected stiff voltages, the electric service conditions refer to IEC 61000-2-4. IEC 61000-2-2 is also taken into consideration.

For guidance on disturbance effects caused by line-commutated converters, see also IEC/TR 60146-1-2.

The immunity classes A, B, C defined in this clause correspond to the practice established by the former editions of this standard, before the publication of the IEC 61000-2 series setting up the compatibility levels.

NOTE 1 While IEC 60146 establishes immunity classes from the highest immunity to the lowest (A, B, C decreasing immunity), IEC 61000-2-4 sets classes of compatibility levels from the lowest values to the highest (classes 1, 2 and 3 with increasing values of compatibility levels).

NOTE 2 For these low frequency phenomena, the margin between the compatibility levels and the immunity levels may have significant consequences on the design. This is the responsibility of the manufacturer to define their margin according to the tolerances resulting from their design and according to their manufacturing process. Therefore, there is no margin planned in the standard requirements.

- Immunity class A** The immunity levels of class A apply to the compatibility levels of class 3 of IEC 61000-2-4 excluding dips and short time interruptions (which are not admissible at most converters) and additional immunity levels defined in Table 7, Table 8 and Table 9.
- Immunity class B** The immunity levels of class B apply to the compatibility levels of class 2 of IEC 61000-2-4 excluding dips and short time interruptions (which are not admissible at most converters) and additional immunity levels defined in Table 7, Table 8 and Table 9.
- Immunity class C** The immunity levels of class C apply to the compatibility levels of class 1 of IEC 61000-2-4 excluding short time dips (which are not admissible at most converters) and additional immunity levels defined in Table 7, Table 8 and Table 9.

The defined immunity levels are summarized in Table 7 to frequency and voltage amplitude, Table 8 to voltage unbalance and Table 9 to voltage waveform. Compatibility levels defined in IEC 61000-2-4 are also shown in *Italics* for reference.

Deviations from the defined immunity levels and additional immunity levels should be specified for the individual equipment and application.

**Table 7 – Immunity levels to frequency and voltage amplitude
for stiff a.c. voltage connections**

Disturbance	Applicable values of IEC 61000-2-4	Immunity class			Performance criteria ^a
		A	B	C	
Frequency tolerance					
range (%)		±2	B2 = ±2 ^b	±1	F
rate of change (%/s)	–	±2	B1 = ±1 ±1	±1	F
Voltage amplitude tolerance					
a) steady state $\Delta U/U_N$ (%)		+10 / –10	+10 / –10	+10 / –5	F
<i>Compatibility levels IEC 61000-2-4 ^c</i>	<i>Table 1</i>	<i>+10 / –15</i>	<i>±10</i>	<i>±8</i>	
b) short time (0,5 to 30 cycles) up to rated values					
– rectifier operation only (%)	–	±15	+15 / –10	+15 / –10	T
– inverter operation (%)	–	±15	+15 / –10	+15 / –7,5	T
NOTE 1 A decrease in frequency is assumed not to coincide with an increase in line voltage and vice versa.					
NOTE 2 For overload conditions other limits are to be specified separately.					
NOTE 3 Within certain limits to be specified, the possible consequence T may be replaced by F, in particular if, by a requirement to be inserted in the specification, the purchaser requires special control arrangements.					
NOTE 4 Short-time a.c. voltage variations are not expected to occur more frequently than once every 2 h.					
^a For definition of the code, refer to Table 3.					
^b The compatibility level for industrial networks class 2, according to IEC 61000-2-4, is ±1 %					
^c <i>Electromagnetic environment classes 3, 2, 1.</i>					

Table 8 – Immunity levels to voltage unbalance for stiff a.c. voltage connections

Disturbance	Applicable values of IEC 61000-2-4	Immunity class			Performance criteria ^a
		A	B	C	
Voltage unbalance U_{neg}/U_{pos}					
a) steady state (%) <i>Compatibility levels IEC 61000-2-4 ^b (over any 10 min)</i>	<i>Table 1</i>	5 3	5 2	2 2	F
b) short time					
– rectifier operation only (%)	–	8	5	3	T
– inverter operation (%)	–	5	5	2	T
NOTE 1 The higher values specified for short time may lead to, for example, excessive ripple on the d.c. side and uncharacteristic harmonics on the a.c. side.					
NOTE 2 Short-time voltage unbalances are not expected to occur more frequently than once every 2 h.					
^a For definition of the code, refer to Table 3.					
^b <i>Electromagnetic environment classes 3, 2, 1.</i>					

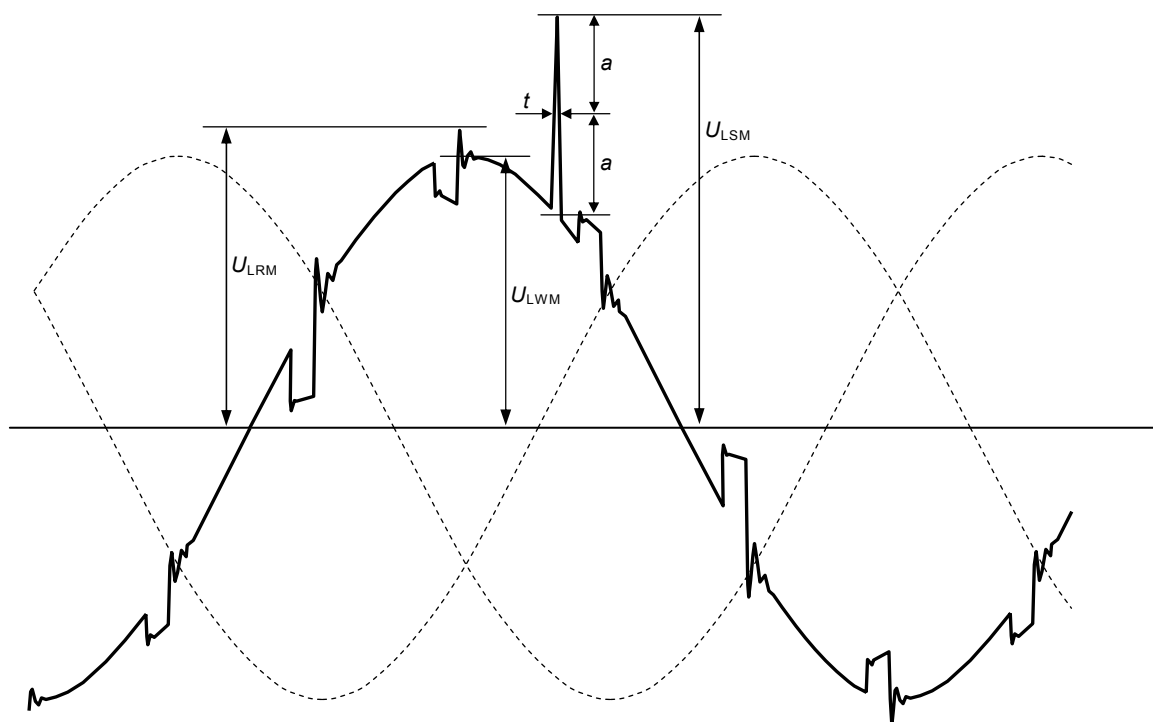
Table 9 – Immunity levels to voltage waveform for stiff a.c. voltage connections

Disturbance	Applicable values of IEC 61000-2-4	Immunity class			Performance criteria ^a
		A	B	C	
Voltage waveform					
a) total harmonic distortion <i>THD</i> (%) <i>Compatibility levels IEC 61000-2-4 ^b</i>	<i>Table 2</i>	25 10	10 8	5 5	F
b) individual harmonic distortion					
steady-state odd (%)		8	6	3	F
even (%)		2	2	1	F
<i>Compatibility levels IEC 61000-2-4 ^b</i>	<i>Table 2</i>	8	6	3	
– order 5 (%)					
– other odd orders					
– excluding multiples of 3	<i>Table 3</i>	See IEC 61000-2-4	See IEC 61000-2-4	See IEC 61000-2-4	
– multiples of 3	<i>Table 4</i>				
– even orders	<i>Table 5</i>				
c) commutation notches (steady state)					
– amplitude (% of U_{LWM})	–	100	40	20	T
– area (% of $U_{LWM} \times \text{degree}$)	–	625	250	125	T
NOTE 1 The area of a notch is approximately constant for a given d.c. current and R_{SC} . The width and depth vary with the trigger delay angle (α).					
NOTE 2 If several converters are connected to the same converter transformer terminals, the total area of all notches over one period of the fundamental is not expected to exceed four times the area given above for one principal commutation notch.					
^a For definition of the code, refer to Table 3.					
^b <i>Electromagnetic environment classes 3, 2, 1.</i>					

5.4.2 Repetitive and non-repetitive transients

A typical waveform at repetitive and non-repetitive transient is shown in Figure 4. The following characteristics shall be specified as far as possible:

- transient energy available at the converter terminals (J);
- rise time, (from 0,1 p.u. to 0,9 p.u. peak value) (μs);
- peak value $U_{\text{LRM}}/U_{\text{LWM}}$ (p.u.);
- peak value $U_{\text{LSM}}/U_{\text{LWM}}$ (p.u.);
- duration above 50 % of the peak measured from the sine wave (t) (μs).



IEC 1148/09

Figure 4 – A.C. voltage waveform

NOTE For additional information on a.c. voltage waveforms, see IEC/TR 60146-1-2.

6 Power conversion equipment and assemblies

6.1 Electrical connections

- Standard design converters

Considering the need for simplification in the common case of standard design converters covering the majority of users requirements, two types are considered in this subclause:

- converters without transformer;
- individual transformer converters.

In both cases, single phase and three-phase supplies are considered ($p = 2$, $p = 6$) with uniform connection.

In case 2), twelve-pulse converters and dual six-pulse converters require two secondary windings (valve side windings) with Y and D connections, respectively.

b) Special design converters

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

6.2 Calculation factors

6.2.1 Essential variables

Table 10 gives the value of some calculation factors for the most used connections of line commutated converters. IEC/TR 60146-1-2 gives the calculation factors also for some other connections.

Table 10 consists of 17 columns:

Column 1 gives a reference number to the connection.

Column 2 defines the transformer connections on the line side.

Column 3 defines the transformer connections on the valve side.

Column 4 shows the converter connections (schematics).

Column 5 is the pulse number p .

Column 6 is the commutation number q (on a commutating group).

Column 7 (this column is free).

Column 8 gives the line side current factor.

Column 9 gives the valve side current factor.

Column 10 gives the voltage ratio U_{di}/U_{v0} .

Column 11 gives the voltage ratio U_{iM}/U_{di} .

Column 12 gives the voltage regulation.

Column 13 gives the short-circuit transformer connections for transformer test.

Column 14 gives the short-circuit transformer connections for transformer test.

Column 15 gives the short-circuit transformer connections for transformer test.

Column 16 gives the losses for converter operation related to losses under short-circuit conditions (columns 13-14-15).

Column 17 gives the measurement of e_{xN} , inductive component of the relative short-circuit voltage of the converter transformer corresponding to I_{LN} .

The voltage ratios are:

$$\frac{U_{di}}{U_{v0}} \quad \text{and} \quad \frac{U_{iM}}{U_{di}}$$

regarding the ideal no-load direct voltage, and the ideal crest no-load direct voltage.

The line side current factor is the quotient of the r.m.s. value I'_L of the current on the line side and the direct current I_d . The line side current factor is indicated in Table 10 on the assumption of smooth direct current, rectangular wave-shape of the alternating currents and on the following voltage ratio for single or double-way connections:

$$\frac{U_L}{U_{v0}} = 1$$

where

U_L is the phase-to-phase voltage on the line side;

U_{v0} is the voltage between two commutating phases on valve side.

The line side current is approximately:

$$I_L = I'_L \times \frac{U_{v0}}{U_L}$$

The inherent direct voltage regulation is the ratio:

$$\frac{d_{xtN}}{e_{xN}}$$

between the direct voltage regulation d_{xtN} at rated load due to the transformer commutating reactance, referred to U_{di} and the inductive component e_{xN} of the transformer impedance voltage at rated line current I_{LN} for the whole equipment expressed in per cent of rated alternating voltage U_{LN} , the secondaries being short-circuited according to column 17.

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

For all other connections with a three-phase transformer, the ratio between d_{xtN} and e_{xN} may depend on the proportions of primary and secondary reactances in the transformer. For these connections, it is recommended to use the method given in IEC/TR 60146-1-2, for determination of d_{xtN} .

NOTE It is assumed that the angle of overlap μ is less than $2\pi/p$, p being the pulse number.

The magnetic circuits corresponding to the connections supplied with 3-phase currents in Table 10 are assumed to have three legs.

Power loss factor: Table 10 gives the relation between power losses in converter operation and on the short-circuit test at rated line current I_{LN} for the whole equipment and according to columns 13, 14 and 15.

Short-circuit conditions: Usually, the protection of the converter is such that a short-circuit is cleared in the shortest possible time. Some applications, for example converters for railway fixed installations, require the converter to withstand the d.c. short-circuit current for the breaking time of the output circuit-breaker which can be as long as 150 ms. In such cases, specific calculation ratios take into account the large angle of overlap which introduces multiple commutation. This is covered by dedicated standards (see IEC 62589).

Table 10 – Connections and calculation factors

No.	Transformer connection		Converter connection	p ^a	q ^a	Line side current factor ^b I _L '/I _d	Valve side current factor c I _v /I _d	U _{di} U _{v0}	U _{IM} U _{di}	d _{xN} e _{xN}	Terminals to be short-circuited at transformers loss test			Total losses in converter operation	Terminals to be short-circuited for e _{xN}	
	Line side	Valve side									A	B	C			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Single converter, single-way connections																
1				2	2		0,5	$0,707 \left(\frac{1}{\sqrt{2}} \right)$	0,450 $\left(\frac{\sqrt{2}}{\pi} \right)$	3,14 (π)	0,707 $\left(\frac{1}{\sqrt{2}} \right)$	0-1	0-2		0,5(P _A +P _B)	1-2
Single converter, uniform double-way connections																
7				2	2		1	1	0,900 $\left(\frac{2\sqrt{2}}{\pi} \right)$	1,57 $\left(\frac{\pi}{2} \right)$	0,707 $\left(\frac{1}{\sqrt{2}} \right)$	1-2			P _A	1-2
8				6	3		$0,816 \left(\frac{2}{\sqrt{3}} \right)$	$0,816 \left(\frac{2}{\sqrt{3}} \right)$	1,35 $\left(\frac{3\sqrt{2}}{\pi} \right)$	1,05 $\left(\frac{\pi}{3} \right)$	0,500	1-2-3			P _A	1-3-5
9				12	3		$0,789 \left(\frac{1+\sqrt{3}}{2\sqrt{3}} \right)$	$0,408 \left(\frac{1}{\sqrt{6}} \right)$	1,35 $\left(\frac{3\sqrt{2}}{\pi} \right)$	1,05 $\left(\frac{\pi}{3} \right)$	0,259	11-13-15	21-23-25	11-13-15 21-23-25	0,036 (P _A +P _B) + 0,928 P _C	Average of measurement 1 11-13-15 measurement 2 21-23-25
12				12	3		$1,58 \left(\frac{1+\sqrt{3}}{\sqrt{3}} \right)$	$0,816 \left(\frac{2}{\sqrt{3}} \right)$	2,70 $\left(\frac{6\sqrt{2}}{\pi} \right)$	0,524 $\left(\frac{\pi}{6} \right)$	0,259	11-13-15	21-23-25	11-13-15 21-23-25	0,036 (P _A +P _B) + 0,928 P _C	Average of measurement 1 11-13-15 measurement 2 21-23-25
18				See connection No. 8												
19				See connection No. 8												
NOTE For other connections, see IEC/TR 60146-1-2				a Refer to Table 2. b Refer to transformer primary. c Refer to transformer secondary.												

6.2.2 Losses and efficiency

6.2.2.1 General

The efficiency of converter assemblies or equipment shall be declared as power efficiency.

The efficiency may be determined by a measurement of a.c. and d.c. power at normal load conditions or by a measurement of internal losses in a short-circuit test and a light load test or by a calculation of internal losses, at the choice of the supplier.

The apparatus included in the determination of the over-all efficiency shall be stated.

In case of doubt as to whether the losses of a component of the power conversion equipment (PCE) should be included or not, when calculating the efficiency, it shall be stated whether the losses in it are included in the declared efficiency. For certain components in the power conversion equipment, the following subclauses shall be considered.

6.2.2.2 Included losses

The following losses shall be included when determining the efficiency:

- a) 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 diverters;
- b) losses in transformers, transducers, interphase transformers, current limiting and balancing reactors between transformer and thyristor or diode assemblies and the losses of the line side auxiliary transformers and reactors forming part of the equipment and delivered under the same contract;
- c) losses due to main connections between transformer and assembly for the case when transformer and assembly are built together and delivered as a unit;
- d) power absorbed by auxiliaries such as permanently connected fans or pumps and relays unless otherwise specified;
- e) losses in series smoothing reactors, when supplied by the supplier of the PCE;
- f) losses due to circulating currents in double converter connections;
- g) power consumed by the trigger equipment (see 3.1.17).

6.2.2.3 Not included losses

The following losses shall not be included when determining the efficiency but shall be stated separately if requested and if the apparatus concerned is supplied by the supplier of the PCE:

- a) losses due to the main connections between transformer and the assembly when delivered as separate units;
- b) losses due to the main connections to circuit-breakers, disconnectors, switches and to the load;
- c) losses in circuit-breakers, disconnectors, switches and in control gear other than the items mentioned in 6.2.2.2 ;
- d) losses due to heating and ventilation of the building and in the cooling supply;
- e) losses in the series smoothing reactor, when not supplied with PCE;
- f) losses in system control equipment (see 3.1.18);
- g) losses due to auxiliary apparatus which operate only intermittently.

6.2.3 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 (see 3.7.14).

For pulse numbers higher than 6, 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 In such a case, calculation is adequate to get reliable figures of the displacement factor under the condition of symmetrical control.

For converters supplying mainly battery chargers or capacitive loads, the total power factor should be considered.

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

The formulae described in 6.2.3 can be applied on the assumption of smooth direct current and rectangular wave-shape of the alternating current.

When the actual direct current and output direct voltage of a line-commutated converter is known, the following formulae give approximate values:

Active power	$P = U_d \times I_d$
Fundamental apparent power	$S_1 = U_{di} \times I_d$
Displacement factor	$\cos \varphi_1 = P/S_1$
Fundamental reactive power	$Q_1 = \sqrt{S_1^2 - P^2}$

These formulae normally give sufficient accuracy to calculate $\cos \varphi_1$ and also the amount of capacitors needed to correct the power factor to a specified value.

Refer to IEC/TR 60146-1-2 for more details, if required.

6.2.4 Voltage regulation

The following refers to standard design (connection No. 8 in Table 10), line commutated, three-phase, uniform, double-way connection converters with transformer or line reactors. Here, some usual cases are considered.

a) Resistive direct voltage regulation

Resistive direct voltage regulation U_{dr} is approximated by the next formula using losses in components P_r

$$U_{dr} = \frac{P_r}{I_{dN}}$$

The term "components" includes transformer windings, series reactors, smoothing reactor, diodes, thyristors, fuses, etc.

b) Inductive direct voltage regulation

Assuming nominal voltage at the a.c. terminals of the converter, the inductive voltage regulation is given by:

$$U_{dx} = 0,5 \times U_{di} \times \frac{S_{1LN}}{S_{com}} \times \frac{I_d}{I_{dN}}$$

1) Converter with individual transformer

$$S_{com} = \frac{1}{\frac{1}{S_c} + \frac{e_{xN}}{S_{tN}}}$$

2) Converter without individual transformer

The inductance L of the cables and line reactors is introduced instead of the transformer inductance, using the per unit voltage regulation at rated current to calculate S_{com} :

$$S_{com} = \frac{1}{\frac{1}{S_c} + \frac{X_L}{S_{1LN}}}$$

where

$$X_L = \frac{2 \times \pi \times f_N \times L \times S_{1LN}}{U_{LN}^2}$$

For other cases, see IEC/TR 60146-1-2.

c) Influence of other converters

If several converters are fed from the same supply transformer, this usually causes an additional voltage drop. If required by the contract, the detailed calculation may be performed using the rating, type of connection and other particulars of the other converters.

In the simple case of several independent, identical converters the maximum additional voltage drop may be estimated using the total apparent power of all the converters, assuming the same value of the trigger delay angle α .

d) Twelve-pulse converters

In the case of two series connected six-pulse converters, one fed from a Y and the other from a D secondary winding, each six-pulse converter is considered separately, neglecting the primary leakage reactance, which is usually much smaller than the secondary reactance for transformers designed for the purpose and adding the individual voltage regulation.

e) Boost and buck connection converters (series connection)

Using the same assumption as above, the voltage regulation depends on the operating point and each six-pulse converter shall be treated separately. The d.c. voltage and voltage regulation add up (algebraically if one of the converters is in the inverter mode).

This approximate method may also be used for three-phase, double-way non-uniform connections (for example three thyristors, three diodes or six thyristors, six diodes).

6.3 Electromagnetic compatibility

6.3.1 Harmonics

6.3.1.1 Order of harmonics in line current and voltage

Assuming perfect symmetry of the supply voltages, trigger delay angles, transformer ratio for Y and D windings the following apply for three-phase uniform connected converters.

The order of characteristic harmonics depends on the pulse number p :

$$h = kp \pm 1 \quad k = \text{integer } (1...n)$$

The corresponding frequency is related to the fundamental frequency f_1 by:

$$f_h = h \times f_1$$

subject to the mains frequency variations.

NOTE 1 Due to small errors in Y and D winding voltages (integer number of turns), supply voltage unbalance, trigger delay angle error and other manufacturing tolerances, twelve-pulse converters usually produce uncharacteristic harmonics which may range from 0,05 p.u. to 0,15 p.u. of the value for a six-pulse converter ($p = 6$) of the same rating.

NOTE 2 Sequential gating or non-uniform, dual six-pulse converters may produce harmonics up to 1,0 p.u. of the theoretical value for the equivalent six-pulse converter depending on the trigger delay angle and transformer secondary phase shift, if any.

Refer to Annex A and to IEC/TR 60146-1-2 for more information.

6.3.1.2 Amplification of harmonic currents on the line side

Power capacitors may be used for power factor compensation both of a.c. motors and line-commutated converters. The resonance between the source impedance and the capacitors (including the cable capacitances, especially for MV systems) may amplify the harmonic currents and voltages. These resonances may be shifted to lower frequencies (below the 5th harmonic) by providing reactors in series with the capacitors.

Refer to Annex A and to IEC/TR 60146-1-2 for more information.

6.3.1.3 Direct voltage harmonic content

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

$$f_{h,dc} = k \times p \times f_1 \quad k = \text{integer } (1...n)$$

The negative sequence voltage produces an additional harmonic component at a frequency $2 \times f_1$, 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 Annex A and to IEC/TR 60146-1-2 for more information.

As a result of the harmonic content of the voltage on the d.c. side, the d.c. current also contains ripple. For converters supplying capacitor banks or storage batteries (battery chargers), the counter e.m.f. may be equal to the direct voltage average value, in which case the direct current is discontinuous and an appropriate trigger equipment is required.

6.3.2 Other EMC aspects

Beside harmonics, which represent the main EMC concern for semiconductor converters, the risk of interference with in-plant low current control and communication lines, or with telephone and communication links shall be considered. The following only gives general advice and it is reminded that, as indicated in 4.3.3.2, all aspects of electromagnetic compatibility (EMC) for certain semiconductor converters are discussed in dedicated standards.

a) Interference with in-plant, low current control and communication lines

Cable routing, filtering, feed-back cables and low current cables, etc., where such are installed by the purchaser, shall be in accordance with any instructions provided by the supplier and also publications by IEC technical committee 77 and local authorities.

b) Interference with telephone and communication links

Standard design industrial converters or special design converters for industrial application are not usually designed to meet the requirements applicable to domestic and similar appliances, particularly as specified in the generic EMC standards for domestic, commercial and light industry applications (IEC 61000-6-1 and IEC 61000-6-3). References are given in the generic EMC standards for industrial applications (IEC 61000-6-2 and IEC 61000-6-4) and in the dedicated product standards, see 4.3.3.2.

The purchaser shall specify any special requirements in the enquiry or, failing this, specify the installation site, the type of supply system, the intended use of the converter and all particulars that may have an influence on the actual electromagnetic compatibility (EMC) requirements.

6.4 Rated values

6.4.1 General

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

In the specification of the converter, the character of the load shall also be specified.

Requirements for adjustable speed motor drives in applications such as rolling mills, paper mills, mining hoists, etc. are given in IEC publications.

6.4.2 Rated output voltage

The rated output voltage shall be the continuous operating voltage assigned by the supplier.

The maximum output voltage shall comply with the dynamic requirements of the intended use or shall be separately specified by the purchaser.

NOTE A line-commutated converter frequently has to be designed for a maximum direct voltage higher than the rated direct voltage (for example, in the case of field excitation of d.c. machines or synchronous machines it is designed for a multiple of the rated direct voltage) in order to allow a margin for control, voltage regulation, a.c. line voltage variation compensation. This may result in a rated apparent power for the converter transformer, which in some cases greatly exceeds the rated output of the converter.

In the absence of such a specification, the rated direct voltage shall be maintained at all values of current up to the rated direct current for the specified limits (see 5.4, service condition tolerances) at the line terminals of the converter.

A line-commutated converter shall perform without service interruption at its rated values, under any operation mode (as rectifier or inverter) and throughout the service condition tolerances. A lower voltage may be negotiated for a.c. systems subject to heavy fluctuations, it is being recommended that the safe level of inverter operation should be set lower than the expected minimum alternating voltage on line side (see 5.4).

6.4.3 Rated current values

6.4.3.1 Current values to be specified

Each PCE shall have an assigned value for rated current, together with a specified duty class unless the rated current is related to continuous duty (see duty cycle, IEC 151-16-02). Additionally, the assemblies shall have an assigned value for rated continuous current. This assigned value is the rated continuous direct current (maximum value) I_{dMN} (see 3.6.10)

Independently of the duty class for the converter, the converter and its constituent assemblies shall be capable of withstanding fault currents within the limits permitted by the protective equipment (example fuses) as recommended by the converter supplier. This applies to all operating conditions up to and including maximum loading.

Independently of the duty class for the converter, the converter and its constituent assemblies shall be capable of withstanding over-currents of such magnitude and duration as is necessary to allow the automatic load regulating equipment or over-current protective equipment to operate (over current electronic protection).

6.4.3.2 Short-time duty

A rated current can be defined for continuous and permanent condition as above, or for simple load duty consisting of a constant current associated with a single short duration peak current. Two equivalent methods can be used. For both cases, requirements of 6.4.3.1 apply.

a) Rated current for peak load duty

The rated current for peak load duty delivered by the PCE is compatible with a peak load duty, provided the peak is followed by a no load period the duration of which allows the temperature of all parts of the PCE to fall to that correspondent to operation at rated direct current.

The value of direct current which the PCE can supply to its load for specified duration under specified service conditions, which includes a short-time peak direct current, is the rated current for peak load duty. The duration and magnitude of the peak current (peak maximum direct current I_{dSMN}) and the minimum time of no-load before carrying any current shall be specified, as defined in 3.6.11 and 3.6.13.

b) Rated current for continuous duty with superimposed peak loads

The rated current for continuous duty with superimposed peak loads delivered by the PCE is compatible with an intermittent peak load duty, provided the minimum time between applications of intermittent peak loads allows the temperature of all parts of the PCE to fall to that corresponding to operation at rated direct current.

The rated direct current for this duty is the value of direct current which the converter can supply to its load for unlimited duration under specified service conditions and with intermittently applied peak loads (I_{dRMN}) of specified magnitudes and durations. The minimum time between applications of intermittent peak loads shall also be specified (see 3.6.12 and 3.6.14).

c) Rated current for repetitive load duty (periodic duty)

The rated direct current of the PCE shall be specified as the r.m.s. value of the load current evaluated over the period of the load duty cycle. The duty class shall be preferably specified as a sequence of current values together with their durations, as defined in 3.6.15.

6.5 Duty classes

6.5.1 Principles

If in practice it is difficult to know the expected load diagrams on which the exact size of a converter depends, conventional diagrams which show constant current values for specified durations may be specified as follows.

A rated current value shall be specified and valid only for a defined duty class. If a converter is designed to operate at different duty classes, separate rated current values have to be given for each duty class.

If no suitable standard duty class can be found in Table 11, the rated current shall be the r.m.s. value of the repetitive load duty cycle taken over the most onerous 15 min period, if not otherwise specified.

Table 11 contains standard duty classes, which specify current capabilities in terms of current values and durations.

The current values specified in Table 11 are each individually applicable after temperatures have been reached equivalent to continuous operation at rated current.

For examples of load cycles, see Table 12.

Table 11 – Standard duty classes

Duty class	Rated currents for converters and test conditions for assemblies (relative values in per unit of I_{dN})	
I	1,00	p.u. continuously
II	1,00 1,50	p.u. continuously p.u. 1 min
III	1,00 1,50 2,00	p.u. continuously p.u. 2 min p.u. 10 s
IV	1,00 1,25 2,00	p.u. continuously p.u. 2 h p.u. 10 s
V	1,00 1,50 2,00	p.u. continuously p.u. 2 h p.u. 1 min
VI	1,00 1,50 3,00	p.u. continuously p.u. 2 h p.u. 1 min

6.5.2 Selection of duty class and rated current value

Different hypothetical load current diagrams giving assumed typical load conditions for the standard duty classes are given in Table 12 together with an indication of applications for each class.

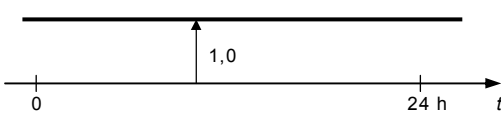
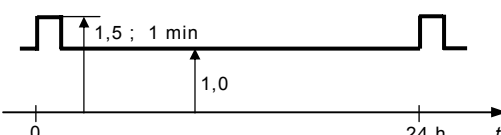
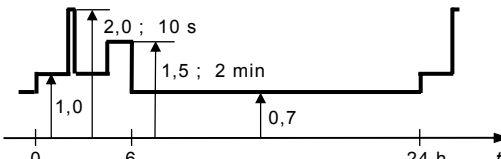
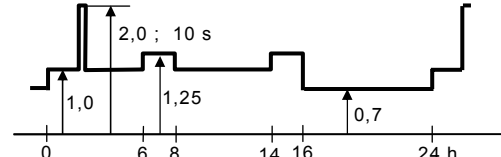
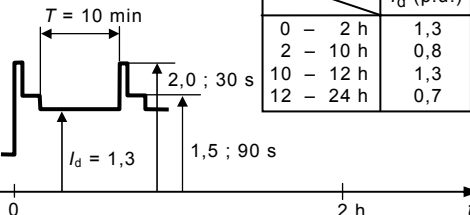
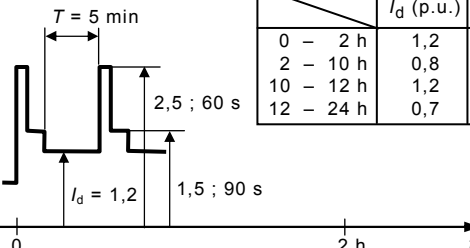
For guidance in determining the rated current of the PCE, the expected load diagram shall be examined and the conditions indicated in Table 12 should not normally be exceeded.

The load conditions specified in Table 12 are less onerous than the rated current values specified in Table 11. This allows for the fact that the peak loads are sometimes concurrent and ensures that rated peak of short duration (5 min and less) can, in almost all practical cases, be safely applied as often as permitted by the longer time specified for the lower rated peak load current, the only restriction being that the time between two consecutive peak currents is at least 20 min. The restriction is due to the fact that the thermal time constant of converter assemblies is normally in the order of 2 min to 20 min, depending on the properties of the cooling system.

For duty classes IV and V, this will mean that the time periods T_1 , T_2 , etc. and corresponding current values I_1 , I_2 may differ considerably without affecting the design of the transformer.

Typical load conditions of duty classes V and VI include recurrent two-step peak currents, as shown in the load diagrams, with interposed intervals of current amplitude I_d (p.u.). The current amplitude I_d (p.u.) and the duration t (min) are specified in the tables and change in the course of the day.

Table 12 – Examples of load cycles as guidance for selection of duty class

Duty class	Most typical applications	Assumed typical load conditions for the duty class Load current in relation to the rated direct current																				
I	Electrochemical processes, etc.																					
II	Electrochemical processes, etc.																					
III	Light industrial and light traction substation service																					
IV	Industrial service, heavy duty																					
V	Medium traction substation and mining $I_d = 1,5$ p.u. (2 h)	 <table data-bbox="979 1028 1402 1173"><tr><th></th><th>I_d (p.u.)</th><th>T (min)</th><th>$I_{d,rms}$ (p.u.)^a</th></tr><tr><td>0 – 2 h</td><td>1,3</td><td>10</td><td>1,36</td></tr><tr><td>2 – 10 h</td><td>0,8</td><td>15</td><td>0,94</td></tr><tr><td>10 – 12 h</td><td>1,3</td><td>10</td><td>1,36</td></tr><tr><td>12 – 24 h</td><td>0,7</td><td>30</td><td>0,79</td></tr></table>		I_d (p.u.)	T (min)	$I_{d,rms}$ (p.u.) ^a	0 – 2 h	1,3	10	1,36	2 – 10 h	0,8	15	0,94	10 – 12 h	1,3	10	1,36	12 – 24 h	0,7	30	0,79
	I_d (p.u.)	T (min)	$I_{d,rms}$ (p.u.) ^a																			
0 – 2 h	1,3	10	1,36																			
2 – 10 h	0,8	15	0,94																			
10 – 12 h	1,3	10	1,36																			
12 – 24 h	0,7	30	0,79																			
VI	Heavy traction substation $I_d = 1,5$ p.u. (2 h)	 <table data-bbox="979 1285 1402 1431"><tr><th></th><th>I_d (p.u.)</th><th>T (min)</th><th>$I_{d,rms}$ (p.u.)^a</th></tr><tr><td>0 – 2 h</td><td>1,2</td><td>5</td><td>1,50</td></tr><tr><td>2 – 10 h</td><td>0,8</td><td>6</td><td>1,26</td></tr><tr><td>10 – 12 h</td><td>1,2</td><td>5</td><td>1,50</td></tr><tr><td>12 – 24 h</td><td>0,7</td><td>20</td><td>0,93</td></tr></table>		I_d (p.u.)	T (min)	$I_{d,rms}$ (p.u.) ^a	0 – 2 h	1,2	5	1,50	2 – 10 h	0,8	6	1,26	10 – 12 h	1,2	5	1,50	12 – 24 h	0,7	20	0,93
	I_d (p.u.)	T (min)	$I_{d,rms}$ (p.u.) ^a																			
0 – 2 h	1,2	5	1,50																			
2 – 10 h	0,8	6	1,26																			
10 – 12 h	1,2	5	1,50																			
12 – 24 h	0,7	20	0,93																			

^a $I_{d,rms}$ is the r.m.s. value over the load cycle.

^a $I_{d,rms}$ is the r.m.s. value over the load cycle.

6.5.3 Particular remarks for double converters

A double converter may have either a symmetrical load where the loading of the two converter sections is symmetrical in the two directions of current flow or an asymmetrical load where the loading of the two sections are different.

The requirements in 6.4.3 apply also to double converters. In the case of double converters with asymmetrical loading, each section shall be given separate duty cycles.

Special recommendations for double converters intended for adjustable speed motor drives may be found in IEC 61800-6.

6.6 Markings

6.6.1 General

Each PCE which is delivered as an integrally assembled unit and each assembly which is delivered separately shall bear the following markings.

- a) Clear indication of manufacturer or supplier

NOTE 1 This indication may be given on the rating plate.

- b) Indication of the type of equipment

The type of equipment is according to 3.2 and 3.3.

NOTE 2 This indication may be given on the rating plate. The indication should, for PCE, include the intended mode of operation, for example "adjustable rectifier equipment" or "inverter equipment".

- c) Marking of the input and output terminals of the main circuit

The marking should express sequence of phases (if to be observed) or polarity respectively.

6.6.2 Rating plate

- a) Rating plates of equipment and assemblies

The following information shall be provided with the product. For products not covered by their own dedicated standards, the rating plate shall bear the following indications:

- 1) identification reference, manufacturer's type designation and serial number;
- 2) number of input phases (including neutral, if connection to it is necessary) or "d.c.";
- 3) rated input voltage (called "rated direct voltage" in the case of inverters);
- 4) rated input current (called "rated direct current" in the case of inverters);
- 5) rated input frequency, if any;
- 6) number of output phases (including neutral, if connection to it is necessary) or "d.c.";
- 7) rated output voltage (called "rated direct voltage" in the case of rectifiers);
- 8) rated output current (called "rated direct current" in the case of rectifiers);
- 9) rated output frequency, if any;
- 10) range of output voltage (if the output voltage is adjustable);
- 11) range of output frequency (if the output frequency is adjustable);
- 12) character of the load (for example counter e.m.f., inductive, etc.) if so restricted;
- 13) type of duty or duty class;
- 14) type of connection including "uniform" or "non-uniform" respectively (for assemblies only);
- 15) maximum permissible prospective symmetrical r.m.s. short-circuit current of the power source;
- 16) the reference of this IEC standard.

NOTE On the rating plate of small equipment (300 kW and less and rated current not exceeding 5 000 A), items 4) and 10) to 13) may be excluded. As stated in the scope, where a dedicated product standard, or product safety standard defines requirements for the rating plate, this dedicated standard takes precedence.

- b) Additional information where appropriate

Some items may be added if appropriate, especially those listed below:

- 1) cooling method;
- 2) cooling requirements (temperature, flow rate of cooling medium);
- 3) over-all mass, mass of cooling fluid, if any;

- 4) degree of protection;
- 5) displacement factor under rated conditions;
- 6) output characteristic curve symbol.

7 Tests for valve device assemblies and power conversion equipment

7.1 General

7.1.1 Methods of testing

Semiconductor converters are frequently integrated in electrical equipment. The electrical equipment includes auxiliaries necessary for operation of the converter itself, or even other parts. It may happen that the semiconductor converter cannot be separated, even for testing. In such a case, the assembly is named power conversion equipment (PCE).

It is advisable for economical reasons to confine the performance of tests to those which are considered necessary. This standard is therefore arranged so that testing of large equipment can be limited to tests in the manufacturer's works on the separate assemblies that are to be shipped separately.

Other tests such as tests on large, complete equipment or tests on site are to be included if separately specified.

Smaller equipment normally shipped as integral assemblies shall, however, be tested completely before being shipped in accordance with these provisions.

7.1.2 Kinds of tests

Two different kinds of tests are necessary.

a) Type tests

Type tests shall be performed to verify that the design of the product is appropriate to meet the performance requirements specified in this standard and/or those specified separately.

NOTE Some or all of the type tests may be repeated at specified intervals on a specified number of samples to verify that the quality of the product is maintained.

b) Routine tests

Routine tests shall be performed on each PCE or on its sub-assemblies if they are shipped separately, before delivery to verify that the requirements of this standard are met.

7.1.3 Performance of tests

The tests shall be performed in electrical conditions equivalent to those in real service. If this is not practicable, the assemblies and equipments respectively shall be tested under such conditions as to allow the specified performance to be proved.

In equipment tests, the assembly and other items of the equipment may be tested separately if this is more convenient. When tested separately, the stack or assembly shall be supplied from a transformer with a connection equivalent to that specified in the contract.

Unless otherwise agreed at the time of the contract, the a.c. supply and test voltages shall be at rated frequency except for the insulation test voltage which may be d.c. or at any convenient frequency (at the supplier's choice between 15 Hz and 100 Hz).

NOTE When the purchaser or his representative desires to witness factory tests, he should so specify in the order. If so agreed before order, the contract may specify that the supplier should provide a report of tests performed on the product.

Reference may be made to type tests, previously performed, on an identical or similar product with test conditions at least equal to the requirements of the contract or of this specification.

The tests, unless otherwise agreed, shall comprise all the following items marked "(x)" in Table 13, which are applicable to the assembly or converter.

The tests marked "(x)" in Table 13 shall only be performed if specifically agreed in the contract.

Table 13 – Summary of tests

Test	Type test	Routine test	Optional test	Specification subclause
Visual inspection	x	x		
Insulation test	x	x		7.2
Light load and functional test	x	x		7.3.1
Rated current test	x			7.3.2
Over-current capability test			(x)	7.3.3
Measurement of the inherent voltage regulation			(x)	7.3.4
Measurement of ripple voltage and current			(x)	7.3.5
Measurement of harmonic currents			(x)	7.3.6
Power loss determination for assemblies and equipment	x			7.4.1
Temperature rise test	x			7.4.2
Power factor measurement			(x)	7.4.3
Checking of auxiliary devices	x	x		7.5.1
Checking the properties of the control equipment	x	x		7.5.2
Checking the protective devices	x	x		7.5.3
Immunity test			(x)	7.6 a)
Radio frequency radiated and conducted disturbances			(x)	7.6 b)
Measurement of audible noise			(x)	7.7
Additional tests			(x)	7.7

7.2 Insulation tests

7.2.1 General

To demonstrate adequate dielectric strength of the insulation system within the product, tests are to be conducted as type test as well as routine testing. The insulation system is investigated by testing safety critical components and solid insulation by means of three types of tests.

The different types of tests cover different physical phenomena:

- a.c. or d.c. voltage test to cover the impact of long term over voltages from the mains supply;
- impulse voltage test to cover the impact of impulse transient over voltages generated in the mains supply;
- partial discharge testing of solid insulation to cover the impact of impulse over voltages, temporary over voltages, as well as recurring peaks across the insulation.

NOTE Impulse transient over voltages, temporary over voltages, as well as recurring peaks might cause partial discharge inside the insulation material which can lead to its degradation.

Generally, the impulse voltage test and the partial discharge test are specified separately, see 7.2.3.2.

The selection of type test and the corresponding test voltages shall be based on the requirement from the relevant standards (see in Clause C.5).

The selection of routine tests and the corresponding test voltages shall be based on the requirement as specified in 7.2.2, unless a more severe requirement is specified in the relevant standards (see in Clause C.5).

7.2.2 Insulation routine tests of power conversion equipment

7.2.2.1 AC or d.c. voltage test

An a.c. or d.c. voltage test shall be performed on the final assembly to ensure that the manufacturing process has not affected the insulation coordination of the product. Test voltage shall be according to Table 14 or Table 15, as appropriate.

The test voltages in Table 14 or Table 15 are for type testing of basic insulation only. For routine testing, they cover verification of basic, supplementary, double and reinforced insulation (see definitions 3.11.12, 3.11.13, 3.11.14 and 3.11.15).

NOTE It should be reminded that the withstand voltage of double or reinforced insulation is twice the withstand voltage of basic insulation. However, in order to prevent damage to the solid insulation by partial discharge, routine testing uses only one level of test voltage for basic, supplementary, double and reinforced insulation, assuming that the validity of the different systems has been duly verified by type tests.

Type testing of double and reinforced insulation is performed with higher test voltages depending on the rated insulation voltage.

Functional insulation is not considered unless specified by the purchaser according to 7.2.3.2.

Terminals, open contacts on switches and semiconductor valve devices, etc. shall be bridged where necessary in order to create a continuous circuit for the voltage test on the equipment. Before testing, semiconductors and other vulnerable components within a circuit may be disconnected and/or their terminals bridged to avoid damage occurring to them during the test.

Wherever practicable, individual components forming part of the insulation under test, for example capacitors of high frequency filters, should not be disconnected or bridged before the test. In this case, it is recommended to use the d.c. test voltage specified in Table 14 or Table 15.

Where the equipment is covered totally or partly by a non-conductive accessible surface, a conductive foil to which the test voltage is applied shall be wrapped around this surface for testing. In this case, the insulation test between a circuit and non-conductive accessible surface may be performed as a sample test instead of a routine test. If a complete covering of the housing with a metal foil is not possible, a partial covering shall be applied at those spots which are considered relevant with regard to protection.

Printed circuit boards and modules with multipoint connectors may be withdrawn, disconnected or replaced by dummies during the a.c./d.c. voltage test.

This does not apply, however, to auxiliaries for which, in case of a dielectric breakdown, voltage may pass on to accessible parts not connected to the housing 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, the insulation stress of which is equal to that of the main circuit.

Switchgear and control gear in main circuits shall be closed or by-passed. Auxiliaries not galvanically connected to the main circuits (for example system control equipment, fan motors) shall be connected with the housing during the a.c./d.c. voltage test. During these tests, units with housings consisting of insulating material shall be covered with metal foil. The foil is regarded as housing when performing these tests.

7.2.2.2 Performing the voltage test

The test shall be applied as follows:

- test (1) between accessible conductive part (connected to earth) and each circuit sequentially (except PELV or SELV);
- test (2) between accessible surface (non conductive or conductive but not connected to earth) and each circuit sequentially (except PELV or SELV);
- test (3) between each considered circuit sequentially and the other adjacent circuits connected together;
- test (4) between PELV or SELV circuit and each adjacent circuit sequentially.

NOTE 1 Either the adjacent circuit or the PELV or SELV circuit may be earthed for this test. It is necessary to test basic insulation between PELV and SELV circuits, but it is not necessary to test functional insulation between adjacent PELV or adjacent SELV circuits.

NOTE 2 PELV/SELV circuits and other circuits of higher voltage are separated from chassis (earth) by basic insulation. It is typically impossible to test double or reinforced insulation separating low-voltage circuits from high-voltage circuits in a fully-assembled equipment without overstressing the basic insulation. For this reason, the test voltage for basic insulation is used for double or reinforced insulation as well.

7.2.2.3 Duration of the a.c. or d.c. voltage test

The voltage test shall be performed with a sinusoidal voltage at 50 Hz or 60 Hz. If the circuit contains capacitors, the test may be performed with a d.c. voltage of a value equal to the peak value of the specified a.c. voltage.

The duration of the test shall be 1 min for type test and at least 1 s for the routine test. The test voltage may be applied with increasing and/or decreasing ramp voltage but the full voltage shall be maintained for specified duration.

A voltage source with a short-circuit current of at least 0,1 A according to 5.2.2.2 of IEC 61180-1 shall be used for this test.

The test is successfully passed if no electrical breakdown occurs during the test.

7.2.2.4 Test voltages

AC or d.c. test voltages for equipment directly connected to low voltage mains are given in Table 14 (see 7.2.2.1 and Note 1).

For type testing of circuits with protective separation, and between circuits and accessible surfaces (non-conductive or conductive but not connected to protective earth) these voltages shall be multiplied by 2.

NOTE 1 The above rule is the result of the latest standardization work and is in line with the latest published standard related to a similar application (see IEC 61800-5-1).

NOTE 2 With U being the rated insulation voltage, the a.c. test voltage equals $[U + 1\,200]$ V.

Table 14 – AC or d.c. test voltages for equipment directly connected to low voltage mains

Rated insulation voltage V (see 3.11.9)	Test voltages V	
	a.c. (r.m.s.)	d.c.
≤ 50	1 250	1 770
100	1300	1 840
150	1 350	1 910
300	1 500	2 120
600	1 800	2 550
1 000	2 200	3 110
NOTE Interpolation is permitted.		

For higher voltage equipment, above 1 000 V a.c. and directly connected to high voltage mains, a.c. or d.c. test voltages are given in Table 15 (see 7.2.2.1 and Note 1).

For type testing circuits with protective separation, and between circuits and accessible surfaces (non-conductive or conductive but not connected to protective earth) these voltages shall be multiplied by 1,6.

NOTE 3 The above rule is the result of the latest standardization work and is in line with the latest published standard related to a similar application (see IEC 61800-5-1).

NOTE 4 With U being the rated insulation voltage, the a.c. test voltage can be approached by:

- $[2,7 \times U + 300]$ V for U between 1 000 V and 7 200 V;
- $[1,8 \times U + 7 200]$ V for U between 7 200 V and 36 000 V.

Table 15 – AC or d.c. test voltages for equipment directly connected to high voltage mains

Rated insulation voltage V (see 3.11.9)	Test voltages V	
	a.c. (r.m.s.)	d.c.
> 1 000	3 000	4 250
3 600	10 000	14 150
7 200	20 000	28 300
12 000	28 000	39 600
17 500	38 000	53 700
24 000	50 000	70 700
36 000	70 000	99 000
NOTE Interpolation is permitted.		

For equipment not directly connected to the mains, the a.c. test voltages may be given in dedicated product standards (example IEC 61800-5-1 related to power drive systems). Unless otherwise specified, the test voltage shall be agreed between purchaser and supplier. The principle should be to define a.c. test voltage with a r.m.s. value not less than 1,15 times the total voltage used for designing the blocking capability of the semiconductor devices which are the most exposed to over-voltages within the circuit. Where d.c. voltage is used, the level of the test voltage should not be less than 1,63 times the total voltage used for designing the blocking state of the most exposed semiconductor valve devices to over-voltages within the circuit.

NOTE 5 The word “total” means that in case of semiconductor valve devices mounted in series, the total voltage is the sum of the voltages used for each semiconductor valve device, excluding the tolerance for voltage sharing between the different devices.

For type testing circuits with protective separation, and between circuits and accessible surfaces (non-conductive or conductive but not connected to protective earth) these voltages should be multiplied by 2 for working voltages up to and including 1 000 V and by 1,6 for higher working voltages.

7.2.3 Additional tests

7.2.3.1 Insulation resistance

One minute after the a.c. or d.c. voltage test, the insulation resistance is to be measured by applying a direct voltage of at least 500 V. The insulation resistance should be not less than 1 MΩ for voltage values of $U_M / \sqrt{2}$ not exceeding 1 000 V.

For higher values of $U_M / \sqrt{2}$, the insulation resistance should exceed 1 000 Ω/V. The measurement of the insulation resistance is not necessary for routine tests.

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

If water is used as a heat transfer agent, the insulation resistance test may be performed in two steps, without and with water. In the first case, the insulation level shall meet the specified value, while in the latter case it has to be specified separately.

7.2.3.2 Agreed tests

Insulation tests other than those prescribed in this publication shall be performed only if agreed upon prior to order.

For high voltage converters 3,6 kV to 36 kV, when the assembly is connected to the a.c. line without a converter transformer, an impulse test may be performed in addition to the a.c. or d.c. voltage test if specified separately.

7.3 Functional test

7.3.1 Light load test and functional test

The light load test and functional test are carried out as follows.

a) Light load test

The light load test is carried out to verify that all parts of the electrical circuit and the cooling of the equipment operate properly together with the main circuit.

For the routine test, the converter is connected to rated input voltage. For the type test, the function of the equipment is also tested at maximum and minimum values of the input voltage. If series-connected semiconductor devices are used in the arms of the converter, the voltage sharing shall be checked. For a high voltage converter, this part of the light load test could be conducted at a lower voltage than rated. For low current equipment ($I_{dN} \leq 5$ A), the test is not necessary.

b) Functional test

The test load is chosen in such a manner that the required proof of performance is given. During the test, it should be verified that the control equipment, auxiliaries, protection equipment and main circuit are operating properly together. This could be achieved in different ways depending on the type of equipment.

7.3.2 Rated current test

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

The d.c. terminals shall be short-circuited directly or with a reactor and an alternating voltage of sufficient value, to cause at least the rated continuous direct current to flow, shall be connected to the a.c. terminals of the converter. During the test, the control equipment, if any and auxiliaries have to be supplied separately with rated voltage.

By proper co-ordination of control, if any, and applied alternating voltage, rated continuous current shall be caused to flow through the d.c. terminals and operation shall be checked. If parallel connected devices are used in the arms, the current division shall be checked.

When it is more convenient, the current test may be replaced by a full load test at rated alternating voltage.

7.3.3 Over-current capability test

The over-current capability test is a load test. Specified values of short time over-current or starting up sequences of actual load are to be applied for the time interval specified. Specified values of voltage and current are to be recorded. If this is a factory type test, then it shall be carried out in accordance with 6.4.3 and 6.5. The over-current capability test is performed according to the second paragraph of rated current test (7.3.2).

7.3.4 Measurement of the inherent voltage regulation

The converter shall be supplied with rated alternating voltage. Transducer control current, delay angle, etc., shall be set at a specified value and direct voltage and direct current measured while the direct current is varied.

7.3.5 Measurement of ripple voltage and current

The measurements of superposed a.c. voltage, superposed a.c. current, noise voltage or noise current on the d.c. side, if necessary, shall be specified separately.

NOTE DC ripple and a.c. unbalance of input or output of the equipment should be taken into account.

7.3.6 Measurement of harmonic currents

The determination of harmonic currents on the a.c. side, if necessary, shall be specified separately.

Harmonic emission may be determined by either:

- direct measurement;
- calculation by validated simulation.

For converters included in low voltage equipment of rated input current greater than 16 A and less or equal to 75 A, IEC 61000-3-12 gives the requirements for a simulation to be validated.

When a measurement is specified as a special test, the measurement methods and conditions shall comply either with the relevant standard: IEC 61000-3-2, IEC 61000-3-12 according to the a.c. rated current, or shall be agreed for higher values of rated current. In the latter case, it can be agreed to perform the measurement on the test premises of the manufacturer under defined conditions (example short-circuit on the d.c. side), or once installed at the customer site. Clause A.4 indicates the basic conditions.

The measurement of harmonic currents shall be performed

- with measuring instruments and methods complying with IEC 61000-4-7;
- disregarding individual harmonic currents below 1 % of the reference fundamental current;
- recording the characteristics of the voltage source used to perform the measurement (voltage level and tolerance, frequency and tolerance, R_{sc} and impedance, voltage unbalance in case of multiphase systems, harmonic voltages under no load conditions).

Results of the measurements shall be interpreted taking into account the characteristics of the source.

Harmonic voltage measurement depends on the whole installation and on the network itself and is outside the scope of this standard.

7.4 Losses, temperature and power factor

7.4.1 Power loss determination for assemblies and equipment

7.4.1.1 General

Losses in the assembly and equipment may be determined either by calculations based on measurements or by direct measurements. Power loss of indirectly cooled converters may be evaluated by measurement of the heat removed by the heat transfer agent (using the calorimetric method) and estimation of heat flow through the housing of the converter.

When loss measurement cannot be performed under actual service conditions (rated load), the following methods can be applied.

The power losses of the converter shall be measured during a light load test (minimum load possible) and a short-circuit test. The total losses of the converter are the sum of the light load losses and short-circuit losses from the tests.

The method is valid under the following assumptions and conditions:

- a) the losses in the semiconductor valve devices in service, due to switching losses, off-state and reverse current, are normally negligible;
- b) the forward voltage drop in the semiconductor valve devices can be represented by a constant component plus a resistive component directly proportional to the current;
- c) the losses in service due to forward current are taken to be equal to those that would exist at the same value of direct current and with rectangular current waveform in the converter arms in the case of polyphase connections;
- d) saturable or non-saturable reactors built into the assembly and carrying valve side phase current or converter circuit currents may be included in the measuring circuits. The bias of saturable reactors should be adjusted to the value that will be required in normal operation to supply rated direct voltage at rated direct current and rated voltage on the line side;
- e) for those load conditions for which efficiency is specified, the efficiency may be determined by measuring input and output power or by segregated loss tests;
- f) for those load conditions for which a conversion factor is specified, this may be determined by measuring a.c. power and d.c. output;
- g) increase of power losses due to existing line distortion or due to load increase is not considered here.

7.4.1.2 Methods of measurement

The methods of measurement prescribed here are based on the foregoing assumptions. The test or tests may be performed in the normal ambient temperature prevailing in the supplier's premises. Forward loss measurements shall be made when all parts of the converter assembly have reached stable temperature carrying the rated direct current.

When the converter transformer is included in the power loss measurement, the load losses shall be corrected to a reference temperature of specified limit temperature rise plus 20 K (Class A and B insulation) by increasing the value of P by 0,001 2 p.u. for each K by which the transformer temperature during the measurement is below the reference value. For this purpose, the transformer temperature shall be taken as the average oil temperature in oil-immersed transformers or the mean winding temperature in air-cooled transformers (see also IEC/TR 60146-1-2).

7.4.1.3 Test circuits

Guidance on connections which may be used for test purposes is given in IEC/TR 60146-1-2.

In all cases, the losses that will occur in service in voltage dividing resistors, damping circuits and surge arrestors, if any, are to be calculated and added.

7.4.2 Temperature rise test

The temperature rise of the converter shall be determined under test conditions given for the current test under the cooling conditions, which are least favourable. If the test is conducted at a lower temperature than the maximum specified, corrections have to be made. The temperature rise test is not limited to the main circuit.

Whenever possible, the temperature rise test should be conducted at rated load conditions.

In other cases, the test shall be conducted according to 7.3.2 and by adding temperature rise due to switching losses.

The temperature rise shall be measured at a specified point and the result shall be used to verify the design of the cooling system.

If the converter is rated for other than continuous load duty, the transient thermal impedance shall be measured for the main circuit components and for the cooling system. The test shall be performed for several of the components including those operating at the highest temperature.

The temperature rise at a specified point on the semiconductor valve 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 load duty without exceeding maximum virtual junction temperature for the devices taking into account the actual current sharing between parallel valve devices.

7.4.3 Power factor measurements

As a rule, power factor measurements need not be carried out. However, if a power factor measurement is required, it shall be determined as the displacement factor $\cos\phi_1$ (see 3.7.14) in accordance with 6.2.3.

7.5 Auxiliaries and control

7.5.1 Checking of auxiliary devices

The function of auxiliary devices such as contactors, pumps, sequencing equipment, fans, etc., shall be checked. If convenient, this can be done in conjunction with the light load test.

7.5.2 Checking the properties of the control equipment

It is not feasible to verify the properties of the control equipment under all those load conditions which may prevail in real operation. However, it is recommended that trigger equipment should be checked under real load conditions as far as possible. When this cannot be done on the manufacturer's 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 7.3.1 a) and 7.3.2 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 range of variation for which it is designed.

7.5.3 Checking the protective devices

Checking of the protective devices shall be carried out 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 current overloads, its ability in this respect shall be checked.

If type tests to check the effectiveness of fuse protection are considered to be necessary, they shall be specified separately with conditions for tests.

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.

7.6 EMC tests

There are two aspects concerning EMC tests as follows.

a) Immunity test

Checking of the immunity level of the converter shall be treated as an optional type test if so agreed in the contract. The test shall as far as possible be in accordance with the specified electrical service conditions.

NOTE 1 Conditions for performing immunity tests may be subject to legal conditions. Any optional type test agreed in a contract cannot break the local laws where the test is to be performed.

NOTE 2 The immunity level of incoming wires other than the main lines may also be included in the test.

b) Radio frequency radiated and conducted disturbances

The requirements for radio frequency radiated and conducted disturbances may be the subject of a separate specification and should then be specified for actual loads.

NOTE 3 The disturbances of a complete equipment may differ from that of functional units.

NOTE 4 The separate specification may be constituted by national regulations.

7.7 Measurement of audible noise and additional tests

Test procedures and limits shall be specified separately for the measurement of audible noise.

NOTE Audible noise of a complete PCE may differ considerably from the values of individual functional units. Room conditions – resonance and reflection – will cause differences from calculated or measured values.

Specification and procedures for any additional tests, if necessary, for example vibration, shock, environmental, drift, shall be specified separately.

7.8 Tolerances

If guarantees are given, they shall always refer to rated values and rated conditions. It is not intended that guarantees shall necessarily be given upon all or any of the items shown below, but when such guarantees are given, they may be given either without tolerances or with tolerances, as may be specified. Either of these practices complies with this specification.

If guarantees are given with tolerances, the values stated in Table 16 shall apply. If the guaranteed values are given without tolerances, they are maximum or minimum values, as the case may be.

Table 16 – Tolerances

Clause	Item	Tolerance
7.4.1	Assembly losses	+0,1 p.u. of the guaranteed value
7.4.1.2	Losses of transformer and reactor	+0,1 p.u. of the total guaranteed value
7.4.1.2	Efficiency of the PCE	Efficiency tolerance corresponding to +0,2 p.u. of the losses with a maximum consequence on the efficiency limited to –0,002 p.u. ^a (which means efficiency at least $[x - 0,2] \%$)
7.4.3	Calculated displacement factor	$-0,2 \times (1 - \cos \phi_1)$
7.3.4	Inductive direct voltage drop U_{dx} , due to the transformer	$\pm 0,1$ p.u. of guaranteed value
7.3.4	Inherent voltage regulation	$\pm 0,15$ p.u. of guaranteed regulation
	Measured direct voltages above 10 V ^b	$\pm (1 + 0,02 U_{dN})$
	Measured direct voltages below or equal to 10 V ^b	$\pm 0,1 U_{dN}$
^a With the readings of measurements: P for the output power and P_L for the losses $\eta = P / (P + P_L)$ the tolerance for the efficiency $\Delta\eta$, corresponding to the tolerance ΔP_L is given by $\Delta\eta = [(P_L + \Delta P_L) / (P + P_L + \Delta P_L)] - [(P_L) / (P + P_L)] \approx [\Delta P_L / P]$ Therefore, the second criterion for the tolerance on P_L corresponds to: $\Delta P_L < 0,002P$		
^b For equipment provided with automatic control of an output quantity, the tolerance on the controlled quantity shall be specified.		

Annex A (normative)

Harmonics and interharmonics

A.1 Non-sinusoidal voltages and currents

The distortion of the supply voltage from its intended sinusoidal wave shape is equivalent to the superposition on the intended voltage of one or more sinusoidal voltages at unwanted frequencies. (The discussion below is valid for both voltage and current – therefore the word “quantity” is used).

Fourier series analysis (IEV 101-13-08) enables any non-sinusoidal but periodic quantity to be resolved into truly sinusoidal components at a series of frequencies, and in addition, a d.c. component. The lowest frequency of the series is called the fundamental frequency f_f (IEV 101-14-50). The other frequencies in the series are integer multiples of the fundamental frequency, and are called harmonic frequencies. The corresponding components of the periodic quantity are referred to as the fundamental and harmonic components, respectively.

The Fourier transform (IEV 101-13-09) may be applied to any function, periodic or non-periodic. The result of the transform is a spectrum in the frequency domain, which in the case of a non-periodic time function is continuous and has no fundamental component. The particular case of application to a periodic function shows a lines spectrum in the frequency domain, where the lines of the spectrum are the fundamental and harmonics of the corresponding Fourier series.

The discrete Fourier transform (DFT) is the practical application of the Fourier transform. In practice, the signal is analysed over a limited period of time (a *window* with duration T_w) using a limited number (M) of samples of the actual signal. The result of the DFT depends on the choice of these parameters, T_w and M . The inverse of T_w is the basic frequency f_b of the DFT.

The DFT is applied to the actual signal inside the window. The signal is not processed outside the window but is assumed to be an identical repetition of the signal inside the window. This results in an approximation of the actual signal by a virtual signal which is truly periodic and whose period is the time window.

The FFT (fast Fourier transform) is a special algorithm allowing short computation time. It requires the number of samples (M) to be an integer power of 2 ($M = 2^i$). (In other words, it does require the sampling frequency to be a locked integer power of 2 of the fundamental). However, modern digital signal processors have such capability that the extra complexity in a DFT (tables of sine and cosine functions) can be more economic and flexible than the frequency locked FFTs.

In order that the result of the DFT, applied to a function considered as periodic (see Clause A.3), is the same as the result of a Fourier series analysis, the fundamental frequency f_f is made an integer multiple of the basic frequency (this requires the sampling frequency to be an exact integer multiple of the basic frequency [$f_s = M \times f_b$]). The synchronous sampling is essential. Loss of synchronism can change the spectrum result, making extra lines appear and changing amplitudes of true lines.

A.2 Definitions

There have been two different approaches to establish a set of definitions related to harmonics. The first approach considered the frequency as primary source of the set of definitions and started with the definition of an arbitrary reference, giving it the name of fundamental frequency (3.2.1 of IEC 61000-2-2 and 3.2.1 of IEC 61000-2-4):

fundamental frequency

a frequency, in the spectrum obtained from a Fourier transform of a time function, to which all the frequencies of the spectrum are referred

For the purposes of IEC 60146-1-1, the fundamental frequency is the same as the power frequency supplying the converter, or supplied by the converter according to the case which is considered.

[IEV 101-14-50, modified]

NOTE 1 In the case of a periodic function, the fundamental frequency is generally equal to the frequency of the function itself.

NOTE 2 In case of any remaining risk of ambiguity, the power supply frequency should be referred to the polarity and speed of rotation of the synchronous generator(s) feeding the system.

NOTE 3 This definition may be applied to any industrial power supply network, without regard to the load it supplies (a single load or a combination of loads, rotating machines or other load), and even if the generator feeding the network is a semiconductor converter.

The second approach defines the harmonic components as the result of the Fourier analysis; frequencies are therefore a consequence (IEV 551-20-01 and IEV 551-20-02). However, this approach meets a practical difficulty illustrated in Clause A.4. It should also be reminded that interharmonics, of common practice in power electronics, do not exist in the Fourier analysis. Therefore, there was a need to introduce a reference frequency, as arbitrary as in the first approach.

This International Standard follows the IEV approach. It should be noted that there is no contradiction between the two approaches, each having its own merits.

A.3 Basis

The Fourier transform S_F of a time function $f(t)$ is defined by :

$$S_F(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \cdot e^{-j\omega t} \cdot dt$$

and the reverse is:

$$f(t) = \frac{1}{2\pi} \cdot \int_{-\infty}^{+\infty} S_F(\omega) \cdot e^{j\omega t} \cdot d\omega$$

Notation:

F is the variable in the frequency domain,

F_R is the the arbitrary frequency chosen as fundamental frequency,

It is arbitrarily chosen $F_R = 1 / T$
 $\omega = 2\pi F$

h is the per unit variable in the frequency domain

$$h = F / F_R$$

$$\omega = 2\pi h F_R \quad \text{and} \quad \omega T = 2\pi h$$

The application to a periodical function $f(t)$ may be processed in two steps. The first step considers one period $f_0(t)$ (duration T) of the function, applying the Fourier transform:

$$S_{F0}(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} f_0(t) \cdot e^{-j\omega t} \cdot dt$$

in which the per unit variable h can be used

$$h = \omega / (2\pi F_R)$$

The fundamental property of a periodical function (period $T = 1 / F_R$) is applied as a second step:

$$\sum_{n=-\infty}^{+\infty} e^{-j \cdot 2\pi \cdot h \cdot n} = F_R \cdot \sum_{n=-\infty}^{+\infty} \delta(h - n)$$

The Fourier transform of the periodical function equals the Fourier transform of one period of the function multiplied by the reverse of the period and made discrete by the multiplication by a series of Dirac distributions centred on the series of relative integers.

$$S_F(h) = \left\{ \sum_{n=-\infty}^{+\infty} \delta(h - n) \right\} \cdot F_R \cdot S_{F0}(h)$$

Note that $F_R \times S_{F0}(h)$ is an over-estimation of the Fourier series using complex terms. An envelope of the Fourier series with real terms can be established :

$$A_h = 2 \cdot F_R \cdot S_{F0}(h)$$

A.4 Measurement

The measurement techniques defined in the second edition of IEC 61000-4-7 and the definition of the fundamental frequency in 3.10.2 are consistent for application to all electrotechnical and power electronics items. Other cases need further consideration.

As an illustration, the superposition of a sinusoidal ripple control signal at 175 Hz on a sinusoidal 50 Hz supply voltage may be considered. This results in a periodic voltage having a period of 40 ms and a frequency of 25 Hz. A classical Fourier series analysis of this voltage yields a fundamental component of 25 Hz with zero amplitude and two components with non-zero amplitude, a 2nd harmonic (50 Hz) with amplitude equal to that of the supply voltage and a 7th harmonic (175 Hz) with an amplitude equal to that of the ripple control signal. The definitions in 3.10 avoid the confusion implicit in this approach, and produce a result in line with the common practice of the DFT (as described in IEC 61000-4-7), showing a fundamental at 50 Hz and an interharmonic of order 3,5.

NOTE 1 When analysing the voltage of a power supply system, the component at the fundamental frequency is the component of the highest amplitude. This is not necessarily the first line in the spectrum obtained when applying a DFT to the time function.

NOTE 2 When analysing a current, the component at the fundamental frequency is not necessarily the component of the highest amplitude.

The voltages and currents of a typical electricity system are affected by incessant variation of both linear and non-linear loads. However, for analysis purposes, they are considered as stationary within the measurement window (approximately 200 ms), which is an integer multiple of the period of the power supply voltage. Harmonic analysers are designed to give the best compromise that technology can provide (see IEC 61000-4-7).

Annex B (informative)

Electrical environment – Short-circuit ratio

B.1 Electrical environment specification

The generic aspect of network conditions is developed in the publications of IEC technical committee No. 77 and its subcommittees. All EMC considerations are developed in dedicated standards as mentioned in 4.3.3.2. These EMC standards for application of semiconductor converters set requirements for both immunity and emission in the low frequency range and high frequency range and consider conducted phenomena as well as radiated phenomena.

Information on the 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 and control) is essential during the early stages of the design of an installation.

Notably, harmonic emission should be considered relative to the ratio of short-circuit power to apparent power, presence of capacitors or other converters.

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

NOTE Such information may not be readily available and the approach could be made as follows:

- a) request system information from the appropriate local and national authorities, when the final location of the plant is known. This includes the power, line and radio communication authorities and those responsible for the limitation of disturbance;
- b) where agreement is necessary with the purchaser to finalize the requirements, the above information should be used as a basis for discussion and when agreed, used for calculation purposes.

Low frequency conducted emissions are defined relative to the applicable set of standards prepared by IEC subcommittee 77A.

Four standards or technical reports deal with harmonic emission:

- IEC 61000-3-2: low voltage equipment with input current ≤ 16 A per phase;
- IEC 61000-3-4: technical report for low-voltage power supply systems and equipment with rated current greater than 75 A;
- IEC 61000-3-12: equipment connected to public low-voltage systems with input current between 16 A and 75 A per phase (restricted conditions of use);
- IEC 61000-3-6: distorting loads in MV and HV power systems.

Four standards or technical reports deal with voltage changes, voltage fluctuations and flicker:

- IEC 61000-3-3: low-voltage equipment with input current ≤ 16 A per phase;
- IEC 61000-3-5: low-voltage equipment with input current greater than 75 A;
- IEC 61000-3-11: low-voltage equipment with input current between 16 A and 75 A (restricted conditions of use);
- IEC 61000-3-7: fluctuating loads in MV and HV power systems.

Guidance for different applications is also provided in the dedicated EMC product standards (see 4.3.3.2).

When neither the final location nor the user is known, for standard converters, the supplier should select the "immunity class" from experience and this should be stated in the specification for the equipment.

The general electrical service condition tolerances are discussed in 5.4.

B.2 Point of coupling of the converter

B.2.1 Systems and installations

A converter is generally a component of a larger system. To avoid any confusion in this standard, the word "installation" is used exclusively to designate the complete installation which is connected to a PCC (point of common coupling) on a public power supply network.

Within the installation, a converter is connected at a given PC. The harmonic operating characteristics of the converter depend on the network characteristics at that PC.

For a given installation, the agreed power S_{ST} defines the equivalent reference current I_{TN} (total r.m.s. value):

$$S_{ST} = U_N \times I_{TN} \times \sqrt{3}$$

where U_N is the nominal (or declared) line-to-line voltage at the PCC and I_{TN} is the reference current. Note that I_{TN} is close to the tripping current value of the main circuit-breaker of the installation. S_{ST} represents the power which can be delivered at any time, by the public supply network, to the installation. It can be assumed that for each agreed internal power there exists a reasonable short-circuit power (fault level) S_{SC} defined at the PCC. This is the responsibility of the power distribution authority.

NOTE The "agreed power" results from an agreement between the user (owner of the installation) and the utility authority.

Where the agreed power is used to define the reference current to which harmonic currents are compared in order to express them in p.u., the reference current I_{TN1} is by convention equal to I_{TN} .

The agreed internal power S_{ITA} , for an installation at a defined IPC " α ", defines the equivalent reference current I_{TNA} (total r.m.s. value) for the part A of the installation fed from α :

$$S_{ITA} = U_N \times I_{TNA} \times \sqrt{3}$$

where U_N is the rated line-to-line voltage at the IPC " α ". Note that I_{TNA} is the rated current of the feeding section of part A of the installation. I_{TNA} is close to the rating of the circuit-breaker protecting this part A. It can be assumed that for each agreed internal power there exists a reasonable short-circuit power (fault level) $S_{SC\alpha}$ defined at the IPC " α ". This is the responsibility of those in charge of internal power distribution.

B.2.2 Short-circuit current ratio of the source in the installation

R_{SI} is the ratio of the short-circuit power of the source at a defined PC to the rated apparent power of the installation, or of a part of the installation, supplied from this PC (see Figure B.1):

$$R_{SIA} = S_{SC\alpha} / S_{ITA} = I_{SC\alpha} / I_{TNA}$$

The subscript "A" indicates the considered part of the installation and the subscript "α" indicates the PC to which this part is connected.

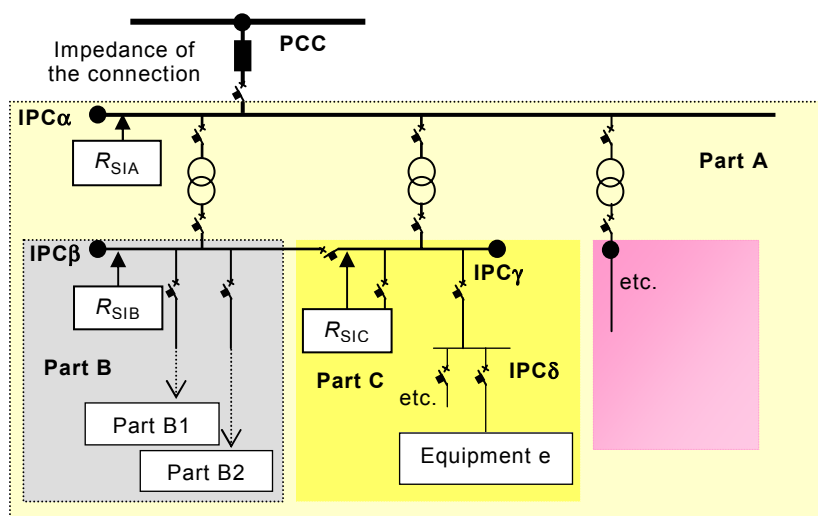
NOTE 1 Definition 3.9.9 of this International Standard and definition 3.69 of IEC 62103 define the relative short-circuit power (R_{SC}) as "ratio of the short-circuit power of the source to the rated apparent power on the line side of the converter(s)". R_{SC} refers to a given point of the network, for specified operating conditions and specified network configuration." This is the same concept. However R_{SI} is referring to the rated apparent power of the total load downstream of the point of coupling instead of the rated apparent power of a defined load (the converter) downstream of the point of coupling.

NOTE 2 This definition can be applied to the totality of the installation. In this case, the point of coupling (PC) is the point of common coupling (PCC), and I_{TNA} corresponds to the agreed power.

NOTE 3 This definition can also be applied to a part of an installation of rated current I_{TNA} . The short-circuit current ratio of the source in the installation R_{SIA} is expressed as the ratio of the short-circuit current at the internal point of coupling ($IPC\alpha$) of the part of the installation to its rated current.

NOTE 4 By extension, this definition can also be applied to a part of an equipment of rated current I_{TNI} . R_{SII} is expressed as the ratio of the short-circuit current available at the internal considered point (delivered by the source) to the rated current of part of the equipment supplied. This extension is strictly dedicated for consideration of internal constraints of equipment.

NOTE 5 In Figure B.1, the installation shows a part A with a short-circuit current ratio of the source R_{SIA} . Part A contains a part B, part B has a short-circuit current ratio of the source R_{SIB} , and part A also contains a part C, etc. Part B contains in turn a part B1, a part B2, etc. This partition allows an analysis and the assessment of the different short-circuit current ratios of the source at the different possible points of coupling.



IEC 1149/09

Figure B.1 – PCC, IPC, installation current ratio and R_{SI}

B.2.3 Short-circuit ratio

R_{SC} is the ratio of the short-circuit power of the source at the PCC to the rated apparent power of the equipment (see IEC 61000-3-4 or IEC 61000-3-12):

$$R_{SC} = S_{SC} / S_{Ne} = I_{SC} / I_{LNe}$$

NOTE 1 With the example of Figure B.2, it can be expressed as a function of the relevant R_{SI} . The piece of equipment (e) is fed from a bus bar ($IPC\delta$), with a point of common coupling (PCC) at which the short-circuit current is I_{SC} , and draws a rated current I_{LNe} . Applying the above definitions gives:

$$R_{SIE} = S_{SC\delta} / S_{ITe} = I_{SC\delta} / I_{LNe} = (I_{SC\delta} / I_{SC}) \times (I_{SC} / I_{LNe}) = (S_{SC\delta} / S_{SC}) \times (R_{Sce})$$

or

$$R_{Sce} = (S_{SC} / S_{SC\delta}) \times R_{SIE}$$

This definition is suitable, in the application of IEC 61000-3-4 or IEC 61000-3-12, for defining the condition of connection of a piece of equipment to the low voltage public supply network.

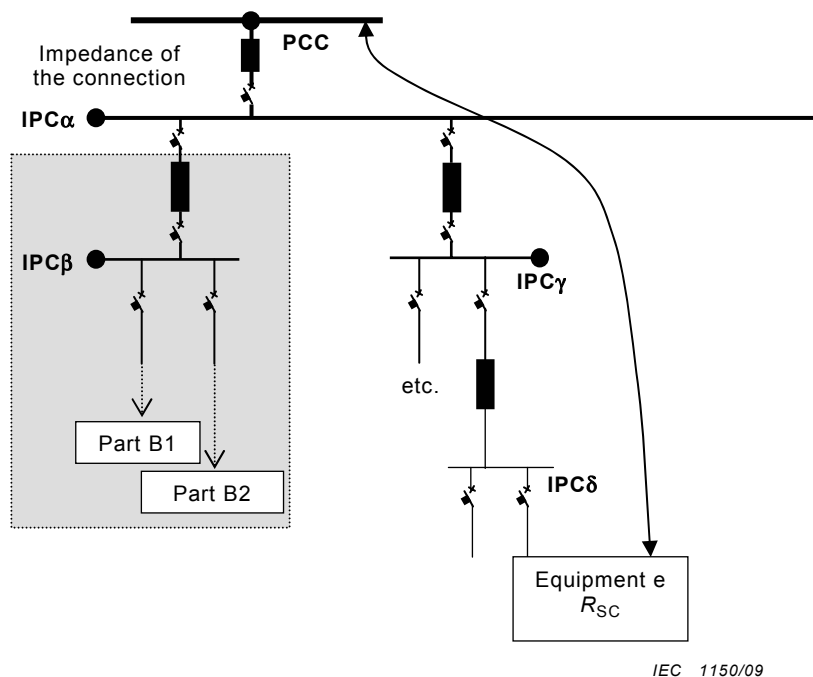


Figure B.2 – PCC, IPC, installation current ratio and R_{SC}

NOTE 2 Clause A.2 of IEC 61000-2-6 gives another definition of R_{SC} for rectifiers referring to the d.c. current.

Annex C

(normative)

Protection against electric shock and energy hazards

C.1 General

Considerations to ensure safety of semiconductor converters, and more generally of power conversion equipment (PCE) during installation, normal operating conditions and maintenance for the expected lifetime of the PCE needs to be addressed during the design and construction of the PCE. Also consideration should be given to minimize hazards resulting from reasonably foreseeable misuse.

Protection against thermal hazards and electric shock is to be maintained in single fault conditions as well as under normal conditions.

The necessary evaluations include (but are not limited to) insulation coordination, determination and performance of tests, circuit analysis in case of failure and information to be delivered to the user. For clarity, the terms defined in 3.11 should be used in reporting investigations or tests.

C.2 Insulation coordination

The insulation coordination is the basis to provide protection against electric shock. It covers clearance and creepage distances, solid insulation, enclosure or screens, protection circuits. It addresses printed circuit boards (or printed wiring boards PWBs), sub-assemblies and components.

a) Clearance and creepage distances

Evaluation of clearance and creepage distances on PWB, components and sub-assemblies ensures that functional, basic, supplementary, double and reinforced insulation is appropriate.

The clearance and creepage distances are determined upon the voltage stress across the evaluated circuits, due to over-voltage category, temporary over-voltage and working voltage across the circuits investigated.

NOTE IEC 60664-1 defines the rules to be applied to low voltage equipment up to 1 000 V a.c. and 1 500 V d.c.

b) Solid insulation

Evaluation of solid insulation used in components and sub-assemblies shall be based on the voltage stress due to voltage category, temporary over-voltage and working voltage across the circuits.

The evaluation also takes into account mechanical and environmental stress.

c) Enclosure

Evaluation of enclosure that provides protection against direct contact to dangerous live parts shall confirm compliance with the requirements in IEC 60529 for the appropriate IP-code. The appropriate IP code shall be specified.

d) Direct contact

Evaluation of circuits, components and sub-assemblies that provide protection in case of direct contact demonstrates the appropriate level of protective separation, limited voltage and/or protective impedance.

e) Indirect contact

Evaluation of enclosure and circuits that provide protection against indirect contact demonstrates that the measures taken are appropriate according to insulation class I, class II or class III equipment as defined in IEC 61140.

C.3 System voltage

The rated insulation voltage (see 3.11.9) is assigned by the manufacturer to the equipment or to a part of it, according to the voltage stress it can withstand.

The voltage stress to be withstood is related to the system used to supply the equipment which includes over-voltage category, temporary over-voltage and working voltage across the circuits investigated.

The system voltage is defined according to the earthing system as described in IEC 60364-1.

NOTE 1 Three basic types of earthing system are described.

TN system: has one point directly earthed, the exposed conductive parts of the installation being connected to that point by protective conductors. Three types of TN system, TN-C, TN-S and TN-C-S, are defined according to the arrangement of the neutral and protective conductors;

TT system: has one point directly earthed, the exposed conductive parts of the installation being connected to earth electrodes electrically independent of the earth electrodes of the power system;

IT system: has all live parts isolated from earth or one point connected to earth through an impedance, the exposed conductive parts of the installation being earthed independently or collectively to the earthing system.

In TN and TT systems, the system voltage is the r.m.s. value of the rated voltage between a phase and earth.

NOTE 2 A corner-earthed system is a TN system with one phase earthed, in which the system voltage is the r.m.s. value of the rated voltage between a non-earthed phase and earth (i.e. the phase-phase voltage).

In three-phase IT systems, and for determination of impulse voltage, the system voltage is the r.m.s. value of the rated voltage between a phase and an artificial neutral point (an imaginary junction of equal impedances from each phase).

NOTE 3 For most systems, this is equivalent to dividing the phase-to-phase voltage by $\sqrt{3}$.

In three-phase IT systems, and for determination of temporary overvoltage, the system voltage is the r.m.s. value of the rated voltage between phases.

In single-phase IT systems, the system voltage is the r.m.s. value of the rated voltage between phases.

For equipment directly connected to high voltage mains, the system voltage is the r.m.s. value of the rated voltage between phases.

NOTE 4 In all cases, when the supply voltage is rectified a.c., the system voltage is the r.m.s. value of the source a.c. before rectification, taking into account the supply earthing system.

NOTE 5 Voltages generated within the converter by the secondaries of transformers providing galvanic isolation from the supply mains are also considered to be system voltages for the determination of impulse voltages.

NOTE 6 For converters having series-connected diode bridges (12-pulse, 18-pulse, etc.), the system voltage is the sum of the a.c. voltages at the diode bridges.

C.4 Requirements for tests, analysis and information

Identification of all characteristics: environmental conditions, system voltage, over-voltage category etc. as well as conducting tests are performed to verify that environmental impact (temperature, dust, water etc.) on the converter subassemblies and components does not lead to any thermal or electric shock hazard.

Circuit analysis and test identifies and evaluates components (including insulation systems) whose failure, due to an open circuit or short-circuit, would result in a thermal or electric shock hazard.

Information should be provided to the purchaser by means of labelling and user manual, in order to enable safe installation, maintenance and operation, including relevant caution and warnings located on the equipment.

C.5 Relevant references

This standard does not give more requirements for the safety evaluation of the PCE as this is covered by other safety standards. The relevant safety requirements are determined by the specific product or product family standards.

The following safety product or product family standards set up the requirements for different applications:

- IEC 61204-7 for power supply units (PSU);
- IEC 61800-5-1 for power drive systems (PDS);
- IEC 62040-1 for uninterruptible power systems (UPS), IEC 62310-1 for static transfer systems (STS);
- IEC 60700-1 for high voltage applications like d.c. transmission systems (HVDC) and IEC/PAS 61975 regarding their installation, IEC 61954 for static var compensators (SVC);
- IEC 62103 for other products not covered by a product standard.

NOTE Future IEC 62477 related to safety requirements for power semiconductor converter systems is under consideration within IEC.

Bibliography

IEC 60050-131:2002, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 131: Circuit theory*

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

IEC 60050-161:1990, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Chapter 161: Electromagnetic compatibility*
Amendment 1 (1997)
Amendment 2 (1998)

IEC 60050-195:1998, *International Electrotechnical Vocabulary – Part 195: Earthing and protection against electric shock*

IEC 60050-321:1986, *International Electrotechnical Vocabulary – Chapter 321: Instrument transformers*

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

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

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

IEC 60050-826:2004, *International Electrotechnical Vocabulary – Part 826: Electrical installations*

IEC 60071-1, *Insulation co-ordination – Part 1: Definitions, principles and rules*

IEC 60071-2, *Insulation co-ordination – Part 2: Application guide*

IEC 60076-1, *Power transformers – Part 1: General*

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

IEC 60146-1-3, *Semiconductor converters – General requirements and line commutated convertors – Part 1-3: Transformers and reactors*

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

IEC 60146-6, *Semiconductor converters – Part 6: Application guide for the protection of semiconductor convertors against overcurrent by fuses*

IEC/TR 60664-2-1, *Insulation coordination for equipment within low-voltage systems – Part 2-1: Application guide – Dimensioning procedure worksheets and dimensioning examples*

IEC/TR 60664-2-2, *Insulation coordination for equipment within low-voltage systems – Part 2-2: Interface considerations – Application guide*

IEC 60664-3, *Insulation coordination for equipment within low-voltage systems – Part 3: Use of coating, potting or moulding for protection against pollution*

IEC 60664-4, *Insulation coordination for equipment within low-voltage systems – Part 4: Consideration of high-frequency voltage stress*

IEC 60664-5, *Insulation coordination for equipment within low-voltage systems – Part 5: Comprehensive method for determining clearances and creepage distances equal to or less than 2 mm*

IEC/TR 60725, *Consideration of reference impedances and public supply network impedances for use in determining disturbance characteristics of electrical equipment having a rated current ≤ 75 A per phase*

IEC 60747-1, *Semiconductor devices– Part 1: General*

IEC/TR 61000-2-6, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 2: Environment – Section 6: Assessment of the emission levels in the power supply of industrial plants as regards low-frequency conducted disturbances*

IEC/TR 61000-3-4, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 3-4: Limits – Limitation of emission of harmonic currents in low-voltage power supply systems for equipment with rated current greater than 16 A*

IEC/TR 61000-3-5, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 3: Limits – Section 5: Limitation of voltage fluctuations and flicker in low-voltage power supply systems for equipment with rated current greater than 16 A*

IEC/TR 61000-3-6, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 3-6: Limits – Assessment of emission limits for the connection of distorting installations to MV, HV and EHV power systems*

IEC/TR 61000-3-7, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 3-7: Limits – Assessment of emission limits for the connection of fluctuating installations to MV, HV and EHV power systems*

IEC/TS 61000-6-5, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 6-5: Generic standards – Immunity for power station and substation environments*

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

IEC/TS 61287-2, *Power convertors installed on board railway rolling stock – Part 2: Additional technical information*

IEC 61378-1, *Convertor transformers – Part 1: Transformers for industrial applications*

IEC 61378-2, *Convertor transformers – Part 2: Transformers for HVDC applications*

IEC 61439-1, *Low-voltage switchgear and controlgear assemblies – Part 1: General rules*

IEC 61800-6, *Adjustable speed electrical power drive systems – Part 6: Guide for determination of types of load duty and corresponding current ratings*

IEC 62068-1, *Electrical insulation systems – Electrical stresses produced by repetitive impulses – Part 1: General method of evaluation of electrical endurance*

IEC 62477, *Safety requirements for power semiconductor converter systems – Part 1: General*¹⁾

IEC 62589, *Railway applications – Fixed installation – Harmonisation of the rated values for converter groups and tests on converter groups*²⁾

Failure mechanism of the interturn insulation of low voltage electric machines fed by pulsed controlled inverters – IEEE Insulation Magazine - September/October 1996 – Vol. 12, No. 5

Will your motor insulation survive a new adjustable frequency drive – IEEE Industry Application Magazine – September/October 1997 – Vol. 33, No. 5

Using corona inception voltage for motor evaluation – IEEE Transactions on Industry Applications Magazine – July/August 1999

IEEE Std 519: IEEE Recommended practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems (particularly 6, 7.3, 8 and 10.4).

1) Under consideration

2) In preparation

Index of definitions

Terms	IEV	subclause	
A			
ambient air temperature	441-11-13, MOD	3.8.9	[df 1]
angle of overlap μ	551-16-05	3.5.5	[df 2]
(auxiliary) arm	551-15-05	3.2.3	[df 3]
(principal) arm	551-15-02	3.2.2	[df 4]
(valve) arm	551-15-01	3.2.1	[df 5]
(valve device) assembly	551-14-13	3.1.12	[df 6]
auxiliary arm	551-15-05	3.2.3	[df 7]
B			
basic converter connection	551-15-11	3.2.9	[df 8]
basic insulation	195-02-23, MOD	3.11.12	[df 9]
(reversible converter) – bi-directional converter	551-12-37	3.3.7	[df 10]
bidirectional triode thyristor – (triac)	521-04-67, MOD	3.1.8	[df 11]
boost and buck connection	551-15-21	3.2.17	[df 12]
bridge connection	551-15-14	3.2.12	[df 13]
by-pass arm	551-15-06	3.2.4	[df 14]
C			
capacitor commutation	551-16-17	3.4.11	[df 15]
(electrical) circuit (of an equipment)		3.11.1	[df 16]
commutation	551-16-01	3.4.1	[df 17]
commutation circuit	551-16-03	3.5.1	[df 18]
commutating group	551-16-08	3.5.8	[df 19]
commutation inductance	551-16-07	3.5.3	[df 20]
commutation interval	551-16-04	3.5.4	[df 21]
commutation notch	551-16-06	3.5.6	[df 22]
commutation number q	551-17-03	3.5.9	[df 23]
commutation repetitive transient		3.5.7	[df 24]
commutation voltage	551-16-02	3.5.2	[df 25]
(system) control equipment		3.1.18	[df 26]
controllable arm		3.3.1	[df 27]
controlled conventional no-load direct voltage $U_{d0\alpha}$	551-17-18	3.7.4	[df 28]
controlled ideal no-load direct voltage $U_{di\alpha}$	551-17-16	3.7.2	[df 29]
(natural cooling) – convection		3.8.5	[df 30]
conventional no-load direct voltage U_{d0}	551-17-17	3.7.3	[df 31]
(electronic power) conversion	551-11-02	3.1.15	[df 32]
(power) conversion equipment (PCE)		3.1.20	[df 33]
conversion factor	551-17-10	3.7.11	[df 34]
(power) conversion system		3.1.21	[df 35]
(electronic) (power) converter	551-12-01, MOD	3.1.16	[df 36]
(semiconductor) converter	551-12-42	3.1.19	[df 37]
converter connection	551-15-10	3.2.8	[df 38]
converter section of a double converter	551-12-40	3.3.10	[df 39]
cooling medium		3.8.1	[df 40]
cooling medium temperature for air and gas cooling		3.8.10	[df 41]
cooling medium temperature for liquid cooling		3.8.11	[df 42]

D

decisive voltage class	-----	3.11.8	[df 43]
deformation factor ν	-----	3.7.15	[df 44]
(non controllable valve device – rectifier) diode	-----551-14-04	3.1.4	[df 45]
direct commutation	-----551-16-09	3.4.3	[df 46]
direct cooling	-----	3.8.3	[df 47]
direct voltage regulation	-----551-17-21	3.7.6	[df 48]
(power factor of the fundamental wave) –			
displacement factor $\cos \varphi_1$	-----131-11-48 (<i>basis</i>)	3.7.14	[df 49]
double converter	-----551-12-39	3.3.9	[df 50]
double insulation	-----826-03-19, MOD	3.11.14	[df 51]
double-way connection (of a converter)	-----551-15-13	3.2.11	[df 52]

E

electrical circuit (of an equipment)	-----	3.11.1	[df 53]
electromagnetic compatibility (EMC)	-----161-01-07	3.9.1	[df 54]
electromagnetic disturbance	-----161-01-05	3.9.4	[df 55]
electromagnetic disturbance level	-----161-03-29	3.9.5	[df 56]
electromagnetic emission	-----161-01-08	3.9.2	[df 57]
electronic power conversion	-----551-11-02	3.1.15	[df 58]
electronic power converter	-----551-12-01, MOD	3.1.16	[df 59]
electronic power switch	-----551-13-01	3.1.2	[df 60]
electronic valve device	-----551-14-02	3.1.13	[df 61]
ELV (extra low voltage) circuit	-----826-12-30, MOD	3.11.18	[df 62]
(electromagnetic) emission	-----161-01-08	3.9.2	[df 63]
emission level of a converter	-----161-03-11, MOD	3.9.3	[df 64]
equilibrium temperature	-----	3.8.8	[df 65]
(power conversion) equipment (PCE)	-----	3.1.20	[df 66]
equipotential bonding	-----195-01-10	3.11.4	[df 67]
equipotential bonding system (EBS)	-----195-02-22	3.11.5	[df 68]
equipotentiality	-----195-01-09	3.11.3	[df 69]
external commutation	-----551-16-11	3.4.5	[df 70]
external quenching	-----551-16-21	3.4.15	[df 71]
extinction angle γ	-----	3.5.14	[df 72]

F

forced cooling	-----	3.8.6	[df 73]
four-quadrant converter	-----551-12-36	3.3.6	[df 74]
free-wheeling arm	-----551-15-07	3.2.5	[df 75]
(fundamental component) – fundamental	-----551-20-01	3.10.3	[df 76]
fundamental component – (fundamental)	-----551-20-01	3.10.3	[df 77]
fundamental frequency	-----551-20-03	3.10.2	[df 78]

G

gate turn-off thyristor – (GTO)	-----521-04-68	3.1.9	[df 79]
(trigger equipment) – gating equipment	-----	3.1.17	[df 80]
(turn-off thyristor) – GTO	-----521-04-68	3.1.9	[df 81]

H

harmonic component	-----551-20-07	3.10.7	[df 82]
harmonic content	-----551-20-12	3.10.10	[df 83]
harmonic frequency	-----551-20-05	3.10.6	[df 84]
heat transfer agent	-----	3.8.2	[df 85]
hold-off interval	-----551-16-45	3.5.15	[df 86]

I

ideal no-load direct voltage U_{di}	-----551-17-15	3.7.1	[df 87]
immunity level of a converter	-----161-03-14, MOD	3.9.8	[df 88]
immunity to a disturbance	-----161-01-20	3.9.7	[df 89]
indirect commutation	-----551-16-10	3.4.4	[df 90]
indirect cooling	-----	3.8.4	[df 91]
individual harmonic ratio (<i>IHR</i>)	-----	3.10.15	[df 92]
inductively coupled capacitor commutation	-----	3.4.12	[df 93]
inherent delay angle α_p	-----551-16-35	3.5.13	[df 94]
inherent direct voltage regulation	-----551-17-22	3.7.7	[df 95]
interharmonic component	-----551-20-08	3.10.9	[df 96]
interharmonic frequency	-----551-20-06	3.10.8	[df 97]
intermittent peak maximum direct current I_{dRMN}	-----	3.6.12	[df 98]

L

line commutation	-----551-16-12	3.4.6	[df 99]
load commutation	-----551-16-13	3.4.7	[df 100]

M

machine commutation	-----551-16-14	3.4.8	[df 101]
mixed cooling	-----	3.8.7	[df 102]

N

natural cooling – (convection)	-----	3.8.5	[df 103]
non-controllable arm	-----	3.3.2	[df 104]
non-controllable valve device – (rectifier diode)	-----551-14-04	3.1.4	[df 105]
non-uniform connection	-----551-15-18	3.2.14	[df 106]

O

one-quadrant converter	-----551-12-34	3.3.4	[df 107]
output voltage tolerance band	-----	3.7.9	[df 108]
over-voltage category	-----	3.11.11	[df 109]

P

part of a circuit	-----	3.11.2	[df 110]
partial weighted harmonic ratio (<i>PWHR</i>)	-----	3.10.16	[df 111]
PC, PCC, IPC	-----	3.10.1	[df 112]
peak maximum direct current I_{dSMN}	-----	3.6.11	[df 113]
PELV (protective extra low voltage) circuit	-----826-12-32, MOD	3.11.19	[df 114]
phase control	-----551-16-23	3.3.11	[df 115]
(electronic) power conversion	-----551-11-02	3.1.15	[df 116]
power conversion equipment (PCE)	-----	3.1.20	[df 117]
power conversion system	-----	3.1.21	[df 118]
(electronic) power converter	-----551-12-01, MOD	3.1.16	[df 119]
power efficiency	-----	3.7.12	[df 120]
power factor λ	-----131-11-46	3.7.13	[df 121]
power factor of the fundamental wave –			
(displacement factor) $\cos \varphi_1$	-----131-11-48 (<i>basis</i>)	3.7.14	[df 122]
(electronic) power switch	-----551-13-01	3.1.2	[df 123]
power transistor	-----	3.1.10	[df 124]
principal arm	-----551-15-02	3.2.2	[df 125]
protective equipotential bonding system (PEBS)	-----195-02-23	3.11.6	[df 126]
protective screening	-----	3.11.17	[df 127]
protective separation	-----	3.11.16	[df 128]
pulse number p	-----551-17-01	3.5.10	[df 129]

Q

quadrant of operation (on the d.c. side)-----	3.3.3	[df 130]
quenching -----551-16-19	3.4.2	[df 131]

R

rated apparent power on the line side S_{LN} -----	3.6.7	[df 132]
rated continuous direct current (maximum value) I_{dMN} -----	3.6.10	[df 133]
rated current for continuous duty with superimposed peak loads -----	3.6.14	[df 134]
rated current for peak load duty (short-time duty) -----	3.6.13	[df 135]
rated current for repetitive load duty (periodic duty) -----	3.6.15	[df 136]
rated current on the line side I_{LN} -----	3.6.5	[df 137]
rated current on the valve side I_{VN} -----	3.6.6	[df 138]
rated d.c. power -----	3.6.16	[df 139]
rated direct current I_{dN} -----	3.6.9	[df 140]
rated direct voltage U_{dN} -----	3.6.8	[df 141]
rated frequency f_N -----	3.6.2	[df 142]
rated impulse voltage -----	3.11.10	[df 143]
rated insulation voltage -----	3.11.9	[df 144]
rated value -----551-16-08	3.6.1	[df 145]
rated voltage on the line side U_{LN} -----	3.6.3	[df 146]
rated voltage on valve side of the transformer U_{VN} -----	3.6.4	[df 147]
real no-load direct voltage U_{d00} -----551-17-19	3.7.5	[df 148]
(non-controllable valve device) – rectifier diode-----551-14-04	3.1.4	[df 149]
reference fundamental component -----551-20-02	3.10.4	[df 150]
reference fundamental frequency-----551-20-04	3.10.5	[df 151]
reference level of generated disturbance of a converter -----	3.9.6	[df 152]
regenerative arm -----551-15-09	3.2.7	[df 153]
(direct voltage) regulation -----551-17-21	3.7.6	[df 154]
reinforced insulation -----	3.11.15	[df 155]
relative short-circuit power R_{SC} -----	3.9.9	[df 156]
resonant load commutation -----	3.4.9	[df 157]
reverse blocking triode thyristor -----521-04-63	3.1.6	[df 158]
reverse conducting triode thyristor -----521-04-65	3.1.7	[df 159]
reversible converter – (bi-directional converter)-----551-12-37	3.3.7	[df 160]

S

self-commutation -----551-16-15	3.4.10	[df 161]
SELV (safety extra low voltage) circuit----- 826-12-31, MOD	3.11.20	[df 162]
semiconductor converter -----551-12-42	3.1.19	[df 163]
semiconductor device -----151-13-63	3.1.1	[df 164]
semiconductor switch -----551-13-05	3.1.3	[df 165]
semiconductor valve device -----551-14-09	3.1.14	[df 166]
series connection -----131-12-75	3.2.15	[df 167]
series connection of converters ----- 551-04-30, MOD	3.2.16	[df 168]
single converter -----551-12-38	3.3.8	[df 169]
single-way connection (of a converter)-----551-15-12	3.2.10	[df 170]
(valve device) stack -----551-14-12	3.1.11	[df 171]
supplementary insulation -----	3.11.13	[df 172]
(electronic power) switch -----551-13-01	3.1.2	[df 173]
(semiconductor) switch -----551-13-05	3.1.3	[df 174]
(power conversion) system -----	3.1.21	[df 175]
system control equipment -----	3.1.18	[df 176]

T

temperature of heat transfer agent -----		3.8.12	[df 177]
thyristor -----521-04-61		3.1.5	[df 178]
(reverse blocking triode) thyristor-----521-04-63		3.1.6	[df 179]
total direct voltage regulation -----551-17-23		3.7.8	[df 180]
total distortion content -----551-20-11		3.10.12	[df 181]
total distortion factor (<i>TDF</i>) -----551-20-16		3.10.14	[df 182]
total distortion ratio (<i>TDR</i>) -----551-20-14		3.10.13	[df 183]
(total harmonic ratio) – total harmonic distortion (<i>THD</i>) -----551-20-13		3.10.11	[df 184]
total harmonic ratio – (total harmonic distortion) (<i>THD</i>) -----551-20-13		3.10.11	[df 185]
(power) transistor -----		3.1.10	[df 186]
transition current -----551-17-20		3.7.10	[df 187]
(bidirectional triode thyristor) – triac -----521-04-67		3.1.8	[df 188]
trigger advance angle β -----551-16-34		3.5.12	[df 189]
trigger delay angle α -----551-16-33		3.5.11	[df 190]
trigger equipment – (gating equipment) -----		3.1.17	[df 191]
triggering -----551-16-61		3.3.12	[df 192]
(reverse blocking) triode thyristor-----521-04-63		3.1.6	[df 193]
turn-off arm -----551-15-08		3.2.6	[df 194]
turn-off thyristor – (GTO) -----521-04-68		3.1.9	[df 195]
two-quadrant converter -----551-12-35		3.3.5	[df 196]

U

uniform connection -----551-15-15		3.2.13	[df 197]
-----------------------------------	--	--------	----------

V

valve arm -----551-15-01		3.2.1	[df 198]
(electronic) valve device -----551-14-02		3.1.13	[df 199]
(semiconductor) valve device -----551-14-09		3.1.14	[df 200]
valve device assembly -----551-14-13		3.1.12	[df 201]
valve device commutation -----551-16-16		3.4.13	[df 202]
valve device stack -----551-14-12		3.1.11	[df 203]
valve device quenching -----551-16-20		3.4.14	[df 204]

W

working voltage -----		3.11.7	[df 205]
-----------------------	--	--------	----------

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS.....	97
1 Domaine d'application et objet.....	99
2 Références normatives.....	99
3 Termes et définitions	101
3.1 Dispositifs à semiconducteurs et combinaisons	102
3.2 Bras et connexions.....	105
3.3 Commandabilité des bras de convertisseurs et quadrants de fonctionnement (côté continu)	107
3.4 Commutation, extinction et circuits de commutation	109
3.5 Caractéristiques de commutation.....	111
3.6 Valeurs assignées	113
3.7 Tensions, courants et facteurs spécifiques	115
3.8 Refroidissement	118
3.9 Tolérances relatives aux conditions de service et compatibilité électromagnétique	119
3.10 Distorsion harmonique.....	121
3.11 Définitions afférentes à la coordination de l'isolement	125
4 Fonctionnement des équipements de conversion à semiconducteurs et des valves	128
4.1 Classification.....	128
4.1.1 Convertisseur à semiconducteurs	128
4.1.2 Valves à semiconducteurs	129
4.2 Principaux symboles littéraux et indices	129
4.3 Fonctionnement de base des convertisseurs à semiconducteurs	132
4.3.1 Commutation	132
4.3.2 Facteurs de calcul de base pour les convertisseurs à commutation par le réseau	134
4.3.3 Perturbations et conditions de panne.....	136
5 Conditions de service	137
5.1 Code d'identification du mode de refroidissement.....	137
5.2 Conditions d'environnement	138
5.2.1 Circulation de l'air ambiant	138
5.2.2 Conditions de service normales – Températures.....	139
5.2.3 Autres conditions de service normales.....	139
5.2.4 Conditions de service anormales	140
5.3 Caractéristiques de charge.....	140
5.4 Tolérances relatives aux conditions de service.....	141
5.4.1 Conditions de service en régime permanent et temporaire.....	141
5.4.2 Transitoires répétitifs et non répétitifs.....	143
6 Équipements et ensembles de conversion de puissance.....	144
6.1 Montages électriques	144
6.2 Facteurs de calcul	145
6.2.1 Variables essentielles.....	145
6.2.2 Pertes et rendement	148
6.2.3 Facteur de puissance	149
6.2.4 Variation de tension.....	149
6.3 Compatibilité électromagnétique.....	151
6.3.1 Harmoniques	151

6.3.2	Autres aspects CEM	152
6.4	Valeurs assignées	152
6.4.1	Généralités	152
6.4.2	Valeur assignée de la tension de sortie	153
6.4.3	Valeurs assignées du courant	153
6.5	Classes de service	154
6.5.1	Principes	154
6.5.2	Choix de la classe de service et de la valeur de courant assigné	155
6.5.3	Remarques particulières aux convertisseurs doubles	156
6.6	Marquages	157
6.6.1	Généralités	157
6.6.2	Plaque signalétique	157
7	Essais des blocs de valves et des équipements de conversion de puissance	158
7.1	Généralités	158
7.1.1	Méthodes d'essais	158
7.1.2	Types d'essais	158
7.1.3	Exécution des essais	159
7.2	Essais d'isolement	160
7.2.1	Généralités	160
7.2.2	Essais individuels d'isolement des équipements de conversion de puissance	161
7.2.3	Essais supplémentaires	164
7.3	Essai de fonctionnement	164
7.3.1	Essai à faible charge et essai de fonctionnement	164
7.3.2	Essai de courant assigné	165
7.3.3	Essai d'aptitude aux surcharges	165
7.3.4	Mesure de la régulation de tension propre	165
7.3.5	Mesure de la tension et du courant d'ondulation	165
7.3.6	Mesure des courants harmoniques	165
7.4	Pertes, température et facteur de puissance	166
7.4.1	Détermination des pertes de puissance dans les blocs et les équipements	166
7.4.2	Essai d'échauffement	167
7.4.3	Mesures du facteur de puissance	168
7.5	Auxiliaires et commande	168
7.5.1	Vérification des dispositifs auxiliaires	168
7.5.2	Vérification des propriétés des circuits de commande	168
7.5.3	Vérification des dispositifs de protection	168
7.6	Essais de compatibilité électromagnétique (CEM)	169
7.7	Mesure du bruit audible et essais supplémentaires	169
7.8	Tolérances	169
	Annexe A (normative) Harmoniques et interharmoniques	171
	Annexe B (informative) Environnement électrique – Rapport de court-circuit	175
	Annexe C (normative) Protection contre les chocs électriques et les risques énergétiques	179
	Bibliographie	182
	Index des définitions	185
	Figure 1 – Types de commutation	133

Figure 2 – Exemples d'angles	134
Figure 3 – Variation de tension	135
Figure 4 – Forme d'onde de tension c.a.	144
Figure B.1 – PCC, IPC, rapport de courant d'installation et R_{SI}	177
Figure B.2 – PCC, IPC, rapport de courant d'installation et R_{SC}	178
Tableau 1 – Liste des principaux indices.....	130
Tableau 2 – Symboles	130
Tableau 3 – Critères de performances	136
Tableau 4 – Milieu de refroidissement ou fluide réfrigérant	138
Tableau 5 – Mode de circulation	138
Tableau 6 – Limite de température du milieu de refroidissement applicable aux équipements en intérieur	139
Tableau 7 – Niveaux d'immunité en fonction de la fréquence et de l'amplitude de tension pour les connexions à tension c.a. rigide	142
Tableau 8 – Niveaux d'immunité en fonction du déséquilibre de tension pour les connexions à tension c.a. rigide.....	142
Tableau 9 – Niveaux d'immunité en fonction de la forme d'onde de tension pour les connexions à tension c.a. rigide.....	143
Tableau 10 – Montages et facteurs de calcul	147
Tableau 11 – Classes de service normalisées.....	155
Tableau 12 – Exemples de cycles de charge utilisés pour le choix des classes de service.....	156
Tableau 13 – Synthèse des essais.....	160
Tableau 14 – Tensions d'essai c.a. ou c.c. applicables aux équipements directement raccordés au secteur basse tension.....	163
Tableau 15 – Tensions d'essai c.a. ou c.c. applicables aux équipements directement raccordés au secteur haute tension	163
Tableau 16 – Tolérances	170

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

CONVERTISSEURS À SEMICONDUCTEURS – EXIGENCES GÉNÉRALES ET CONVERTISSEURS COMMUTÉS PAR LE RÉSEAU –

Partie 1-1: Spécification des exigences de base

AVANT-PROPOS

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

La Norme internationale CEI 60146-1-1 a été établie par le comité d'études 22 de la CEI: Systèmes et équipements électroniques de puissance.

Cette quatrième édition annule et remplace la troisième édition publiée en 1991, son Corrigendum 1 (1993) et son Amendement 1 (1996). Cette quatrième édition constitue une révision technique.

Cette quatrième édition introduit cinq modifications principales:

- a) réédition de l'ensemble de la norme conformément aux directives en vigueur;
- b) corrections de définitions et ajouts de nouveaux termes, en particulier des termes concernant la CEM, la distorsion harmonique et la coordination de l'isolement;
- c) les tolérances relatives aux conditions de service ont été revues conformément à la série CEI 61000;

- d) les essais d'isolement ont été revus, en tenant compte de la coordination de l'isolement;
- e) ajout de trois annexes.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
22/146/FDIS	22/149/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.

Les principaux objectifs de la CEI 60146-1 sont les suivants.

Partie 1-1, CEI 60146-1-1, Spécification des exigences de base:

- établir les termes et les définitions de base;
- spécifier les conditions d'emploi qui ont une influence sur le dimensionnement;
- spécifier les exigences d'essai applicables aux convertisseurs et ensembles électroniques de puissance, ainsi qu'aux convertisseurs usuels (pour les convertisseurs spéciaux, voir la CEI/TR 60146-1-2);
- spécifier les exigences de fonctionnement de base;
- fournir les exigences d'emploi applicables aux convertisseurs de puissance à semiconducteurs.

Partie 1-2, CEI/TR 60146-1-2, Guide d'application:

- apporter des informations complémentaires relatives aux conditions d'essai et aux constituants, (par exemple: valves à semiconducteurs), lorsque ces informations sont requises pour leur utilisation dans les convertisseurs de puissance à semiconducteurs, pour compléter ou modifier les normes existantes;
- fournir des données utiles, des coefficients de calcul, des formules et des diagrammes utilisés dans la pratique des convertisseurs de puissance.

Partie 1-3, CEI 60146-1-3, Transformateurs et bobines d'inductance:

- fournir des informations supplémentaires sur les caractéristiques des transformateurs pour convertisseurs qui diffèrent de celles des transformateurs de puissance ordinaires. Pour tous les autres points, les règles spécifiées dans la CEI 60076 doivent s'appliquer aux transformateurs pour convertisseurs, dans la mesure où elles ne sont pas en contradiction avec la présente Norme internationale.

Une liste de toutes les parties de la série CEI 60146 publiées sous le titre général *Convertisseurs à semiconducteurs* peut être trouvée sur le site Internet de la CEI.

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

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

CONVERTISSEURS À SEMICONDUCTEURS – EXIGENCES GÉNÉRALES ET CONVERTISSEURS COMMUTÉS PAR LE RÉSEAU –

Partie 1-1: Spécification des exigences de base

1 Domaine d'application et objet

La présente Norme internationale spécifie les exigences relatives aux caractéristiques de fonctionnement de tous les convertisseurs électroniques de puissance à semiconducteurs, ainsi que des commutateurs électroniques de puissance à semiconducteurs utilisant des valves électroniques, commandables et/ou non commandables.

Les valves électroniques comprennent principalement des dispositifs semiconducteurs, non commandables (c'est-à-dire des diodes de redressement) ou commandables (c'est-à-dire des thyristors, triacs, thyristors à blocage de grille et transistors de puissance). Les dispositifs commandables peuvent être à blocage inverse ou à conduction inverse et commandés par un courant, une tension ou par la lumière. Les dispositifs qui ne sont pas bistables sont supposés être utilisés en mode commuté.

La présente norme est prévue en premier lieu pour spécifier les exigences de base applicables aux convertisseurs en général, ainsi que les exigences applicables aux convertisseurs à commutation par le réseau, pour la conversion puissance alternative-continue ou vice versa. Certaines parties de la présente norme sont également applicables à d'autres types de convertisseur électronique de puissance sous réserve qu'il n'existe pas de normes de produits qui leur soient propres.

Ces exigences spécifiques relatives aux équipements s'appliquent aux convertisseurs de puissance à semiconducteurs qui, soit mettent en œuvre différents modes de conversion, soit utilisent différents types de commutation (par exemple convertisseurs autocommutés à semiconducteurs), soit correspondent à des applications particulières (par exemple convertisseurs à semiconducteurs pour moteurs c.c.), voire englobent diverses propriétés spécifiques (par exemple convertisseurs directs c.c. pour matériel roulant à traction électrique).

La présente norme est applicable à tous les convertisseurs de puissance non couverts par une norme de produits dédiée, ou si ladite norme ne couvre pas des caractéristiques particulières. Il convient que les normes de produits dédiées applicables aux convertisseurs de puissance se réfèrent à la présente Norme internationale.

NOTE 1 La présente norme n'est pas destinée à définir des exigences CEM. Elle couvre tous les phénomènes et introduit par conséquent des références à des normes dédiées applicables conformément à leur domaine d'application.

NOTE 2 Une grande partie de la présente norme, notamment pour les transformateurs de puissance, est traitée dans la CEI 61378-1.

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 60050-101:1998, *Vocabulaire Electrotechnique International – Partie 101: Mathématiques*

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

CEI 60050-551-20:2001, *Vocabulaire Electrotechnique International – Partie 551-20: Electronique de puissance – Analyse harmonique*

CEI 60364-1, *Installations électriques à basse tension – Partie 1: Principes fondamentaux, détermination des caractéristiques générales, définitions*

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

CEI 60664-1:2007, *Coordination de l'isolement des matériels dans les systèmes (réseaux) basse tension – Partie 1: Principes, exigences et essais*

CEI 60700-1, *Valves à thyristors pour le transport d'énergie en courant continu à haute tension (CCHT) – Partie 1: Essais électriques*

CEI 61000 (toutes les parties), *Compatibilité électromagnétique (CEM)*

CEI 61000-2-2:2002, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 2-2: Environnement – Niveaux de compatibilité pour les perturbations conduites à basse fréquence et la transmission des signaux sur les réseaux publics d'alimentation basse tension*

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

CEI 61000-3-2, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 3-2: Limites – Limites pour les émissions de courant harmonique (courant appelé par les appareils ≤ 16 A par phase)*

CEI 61000-3-3, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 3-3: Limites – Limitation des variations de tension, des fluctuations de tension et du papillotement dans les réseaux publics d'alimentation basse tension, pour les matériels ayant un courant assigné ≤ 16 A par phase et non soumis à un raccordement conditionnel*

CEI 61000-3-11, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 3-11: Limites – Limitation des variations de tension, des fluctuations de tension et du papillotement dans les réseaux publics d'alimentation basse tension – Equipements ayant un courant appelé ≤ 75 A et soumis à un raccordement conditionnel*

CEI 61000-3-12:2004, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 3-12: Limites – Limites pour les courants harmoniques produits par les appareils connectés aux réseaux publics basse tension ayant un courant appelé > 16 A et ≤ 75 A par phase*

CEI 61000-4-7, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 4-7: Techniques d'essai et de mesure – Guide général relatif aux mesures d'harmoniques et d'interharmoniques, ainsi qu'à l'appareillage de mesure, applicable aux réseaux d'alimentation et aux appareils qui y sont raccordés*

CEI 61000-6-1, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 6-1: Normes génériques – Immunité pour les environnements résidentiels, commerciaux et de l'industrie légère*

CEI 61000-6-2, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 6-2: Normes génériques – Immunité pour les environnements industriels*

CEI 61000-6-3, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 6-3: Normes génériques – Norme sur l'émission pour les environnements résidentiels, commerciaux et de l'industrie légère*

CEI 61000-6-4, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 6-4: Normes génériques – Norme sur l'émission pour les environnements industriels*

CEI 61140, *Protection contre les chocs électriques – Aspects communs aux installations et aux matériels*

CEI 61180-1:1992, *Techniques des essais à haute tension pour matériels à basse tension – Partie 1: Définitions, prescriptions et modalités relatives aux essais*

CEI 61204-3, *Alimentations basse tension, sortie continue – Partie 3: Compatibilité électromagnétique (CEM)*

CEI 61204-7, *Alimentations basse tension, sortie continue – Partie 7: Exigences de sécurité*

CEI 61800-3, *Entraînements électriques de puissance à vitesse variable – Partie 3: Exigences de CEM et méthodes d'essais spécifiques*

CEI 61800-5-1, *Entraînements électriques de puissance à vitesse variable – Partie 5-1: Exigences de sécurité – Electrique, thermique et énergétique*

CEI 61954, *Electronique de puissance pour les réseaux électriques de transport et de distribution – Essais des valves à thyristors pour les compensateurs statiques d'énergie réactive*

IEC/PAS 61975, *Guide pour la spécification et l'évaluation de conception des filtres c.a. pour les réseaux CCHT*

CEI 62040-1, *Alimentations sans interruption (ASI) – Partie 1: Exigences générales et règles de sécurité pour les ASI*

CEI 62040-2, *Alimentations sans interruption (ASI) – Partie 2: Exigences pour la compatibilité électromagnétique (CEM)*

CEI 62103, *Equipements électroniques utilisés dans les installations de puissance*

CEI 62310-1, *Systèmes de transfert statique (STS) – Partie 1: Exigences générales et règles de sécurité*

CEI 62310-2, *Systèmes de transfert statique (STS) – Partie 2: Exigences de compatibilité électromagnétique (CEM)*

NOTE D'autres publications de la CEI sont citées pour information dans la Bibliographie.

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les définitions et les termes suivants s'appliquent.

Dans la présente norme, des définitions du VEI sont utilisées dans la mesure du possible, en particulier celles de la CEI 60050(551).

Tous les termes cités dans le présent article ne sont pas nécessairement utilisés dans la présente Norme internationale. Ils sont toutefois nécessaires pour établir une compréhension commune de l'application des convertisseurs à semiconducteurs.

La méthode adoptée est la suivante:

- a) lorsqu'une définition VEI existante nécessite de plus amples précisions ou des informations complémentaires, le titre, la référence et le texte ajouté sont fournis;
- b) des explications et des figures sont fournies en 4.3;
- c) les termes associés aux défauts et défaillances de convertisseurs sont définis dans la CEI/TR 60146-1-2.

Un index alphabétique est fourni dans l'Index des définitions.

NOTE Pour faciliter l'utilisation de cet index, une numérotation avec renvoi est fournie, sous la forme [df *n*], dans laquelle *n* représente l'entier naturel suivant l'ordre alphabétique des définitions.

3.1 Dispositifs à semiconducteurs et combinaisons

3.1.1

dispositif à semiconducteur

dispositif dont les caractéristiques électriques essentielles sont dues au déplacement de porteurs de charge dans un ou plusieurs matériaux semiconducteurs

[VEI 151-13-63] [df 68]

3.1.2

interrupteur électronique (de puissance)

ensemble fonctionnel comprenant au moins une valve électronique commandable, assurant la commande (ouverture et fermeture) électronique d'un circuit de puissance

[VEI 551-13-01] [df 102]

3.1.3

interrupteur à semiconducteurs

interrupteur électronique de puissance comportant des valves électroniques à semiconducteurs

[VEI 551-13-05] [df 101]

NOTE On utilise des termes similaires pour des interrupteurs électroniques ou des contrôleurs de puissance comportant des valves électroniques particulières, par exemple contrôleur à thyristors ou interrupteur à transistor.

3.1.4

valve non commandable

diode de redressement

valve bloquante en inverse dont le trajet de courant conduit dans le sens de conduction sans intervention d'aucun signal de commande

[VEI 551-14-04] [df 67] [df 177]

3.1.5

thyristor

dispositif à semiconducteurs bistable, comprenant trois jonctions ou plus, qui peut être commuté de l'état bloqué à l'état passant ou vice versa

[VEI 521-04-61] [df 169]

NOTE 1 Les dispositifs ayant seulement trois couches mais possédant des caractéristiques de commutation similaires à celles des thyristors à quatre couches peuvent aussi être appelés thyristors.

NOTE 2 Le terme "thyristor" est utilisé de manière générale pour désigner tout dispositif de type PNP. Il peut être utilisé seul pour tout élément de la famille des thyristors lorsqu'un tel usage ne prête pas à confusion ou à malentendu. En particulier, le terme "thyristor" est couramment employé pour le thyristor triode bloqué en inverse, antérieurement désigné par "redresseur commandé au silicium".

3.1.6

thyristor triode bloqué en inverse

thyristor à trois bornes qui pour une tension d'anode négative ne commute pas, mais présente un état bloqué en inverse

[VEI 521-04-63] [df 172]

3.1.7

thyristor triode passant en inverse

thyristor à trois bornes qui pour une tension d'anode négative ne commute pas et conduit de forts courants à des tensions d'amplitude comparable à celle de la tension directe à l'état passant

[VEI 521-04-65] [df 173]

3.1.8

thyristor triode bidirectionnel – triac

thyristor à trois bornes présentant sensiblement le même comportement en commutation dans le premier et le troisième quadrants de la caractéristique courant-tension

[VEI 521-04-67, modifié] [df 168] [df 171]

3.1.9

thyristor blocable GTO

thyristor qui peut être commuté de l'état passant à l'état bloqué et vice versa en appliquant des signaux de commande, de polarité appropriée, à la borne de gâchette

[VEI 521-04-68] [df 96] [df 170]

NOTE Egalement appelé thyristor blocable à gâchette.

3.1.10

transistor de puissance

transistor conçu pour commuter de l'état passant à l'état bloqué et vice versa en appliquant des signaux de commande, de polarité appropriée, à la borne de gâchette [df 166]

NOTE 1 La structure intrinsèque du dispositif est capable de fournir une amplification (voir VEI 521-04-46)

NOTE 2 Différentes techniques de transistors de puissance sont utilisées telles que les transistors bipolaires, transistors à effet de champ à grille isolé (IGBT), transistors à effet de champ métal-oxyde-semiconducteurs (MOSFET) etc.

3.1.11

bloc de valves

groupement unitaire d'une ou de plusieurs valves électroniques avec les dispositifs de montage et accessoires éventuels correspondants

[VEI 551-14-12] [df 6]

3.1.12

ensemble de valves

assemblage électrique et mécanique de valves électroniques ou de blocs de valves, comprenant tous ses moyens de raccordement et ses accessoires à l'intérieur de sa propre structure mécanique

NOTE Des termes similaires sont utilisés pour des blocs ou des blocs comprenant des valves électroniques particulières, par exemple bloc de diodes (composé uniquement de diodes de redressement), ensemble de thyristors (composé de thyristors seuls ou combinés avec des diodes de redressement).

[VEI 551-14-13] [df 75]

3.1.13

valve électronique

dispositif électronique indivisible assurant la conversion électronique de puissance ou l'ouverture et la fermeture électronique d'un circuit électrique de puissance unique, comportant un trajet conducteur unidirectionnel, non commandable ou commandable de façon bistable

[VEI 551-14-02] [df 176]

3.1.14

valve à semiconducteurs

valve électronique constituée d'un dispositif à semiconducteurs

[VEI 551-14-09] [df 175]

NOTE 1 Exemples typiques de valves électroniques: thyristors, diodes de redressement, transistors bipolaires, transistors à effet de champ métal-oxyde-semiconducteurs (MOSFET) et transistors à effet de champ à grille isolé (IGBT).

NOTE 2 Plusieurs valves électroniques peuvent être intégrées sur une pastille de semiconducteur (exemples: un thyristor et une diode de redressement dans un thyristor passant en inverse, un transistor de commutation de puissance à effet de champ avec sa diode inverse) ou assemblées dans un même boîtier (module de puissance à semiconducteur). Tous ces ensembles sont considérés comme des valves électroniques séparées.

3.1.15

conversion (électronique) (de puissance)

changement d'une ou de plusieurs caractéristiques d'un système électrique de puissance essentiellement sans perte de puissance notable, au moyen de valves électroniques

[VEI 551-11-02] [df 46]

NOTE Ces caractéristiques sont par exemple, l'amplitude de tension, le nombre de phases et la fréquence, y compris la fréquence nulle.

3.1.16

convertisseur (électronique) (de puissance)

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

[VEI 551-12-01, modifié] [df 54]

NOTE Les transformateurs et les filtres de convertisseur associés à un interfaçage réseau en termes de caractéristiques électriques sont exclus du convertisseur proprement dit. Ces dispositifs font partie intégrante du système. Tout dispositif nécessaire pour le bon fonctionnement du convertisseur proprement dit est intégré à ce dernier, par exemple les filtres utilisés pour limiter le rapport du/dt appliqué aux valves, les suppresseurs de transitoires, etc. Tout accessoire nécessaire pour le bon fonctionnement du convertisseur proprement dit est intégré au convertisseur, par exemple ventilateurs ou système de refroidissement.

3.1.17

dispositif de commande

dispositif à gâchette

dispositif qui fournit à partir d'un signal de commande les impulsions d'amorçage appropriées à des éléments de valve commandables d'un convertisseur ou interrupteur de puissance et qui comporte des circuits temporisateurs ou déphaseurs, des circuits générateurs d'impulsions et, en règle générale, des circuits d'alimentation [df 69]

3.1.18**équipement de commande d'un système**

équipement associé à un équipement ou à un système convertisseur de puissance qui assure le réglage automatique des caractéristiques de sortie du convertisseur en fonction d'une grandeur contrôlée (par exemple vitesse d'un moteur, force de traction, etc.) [df 76]

3.1.19**convertisseur à semiconducteurs**

convertisseur électronique de puissance comportant des valves électroniques à semiconducteurs

[VEI 551-12-42] [df 49]

NOTE On utilise des termes similaires pour les convertisseurs en général ou pour des types particuliers de convertisseurs et pour des convertisseurs comportant des valves électroniques particulières ou spéciales, par exemple: convertisseur à thyristors, onduleur à transistors.

3.1.20**équipement de conversion de puissance****PCE**

équipement comprenant le convertisseur électronique de puissance et les accessoires nécessaires pour le fonctionnement du convertisseur proprement dit, voire d'autres éléments dédiés à l'application, et où ces éléments ne peuvent pas être séparés physiquement sans empêcher le convertisseur de fonctionner [df 77]

3.1.21**système de conversion de puissance**

système comprenant un équipement de conversion de puissance et des constituants associés nécessaires à l'application, par exemple appareillage de commutation, bobines de réactance ou transformateurs, filtres dédiés, etc. [df 148]

3.2 Bras et connexions**3.2.1****bras de (valve)**

partie du circuit d'un convertisseur ou d'un interrupteur électronique de puissance limitée par deux bornes à courant alternatif ou à courant continu quelconques, et comprenant une ou plusieurs valves électroniques conduisant simultanément, connectées entre elles et éventuellement à d'autres constituants

[VEI 551-15-01] [df 12]

3.2.2**bras principal**

bras de valve concerné par le transfert principal de puissance entre les deux côtés du convertisseur ou de l'interrupteur électronique

[VEI 551-15-02] [df 15]

3.2.3**bras auxiliaire**

bras de valve autre qu'un bras principal

NOTE Quelquefois un bras auxiliaire remplit temporairement plusieurs des fonctions suivantes: bras de shuntage, bras de roue libre, bras d'extinction ou bras de retour.

[VEI 551-15-05] [df 7]

3.2.4

bras de shuntage

bras auxiliaire fournissant un trajet conducteur permettant la circulation du courant sans échange de puissance entre la source et la charge

[VEI 551-15-06] [df 11]

3.2.5

bras de roue libre

bras de shuntage ne contenant que des valves non commandables

[VEI 551-15-07] [df 10]

3.2.6

bras d'extinction

bras auxiliaire destiné à dériver temporairement et sans intermédiaire le courant d'un bras de valve en conduction consistant en une ou plusieurs valves à accrochage ne pouvant être bloquées par un signal de commande

[VEI 551-15-08] [df 13]

3.2.7

bras de retour

bras de valve destiné à transférer une partie de la puissance de la charge vers la source

[VEI 551-15-09] [df 9]

3.2.8

montage de convertisseur

disposition électrique de bras de valve et d'autres composants essentiels pour le fonctionnement du circuit de puissance principal d'un convertisseur

[VEI 551-15-10] [df 113]

NOTE La pratique courante utilise également le terme « topologie » du convertisseur avec la même signification.

3.2.9

montage de base d'un convertisseur

disposition électrique des bras principaux d'un convertisseur

[VEI 551-15-11] [df 112]

3.2.10

montage à simple voie (d'un convertisseur)

montage convertisseur dans lequel chaque borne de phase du circuit à courant alternatif est parcourue par un courant unidirectionnel

[VEI 551-15-12] [df 111]

3.2.11

montage à double voie (d'un convertisseur)

montage convertisseur dans lequel chaque borne de phase du circuit à courant alternatif est parcourue par un courant bidirectionnel

[VEI 551-15-13] [df 110]

3.2.12**montage en pont**

montage de paires de bras à double voie dans lequel les bornes centrales sont les bornes de phase du circuit à courant alternatif, et les bornes extérieures de même polarité sont raccordées ensemble et sont les bornes à courant continu

[VEI 551-15-14] [df 114]

3.2.13**montage homogène**

montage dont les bras principaux sont ou bien tous commandables ou bien tous non commandables

[VEI 551-15-15] [df 118]

3.2.14**montage hétérogène****montage mixte**

montage constitué par des bras principaux en partie commandables et en partie non commandables

[VEI 551-15-18] [df 117]

3.2.15**montage en série**

montage de plusieurs bipôles de façon qu'ils forment un seul chemin

[VEI 131-12-75] [df 115]

3.2.16**montage en série de convertisseurs**

montage en série dans lequel deux convertisseurs ou plus sont connectés de manière telle que leurs tensions s'ajoutent [df 116]

3.2.17**montage survolteur/dévolteur**

montage en série de plusieurs convertisseurs dont les tensions continues s'ajoutent ou se soustraient, suivant l'arrangement de leurs connexions individuelles

[VEI 551-15-21] [df 119]

3.3 Commandabilité des bras de convertisseurs et quadrants de fonctionnement (côté continu)**3.3.1****bras commandé**

bras de convertisseur comprenant une ou plusieurs valves commandables [df 8]

3.3.2**bras non commandé**

bras de convertisseur ne comprenant que des valves non commandables [df 14]

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

quadrant du plan tension/courant défini par la polarité de la tension continue et le sens du courant [df 131]

3.3.4

convertisseur à un quadrant

convertisseur alternatif/continu ou convertisseur de courant continu à un seul sens de circulation de la puissance en courant continu

[VEI 551-12-34] [df 50]

3.3.5

convertisseur à deux quadrants

convertisseur alternatif/continu ou convertisseur de courant continu à deux sens possibles de circulation de la puissance en courant continu associés à une direction du courant continu et à deux directions de la tension continue ou vice versa

[VEI 551-12-35] [df 47]

3.3.6

convertisseur à quatre quadrants

convertisseur alternatif/continu ou convertisseur de courant continu à deux sens possibles de circulation de la puissance en courant continu associés à deux directions de la tension continue et à deux directions du courant continu

[VEI 551-12-36] [df 48]

3.3.7

convertisseur réversible

convertisseur bidirectionnel

convertisseur dans lequel le sens de circulation de la puissance peut être inversé

[VEI 551-12-37] [df 52] [df 55]

NOTE Le terme « convertisseur bidirectionnel » correspond à la pratique courante, et fournit une meilleure description du sens de circulation du courant bidirectionnel dans le convertisseur.

3.3.8

convertisseur simple

convertisseur réversible alternatif/continu unidirectionnel pour le courant continu

[VEI 551-12-38] [df 56]

3.3.9

convertisseur double

convertisseur réversible alternatif/continu bidirectionnel pour le courant continu

[VEI 551-12-39] [df 53]

3.3.10

section convertisseur d'un convertisseur double

partie d'un convertisseur double dans laquelle le courant continu principal circule toujours dans le même sens lorsqu'il est vu depuis les bornes côté continu

[VEI 551-12-40] [df 146]

3.3.11

commande de phase

processus consistant à faire varier l'instant de la période à partir duquel commence la conduction de courant dans une valve électronique ou dans un bras de valve

[VEI 551-16-23] [df 27]

3.3.12**commande d'amorçage**

commande qui provoque l'amorçage d'une valve à accrochage ou d'un bras composé de telles valves

[VEI 551-15-61] [df 26]

3.4 Commutation, extinction et circuits de commutation**3.4.1****commutation**

dans un convertisseur électronique de puissance, transfert du courant d'un bras conducteur dans le bras suivant sans interruption du courant, les deux bras conduisant simultanément pendant un intervalle de temps fini

[VEI 551-16-01] [df 28]

3.4.2**extinction sans commutation**

interruption de la conduction du courant dans un bras sans commutation

[VEI 551-16-19] [df 81]

3.4.3**commutation directe**

commutation entre deux bras principaux, sans transfert à travers un ou plusieurs bras auxiliaires

[VEI 551-16-09] [df 31]

3.4.4**commutation indirecte**

suite de commutations d'un bras principal à un autre, ou de retour au même bras principal, au moyen de commutations successives par l'intermédiaire d'un ou de plusieurs bras auxiliaires

[VEI 551-16-10] [df 33]

3.4.5**commutation externe**

commutation dans laquelle la tension de commutation est fournie par une source extérieure au convertisseur ou à l'interrupteur électronique

[VEI 551-16-11] [df 32]

3.4.6**commutation par le réseau**

commutation externe dans laquelle la tension de commutation est fournie par le réseau

[VEI 551-16-12] [df 38]

3.4.7**commutation par la charge**

commutation externe dans laquelle la tension de commutation est fournie par une charge autre que celle du réseau

[VEI 551-16-13] [df 36]

3.4.8

commutation par machine

commutation externe dans laquelle la tension de commutation est fournie par une machine tournante

[VEI 551-16-14] [df 39]

3.4.9

commutation par la charge résonante

méthode de commutation par la charge dans laquelle la tension de commutation est fournie par la charge, en utilisant sa résonance [df 37]

3.4.10

commutation autonome

commutation dans laquelle la tension de commutation est fournie par des composants inclus dans le convertisseur ou l'interrupteur électronique

[VEI 551-16-15] [df 29]

3.4.11

commutation par condensateur

méthode de commutation autonome dans laquelle la tension de commutation est fournie par des condensateurs inclus dans le circuit de commutation

[VEI 551-16-17] [df 34]

3.4.12

commutation capacitive à couplage inductif

méthode de commutation capacitive dans laquelle le circuit des condensateurs est couplé par induction au circuit de commutation [df 30]

3.4.13

commutation par extinction forcée

méthode de commutation autonome dans laquelle la tension de commutation est fournie par le blocage de la valve électronique conductrice par un signal de commande

NOTE La valve suivante est amorcée simultanément.

[VEI 551-16-16] [df 35]

3.4.14

extinction par valve

méthode d'extinction sans commutation dans laquelle l'extinction est produite par la valve électronique elle-même

[VEI 551-16-20] [df 80]

3.4.15

extinction externe

méthode d'extinction sans commutation dans laquelle l'extinction résulte de causes externes à la valve

[VEI 551-16-21] [df 79]

NOTE Dans les convertisseurs à commutation par le réseau, l'extinction externe se produit en régime de conduction discontinue.

3.5 Caractéristiques de commutation

3.5.1

circuit de commutation

circuit constitué par les bras commutants et la source fournissant la tension de commutation

[VEI 551-16-03] [df 21]

3.5.2

tension de commutation

tension qui provoque la commutation de courant

[VEI 551-16-02] [df 163]

3.5.3

inductance de commutation

inductance totale comprise dans le circuit de commutation

[VEI 551-16-07] [df 100]

NOTE Pour les convertisseurs à commutation par le réseau ou par une machine, la réactance de commutation est l'impédance de l'inductance de commutation à la fréquence fondamentale.

3.5.4

intervalle de commutation

intervalle de temps au cours duquel les bras commutants conduisent simultanément le courant principal

[VEI 551-16-04] [df 103]

3.5.5

angle d'empiètement

μ

durée de la commutation exprimée en mesure angulaire

[VEI 551-16-05] [df 2]

NOTE Egalement appelé angle à empiètement μ .

3.5.6

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] [df 74]

3.5.7

transitoire répétitif de commutation

oscillation de tension associée à l'encoche de commutation [df 167]

3.5.8

groupe commutant

groupe de bras principaux qui commutent cycliquement entre eux sans commutation intermédiaire du courant vers d'autres bras principaux

[VEI 551-16-08] [df 95]

3.5.9

indice de commutation q

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

[VEI 551-17-03] [df 98]

3.5.10

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 élémentaire

[VEI 551-17-01] [df 99]

3.5.11

angle de retard de l'ordre d'amorçage

α

dans le cas de la commande de phase, durée exprimée en mesure angulaire pendant laquelle l'impulsion d'amorçage est retardée par rapport à un instant de référence

NOTE Pour les convertisseurs commutés par le réseau, par 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] [df 3]

3.5.12

angle d'avance de l'ordre d'amorçage

β

durée exprimée en mesure angulaire pendant laquelle l'impulsion d'amorçage est avancée par rapport à l'instant de référence

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

[VEI 551-16-34] [df 1]

3.5.13

angle de retard propre

α_p

angle de retard à l'amorçage apparaissant, même en l'absence de commande de phase, et provoqué par empiètement multiple

[VEI 551-16-35] [df 4]

NOTE L'empiètement multiple se produit sur des convertisseurs à commutation par le réseau, pour des valeurs élevées de l'angle d'empiètement.

3.5.14

angle d'extinction

γ

durée, exprimée en mesure angulaire, entre l'instant d'extinction du courant de bras et le moment où le bras doit supporter un front raide de montée de la tension [df 5]

3.5.15

intervalle de suppression

intervalle entre l'instant où le courant de conduction dans une valve à accrochage s'annule et l'instant où cette même valve est appelée à supporter à nouveau une tension directe à l'état bloqué

[IEV 551-16-45] [df 104]

3.6 Valeurs assignées

3.6.1

valeur assignée

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

[VEI 151-16-08] [df 174]

NOTE 1 La grandeur peut décrire des propriétés électriques, thermiques, mécaniques ou environnementales.

NOTE 2 Dans le cas des convertisseurs à semiconducteurs, les valeurs assignées s'appliquent habituellement à une valve à semiconducteurs, un ensemble de valves ou un convertisseur.

NOTE 3 La valeur nominale d'un réseau (par exemple tension nominale, VEI 601-01-21) est souvent égale à la valeur assignée correspondante du matériel lorsque les deux valeurs sont dans les limites de tolérance d'une grandeur.

NOTE 4 A la différence de nombreux autres composants électriques, les semiconducteurs peuvent être détruits même pour un temps très court de fonctionnement si des valeurs maximales assignées sont dépassées.

NOTE 5 Il convient que les variations des valeurs assignées soient spécifiées. Certaines valeurs assignées sont des valeurs limites. Ces valeurs limites peuvent être soit maximales soit minimales.

3.6.2

fréquence assignée (pour les convertisseurs et leurs transformateurs)

f_N

fréquence spécifiée du côté alternatif du convertisseur [df 90]

3.6.3

tension assignée du côté réseau (pour les convertisseurs et leurs transformateurs)

U_{LN}

valeur efficace spécifiée de la tension entre les conducteurs côté réseau du convertisseur [df 155]

Si l'enroulement du transformateur côté réseau comporte des prises, la valeur assignée de la tension côté réseau doit correspondre à une prise spécifiée qui est en fait la prise principale.

3.6.4

tension assignée côté valve du transformateur (pour les convertisseurs et leurs transformateurs)

U_{vN}

valeur efficace de la tension à vide entre les bornes de phases de commutation, vectoriellement successives, de l'enroulement du transformateur côté valve pour la tension assignée côté réseau dudit transformateur [df 154]

NOTE Si le convertisseur ne comporte pas de transformateur, au sein de l'enveloppe d'un convertisseur pour raccordement direct, la tension assignée côté valve est la tension assignée côté réseau du convertisseur.

3.6.5

courant assigné côté réseau (pour les convertisseurs et leurs transformateurs)

I_{LN}

valeur efficace maximale du courant du convertisseur côté réseau dans les conditions assignées [df 57]

NOTE 1 Cette valeur tient compte de la charge assignée et de la combinaison la plus sévère de toutes les autres conditions dans leurs gammes spécifiées, par exemple variations de la tension et de la fréquence du réseau.

NOTE 2 Pour les équipements polyphasés, cette valeur est calculée d'après le courant continu assigné sur la base d'ondes rectangulaires de courant dans les bras du convertisseur.

Il convient de spécifier la base de calcul dans le cas des équipements monophasés.

NOTE 3 Le courant assigné de réseau comprend les courants fournis aux circuits auxiliaires du convertisseur. Il tient compte également de l'effet de l'ondulation du courant continu et du courant de circulation, s'il y a lieu.

3.6.6

courant assigné côté valve (pour les convertisseurs et leurs transformateurs)

I_{VN}

valeur efficace maximale du courant du convertisseur côté valve dans les conditions assignées [df 58]

NOTE 1 Cette valeur tient compte de la charge assignée et de la combinaison la plus sévère de toutes les autres conditions dans leurs gammes spécifiées, par exemple variations de la tension et de la fréquence du réseau.

NOTE 2 Pour les équipements polyphasés, cette valeur est calculée d'après le courant continu assigné sur la base d'ondes rectangulaires de courant dans les bras du convertisseur.

NOTE 3 Il convient de spécifier la base de calcul dans le cas des équipements monophasés.

3.6.7

puissance apparente assignée côté réseau (pour les convertisseurs et leurs transformateurs)

S_{LN}

puissance apparente totale aux bornes côté réseau à la fréquence assignée, à la tension assignée côté réseau et au courant assigné côté réseau [df 128]

3.6.8

tension continue assignée

U_{dN}

valeur moyenne, spécifiée par le constructeur, de la tension continue entre les bornes à courant continu du bloc ou du groupe, pour le courant continu assigné [df 156]

3.6.9

courant continu assigné

I_{dN}

valeur moyenne du courant continu spécifiée par le constructeur pour des conditions de charge et de service déterminées [df 63]

NOTE Cette valeur peut être désignée comme la valeur 1,0 p.u., à laquelle d'autres valeurs de I_d sont comparées.

3.6.10

courant continu permanent assigné (valeur maximale)

I_{dMN}

valeur moyenne du courant continu qu'un bloc ou un convertisseur est capable de supporter en régime permanent sans dommage et pour des conditions de service spécifiées [df 66]

NOTE 1 Le courant continu permanent assigné d'un bloc convertisseur est très souvent nettement plus élevé que le courant continu assigné de l'équipement complet correspondant.

NOTE 2 Le courant continu permanent d'un bloc peut être limité par d'autres constituants que le semiconducteur.

3.6.11

courant continu maximal de crête

I_{dSMN}

valeur moyenne du courant continu qu'un bloc ou un convertisseur est capable de supporter sans dommage, pendant une courte durée spécifiée, en commençant par une durée non définie à la valeur de courant assignée, suivi d'une période temporaire à vide [df 64]

NOTE La valeur et la durée du courant de pointe (courant continu maximal de crête I_{dSMN}), ainsi que la durée minimale de fonctionnement à vide avant de supporter tout nouveau courant, participent à la définition du courant continu maximal de crête.

3.6.12

courant continu maximal de crête intermittent

I_{dRMN}

valeur moyenne du courant continu qu'un bloc ou un convertisseur est capable de supporter sans dommage, pendant une courte durée spécifiée et de façon intermittente, en commençant

par toute valeur de courant inférieure ou égale à la valeur de courant assignée, puis en revenant à toute valeur de courant inférieure ou égale à la valeur de courant assignée [df 65]

NOTE La valeur et la durée du courant de pointe (courant continu maximal de crête intermittent I_{dRMN}), ainsi que la durée minimale entre les applications de charges de crête intermittentes participent à la définition du courant continu maximal de crête intermittent.

3.6.13

courant assigné pour le service de charge de pointe (service temporaire)

valeur moyenne du courant continu qu'un bloc ou un convertisseur est capable de supporter, pendant une durée spécifiée et dans des conditions de service déterminées, associée à la valeur de courant continu maximale de crête pendant une courte durée [df 59]

NOTE Les caractéristiques du courant continu maximal associé I_{dSMN} participent à la définition du service temporaire.

3.6.14

courant assigné pour service continu avec surcharges de crête

valeur moyenne du courant continu qu'un bloc ou un convertisseur est capable de supporter, pendant une durée illimitée et dans des conditions de service spécifiées, avec un courant continu maximal de crête intermittent d'amplitudes et de durées spécifiées [df 60]

NOTE Les caractéristiques du courant continu maximal de crête intermittent associé I_{dRMN} participent à la définition du courant assigné pour un service continu avec application de surcharges de crête.

3.6.15

courant assigné pour un service de charge répétitive (service périodique)

courant continu assigné du bloc ou du convertisseur, spécifié comme la valeur efficace du courant de charge, calculée sur la période du cycle de charge [df 61]

NOTE Il convient de spécifier la classe de service sous la forme d'une suite de valeurs de courants en spécifiant leurs durées.

3.6.16

puissance assignée côté courant continu

produit de la tension continue assignée et du courant continu assigné [df 129]

NOTE Du fait de l'ondulation du courant et de la tension, la puissance mesurée côté courant continu peut différer de la puissance assignée côté continu telle que définie.

3.7 Tensions, courants et facteurs spécifiques

3.7.1

tension continue fictive à vide

U_{di}

tension à vide théorique d'un convertisseur alternatif-continu en supposant qu'il n'y a ni réduction de tension par réglage de phase, ni tensions de seuil des valves électroniques, ni remontée de tension aux faibles charges

[VEI 551-17-15] [df 159]

3.7.2

tension continue fictive à vide avec réglage

U_{dia}

tension à vide théorique d'un convertisseur alternatif/continu correspondant à un angle de retard spécifié de l'ordre d'amorçage en supposant qu'il n'y a ni tensions de seuil des valves électroniques, ni remontée de tension aux faibles charges

[VEI 551-17-16] [df 160]

3.7.3

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) à angle de retard de l'ordre d'amorçage nul, c'est-à-dire sans réglage de phase

[VEI 551-17-17] [df 157]

NOTE U_{di} est égale à la somme de U_{d0} et de la chute de tension à vide dans le bloc.

3.7.4

tension continue conventionnelle à vide avec réglage

$U_{d0\alpha}$

valeur moyenne de la tension continue correspondant à un angle de retard de l'ordre d'amorçage spécifié, 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 551-17-18] [df 158]

NOTE $U_{di\alpha}$ est égale à la somme de $U_{d0\alpha}$ et de la chute de tension à vide dans le bloc.

3.7.5

tension continue réelle à vide

U_{d00}

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

[VEI 551-17-19] [df 161]

3.7.6

chute de tension continue

différence entre la tension continue conventionnelle à vide et la tension continue en charge, pour un même angle de retard de l'ordre d'amorçage ne tenant pas compte de l'effet correctif d'une stabilisation éventuelle de tension

[VEI 551-17-21] [df 18]

NOTE 1 Si l'on utilise un dispositif de régulation de tension, se reporter également à 3.7.9.

NOTE 2 La nature du circuit à courant continu (par exemple condensateurs, charge électromotrice de retour) peut influencer notablement la variation de tension. Lorsque tel est le cas, une attention toute particulière peut être requise.

3.7.7

chute propre de tension intrinsèque

variation de tension continue ne tenant pas compte de l'effet de l'impédance du réseau à courant alternatif

[VEI 551-17-22] [df 19]

3.7.8

chute totale de tension continue

variation de tension continue tenant compte de l'effet de l'impédance du réseau à courant alternatif

[VEI 551-17-23] [df 20]

3.7.9**plage de tolérances de la tension de sortie**

plage spécifiée des valeurs, en régime établi, d'une tension de sortie stabilisée autour de sa valeur nominale ou de sa valeur de réglage [df 127]

3.7.10**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] [df 62]

3.7.11**facteur de conversion**

rapport de la puissance de sortie fondamentale ou de la puissance de sortie en courant continu à la puissance d'entrée fondamentale ou à la puissance d'entrée en courant continu

[VEI 551-17-10] [df 82]

NOTE 1 La puissance fondamentale (VEI 551-17-08) constitue la puissance active déterminée par les composantes fondamentales de la tension et du courant.

NOTE 2 Pour les besoins de la présente définition, la puissance en courant continu constitue le produit de la valeur moyenne de la tension et de la valeur moyenne du courant.

3.7.12**rendement**

rapport de la puissance de sortie à la puissance d'entrée du convertisseur [df 141]

NOTE 1 Dans le facteur de conversion, la puissance des composantes alternatives côté continu n'est pas prise en compte. Dans le rendement, elle est incluse dans la puissance côté continu. Par conséquent, le facteur de conversion a une valeur inférieure pour la conversion du courant alternatif en courant continu. Pour un convertisseur monophasé à deux impulsions (et à deux alternances), avec charge résistive, la valeur maximale théorique du facteur de conversion est 0,81 p.u., où 1,0 p.u. représente le rendement maximal.

NOTE 2 Le facteur de conversion ne peut être obtenu correctement que par la mesure de la puissance fondamentale c.a. et de la tension et du courant continus. Le rendement peut être obtenu correctement, soit par la mesure des puissances côté continu et côté alternatif, soit par le calcul ou la mesure des pertes internes.

NOTE 3 Il faut tenir compte de la puissance active (valeur moyenne de la puissance) côté alternatif, et de la valeur moyenne de la puissance côté continu.

3.7.13**facteur de puissance**

λ

en régime périodique, rapport de la valeur absolue de la puissance active P à la puissance apparente S

$$\lambda = \frac{|P|}{S}$$

NOTE En régime sinusoïdal, le facteur de puissance est la valeur absolue du facteur de puissance active.

[VEI 131-11-46] [df 84]

3.7.14**facteur de puissance de l'onde fondamentale,
facteur de déphasage tension-courant** **$\cos \varphi_1$**

en régime périodique, rapport de la puissance active des composantes fondamentales P_1 à la puissance apparentes des composantes fondamentales S_1

$$\cos \varphi_1 = \frac{P_1}{S_1} \quad [\text{df } 85] [\text{df } 86]$$

NOTE Le VEI 131-11-48 définit le déphasage tension-courant comme suit: « en régime sinusoïdal, différence de phase entre la tension électrique appliquée à un bipôle linéaire, élémentaire ou non, et le courant électrique dans le bipôle ». La note suivante est ajoutée: «Le cosinus du déphasage tension-courant est le facteur de puissance active. »

3.7.15**facteur de déformation** **ν**

rapport du facteur de puissance total λ sur le facteur de déphasage tension-courant $\cos \varphi_1$

$$\nu = \frac{\lambda}{\cos \varphi_1} \quad [\text{df } 83]$$

NOTE Lorsque la tension est sinusoïdale, le facteur de déformation équivaut au facteur fondamental. Voir Note 2 de 3.10.14.

3.8 Refroidissement**3.8.1****milieu de refroidissement**

liquide (par exemple eau) ou gaz (par exemple air) qui absorbe la chaleur produite par l'équipement [df 109]

3.8.2**fluide réfrigérant**

liquide (par exemple eau) ou gaz (par exemple air) inclus dans l'équipement destiné à transporter la chaleur de la source vers un échangeur d'où la chaleur est extraite par le milieu de refroidissement [df 88]

3.8.3**refroidissement direct**

mode de refroidissement dans lequel le milieu de refroidissement est en contact direct avec les parties de l'équipement à refroidir, c'est-à-dire n'utilisant pas de fluide réfrigérant [df 136]

3.8.4**refroidissement indirect**

mode de refroidissement dans lequel un fluide réfrigérant est utilisé pour transporter la chaleur depuis la partie à refroidir jusqu'au milieu de refroidissement [df 138]

3.8.5**refroidissement naturel****convection**

mode de circulation du fluide de refroidissement (milieu de refroidissement ou fluide réfrigérant), utilisant la variation de masse volumique (densité) avec la température [df 45]
[df 140]

3.8.6**refroidissement forcé**

mode de circulation du milieu de refroidissement ou du fluide réfrigérant utilisant un (des) ventilateur(s), brasseur(s) ou pompe(s) [df 137]

3.8.7**refroidissement mixte**

mode de circulation du milieu de refroidissement ou du fluide réfrigérant, utilisant la circulation naturelle ou la circulation forcée suivant les circonstances [df 139]

NOTE La circulation mixte peut être appliquée à faible charge ou en surcharge ou dans le cas de fonctionnement de secours.

3.8.8**température d'équilibre**

température de régime permanent atteinte par un composant du convertisseur dans des conditions spécifiées de charge et de refroidissement [df 150]

NOTE Les températures de régime permanent sont en général différentes pour des composants différents. Les temps nécessaires pour atteindre le régime permanent (stabilisation) sont également différents et augmentent avec les constantes de temps thermiques.

3.8.9**température de l'air ambiant**

température de l'air environnant l'équipement de conversion de puissance, mesurée à mi-distance de tout équipement voisin, mais pas à plus de 300 mm de l'enceinte, à mi-hauteur de celle-ci, en un point abrité du rayonnement thermique direct de l'équipement

[VEI 441-11-13, modifié] [df 149]

3.8.10**température du milieu de refroidissement pour refroidissement par air et par gaz**

température moyenne mesurée à l'extérieur de l'équipement en des points distants de 50 mm de l'entrée de l'équipement [df 152]

NOTE Pour l'évaluation de la proportion de chaleur rayonnée, la température ambiante est celle définie en 3.8.9.

3.8.11**température du milieu de refroidissement pour refroidissement par liquide**

température mesurée dans la canalisation à 100 mm en amont de l'entrée du liquide [df 153]

3.8.12**température du fluide réfrigérant**

température du fluide réfrigérant mesurée en un point qui doit être défini par le fournisseur [df 151]

3.9 Tolérances relatives aux conditions de service et compatibilité électromagnétique**3.9.1****compatibilité électromagnétique****CEM**

aptitude d'un appareil ou d'un système à fonctionner dans son environnement électromagnétique de façon satisfaisante et sans produire lui-même des perturbations électromagnétiques intolérables pour tout ce qui se trouve dans cet environnement

[VEI 161-01-07] [df 40]

3.9.2

émission (électromagnétique)

processus par lequel une source fournit de l'énergie électromagnétique vers l'extérieur

[VEI 161-01-08] [df 73]

3.9.3

niveau d'émission d'un convertisseur

niveau d'une perturbation électromagnétique donnée, émise par un convertisseur utilisé dans des conditions déterminées et mesurée selon une méthode spécifique

[VEI 161-03-11, modifié] [df 120]

3.9.4

perturbation électromagnétique

phénomène électromagnétique susceptible de créer des troubles de fonctionnement d'un dispositif, d'un appareil ou d'un système, ou d'affecter défavorablement la matière vivante ou inerte

[VEI 161-01-05] [df 126]

3.9.5

niveau de perturbation électromagnétique

niveau d'une perturbation électromagnétique existant à un endroit donné et résultant de la contribution de toutes les sources de perturbation

[VEI 161-03-29] [df 121]

3.9.6

niveau de référence de la perturbation produite par un convertisseur

niveau estimé de la perturbation produite par un convertisseur lorsque les conditions réelles de service ne sont pas connues et que les conditions assignées de service sont utilisées pour calculer ou mesurer le niveau de perturbation [df 122]

NOTE Le niveau de perturbation dépend généralement de l'impédance de la source d'alimentation, qui ne peut être considérée comme une grandeur propre du convertisseur.

3.9.7

immunité à une perturbation

aptitude d'un dispositif, d'un appareil ou d'un système à fonctionner sans dégradation en présence d'une perturbation électromagnétique

[VEI 161-01-20] [df 97]

3.9.8

niveau d'immunité d'un convertisseur

valeur spécifiée d'un niveau de perturbation électromagnétique en dessous duquel un convertisseur est destiné à satisfaire aux performances requises, à continuer de fonctionner ou à prévenir tout dommage

[VEI 161-03-14, modifié] [df 123]

3.9.9

puissance de court-circuit relative

R_{sc}

rapport de la puissance de court-circuit de la source à la puissance apparente assignée côté réseau des convertisseurs [df 130]

NOTE 1 R_{sc} se rapporte à un point du réseau, pour des conditions spécifiées de fonctionnement et pour une configuration spécifiée du réseau.

NOTE 2 Depuis la première édition de la CEI 60146-1-1, le terme a été modifié de « puissance apparente fondamentale côté réseau des convertisseurs » en « puissance apparente assignée côté réseau des convertisseurs », afin de maintenir une certaine cohérence avec les définitions adoptées dans d'autres comités d'études de la CEI (TC 77).

NOTE 3 La série CEI 61000-3 définit le rapport de court-circuit comme la puissance de court-circuit de la source au PCC, et non comme la puissance de court-circuit de la source à l'IPC d'utilisation du convertisseur. Le risque de confusion est clarifié à l'Article B.2 de la présente Norme internationale.

3.10 Distorsion harmonique

Pour les besoins des définitions afférentes aux distorsions harmoniques, le symbole Q est utilisé pour représenter une grandeur qui est davantage adaptée dans toute application (exemple U pour tension, I pour courant). Dans les autres parties de la présente norme, Q est le symbole utilisé pour la puissance réactive (voir Tableau 2). Les explications à l'appui de ces définitions sont données à l'Annexe A.

3.10.1

PC, PCC, IPC

ces définitions sont données dans la CEI 61000-2-4 [df 125]

NOTE Les définitions sont:

- PC: point de couplage pour chacun des cas suivants;
- PCC (point de couplage commun sur un réseau public): point électriquement le plus proche d'une charge particulière, situé sur le réseau public de distribution d'énergie, auquel d'autres charges sont ou pourraient être raccordées;
- IPC (point de couplage interne): point électriquement le plus proche d'une charge particulière, situé sur un réseau à l'intérieur d'un système ou d'une installation, auquel d'autres charges sont ou pourraient être raccordées.

3.10.2

fréquence fondamentale

fréquence de la composante fondamentale

[VEI 551-20-03] [df 91]

3.10.3

composante fondamentale (d'une série de Fourier) fondamental

composante sinusoïdale de la décomposition en série de Fourier d'une grandeur périodique dont la fréquence est la fréquence de la grandeur elle-même

NOTE Pour l'analyse pratique, il peut être nécessaire de procéder à une approximation de la périodicité.

[VEI 551-20-01] [df 41][df 89]

3.10.4

composante fondamentale de référence

composante sinusoïdale de la décomposition en série de Fourier d'une grandeur périodique dont la fréquence est celle à laquelle toutes les autres composantes sont référencées et qui n'est pas la composante fondamentale

NOTE 1 Lorsqu'il est clairement établi dans le contexte qu'il est question de la composante fondamentale de référence, on peut omettre le qualificatif « de référence », mais cette norme ne recommande pas cet usage.

NOTE 2 Pour l'analyse pratique, il peut être nécessaire de procéder à une approximation de la périodicité.

NOTE 3 En électronique de puissance, la composante à la fréquence du réseau d'alimentation à courant alternatif ou à la fréquence des grandeurs de sortie du convertisseur est souvent choisie comme composante fondamentale de référence.

[VEI 551-20-02] [df 42]

3.10.5

fréquence fondamentale de référence

fréquence de la composante fondamentale de référence

NOTE Lorsqu'il est clairement établi dans le contexte qu'il est question de la composante fondamentale de référence, on peut omettre le qualificatif « de référence », mais la présente Norme internationale ne recommande pas cet usage.

[VEI 551-20-04] [df 92]

3.10.6

fréquence harmonique

fréquence qui est un multiple entier supérieur à 1 de la fréquence fondamentale ou de la fréquence fondamentale de référence

[VEI 551-20-05] [df 93]

NOTE Le rapport de la fréquence harmonique à la fréquence fondamentale, ou à la fréquence fondamentale de référence, est appelé rang harmonique (notation recommandée « h »).

3.10.7

composante harmonique

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

[VEI 551-20-07] [df 43]

NOTE 1 Pour des raisons de concision, ce type de composante peut être désigné simplement par le terme « harmonique ».

NOTE 2 Pour l'analyse pratique, il peut être nécessaire de procéder à une approximation de la périodicité.

NOTE 3 La valeur est normalement exprimée comme une valeur efficace.

3.10.8

fréquence interharmonique

fréquence qui est un multiple non entier de la fréquence fondamentale de référence

[VEI 551-20-06] [df 94]

NOTE 1 Par extension du rang harmonique, le rang interharmonique désigne le rapport de la fréquence interharmonique à la fréquence fondamentale de référence. Ce rapport n'est pas un entier (notation recommandée « m »).

NOTE 2 Lorsque « $m < 1$ », le terme de fréquence sous-harmonique peut également être employé (voir VEI 551-20-10).

3.10.9

composante interharmonique

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

[VEI 551-20-08] [df 44]

NOTE 1 Pour des raisons de concision, ce type de composante peut être désigné simplement par le terme « interharmonique ».

NOTE 2 Pour l'analyse pratique, il peut être nécessaire de procéder à une approximation de la périodicité.

NOTE 3 La valeur est normalement exprimée comme une valeur efficace.

NOTE 4 Comme indiqué dans la CEI 61000-4-7, la fenêtre temporelle a une largeur de 10 périodes fondamentales (systèmes de 50 Hz) ou de 12 périodes fondamentales (systèmes de 60 Hz), c'est-à-dire approximativement 200 ms. La différence de fréquence entre deux composantes interharmoniques consécutives est, par conséquent, d'environ 5 Hz. Dans le cas d'autres fréquences fondamentales, il convient de choisir la fenêtre temporelle entre 6 périodes fondamentales (environ 1 000 ms à 6 Hz) et 18 périodes fondamentales (environ 100 ms à 180 Hz).

3.10.10

résidu harmonique

somme des composantes harmoniques d'une grandeur périodique

[VEI 551-20-12] [df 144]

NOTE 1 Le résidu harmonique est une fonction du temps.

NOTE 2 Pour l'analyse pratique, il peut être nécessaire de procéder à une approximation de la périodicité.

NOTE 3 Le résidu harmonique dépend du choix de la composante fondamentale. En cas d'ambiguïté dans le contexte, il convient d'indiquer de quelle composante il s'agit.

NOTE 4 La valeur efficace du résidu de distorsion est

$$HC = \sqrt{\sum_{h=2}^{h=H} Q_h^2}$$

où

Q représente le courant ou la tension;

h désigne le rang harmonique;

H est égal à 50 pour les besoins de la présente Norme internationale. Cette valeur a été longtemps égale à 40 dans les normes associées à l'électronique de puissance. Il convient désormais qu'elle soit égale à 50 conformément à la CEI 61000-2-2 et à la CEI 61000-2-4.

3.10.11

rapport harmonique total

distorsion harmonique totale

THD

rapport de la valeur efficace du résidu harmonique à la valeur efficace de la composante fondamentale ou de la composante fondamentale de référence d'une grandeur alternative

[VEI 551-20-13] [df 70] [df 134]

NOTE 1 Il est préférable de modifier le terme en « rapport harmonique total » pour la cohérence avec le nom de la règle.

NOTE 2 Le résidu harmonique dépend du choix de la composante fondamentale. En cas d'ambiguïté dans le contexte, il convient d'indiquer de quelle composante il s'agit.

NOTE 3 Le rapport harmonique total peut faire l'objet d'une approximation à un certain rang (notation recommandée « H »), à savoir 50 pour les besoins de la présente Norme internationale.

$$THD = \sqrt{\sum_{h=2}^{h=H} \left(\frac{Q_h}{Q_1} \right)^2} = \frac{HC}{Q_1}$$

où

outre les notations déjà indiquées en 3.10.10, Q_1 est la valeur efficace de la composante fondamentale.

3.10.12

résidu total de distorsion

grandeur obtenue en soustrayant d'une grandeur alternative sa composante fondamentale ou sa composante fondamentale de référence

[VEI 551-20-11] [df 145]

NOTE 1 Le résidu total de distorsion contient les composantes harmoniques et, s'il y en a, les composantes interharmoniques.

NOTE 2 Le résidu total de distorsion dépend du choix de la composante fondamentale. En cas d'ambiguïté dans le contexte, il convient d'indiquer de quelle composante il s'agit.

NOTE 3 Le résidu total de distorsion est une fonction du temps.

NOTE 4 Une grandeur alternative (abrégée sous la forme Q) est une grandeur périodique dont la composante continue est nulle.

NOTE 5 La valeur efficace du résidu de distorsion est

$$DC = \sqrt{Q^2 - Q_1^2}$$

où les notations sont celles données en 3.10.10 et 3.10.11. Voir également le VEI 101-14-54 et le VEI 551-20-06.

3.10.13

rapport total de distorsion

TDR

rapport de la valeur efficace du résidu total de distorsion à la valeur efficace de la composante fondamentale ou de la composante fondamentale de référence d'une grandeur alternative

[VEI 551-20-14] [df 135]

NOTE Le rapport total de distorsion dépend du choix de la composante fondamentale. En cas d'ambiguïté dans le contexte, il convient d'indiquer de quelle composante il s'agit.

$$TDR = \frac{DC}{Q_1} = \frac{\sqrt{Q^2 - Q_1^2}}{Q_1}$$

3.10.14

facteur total de distorsion

TDF

rapport de la valeur efficace du résidu total de distorsion à la valeur efficace d'une grandeur alternative

[VEI 551-20-16] [df 87]

NOTE 1 Le facteur total de distorsion dépend du choix de la composante fondamentale. En cas d'ambiguïté dans le contexte, il convient d'indiquer de quelle composante il s'agit.

$$TDF = \frac{DC}{Q} = \frac{\sqrt{Q^2 - Q_1^2}}{Q}$$

NOTE 2 Le rapport entre TDF et TDR équivaut au rapport entre la valeur efficace de la composante fondamentale sur la valeur efficace totale. Il s'agit du taux de fondamental défini dans le VEI 161-02-22:

$$FF = \frac{TDF}{TDR} = \frac{Q_1}{Q} \leq 1$$

3.10.15

rapport harmonique individuel

IHR

rapport de la valeur de toute composante harmonique à la valeur du fondamental [df 132]

NOTE 1 Dans le VEI 161-02-20, ce terme est appelé "taux du $n^{\text{ième}}$ harmonique ». Le terme utilisé ici a été choisi pour des raisons de cohérence avec la définition 3.10.11, et l'indice de rang a été désigné par le symbole « h » en lieu et place du symbole « n » qui est souvent employé dans d'autres documents, par exemple pour la liste des entiers naturels.

NOTE 2 La valeur du rapport harmonique individuel est $IHR = \frac{Q_h}{Q_1}$

3.10.16**rapport harmonique pondéré partiel*****PWHR***

rapport de la valeur efficace d'un groupe choisi d'harmoniques de rang supérieur, pondérés avec le rang harmonique h , à la valeur efficace du fondamental

[CEI 61000-3-12 définition 3.2, modifiée] [df 133]

NOTE 1 Le rapport harmonique pondéré partiel est utilisé afin de s'assurer que les effets des courants d'harmoniques de rang supérieur sur les résultats sont réduits de manière suffisante et qu'il n'est pas nécessaire de spécifier des limites individuelles.

NOTE 2 Dans la CEI 61000-3-12, ce terme est défini par "distorsion harmonique pondérée partielle (*PWHD*)" et les rangs d'harmoniques dans le groupe sont compris entre 14 et 40.

$$PWHD = \sqrt{\sum_{h=14}^{h=40} h \cdot \left(\frac{Q_h}{Q_1} \right)^2}$$

Dans le projet de la seconde édition de la CEI 61000-3-12, le terme et la définition ont été modifiés en faveur de « courant harmonique pondéré partiel (*PWHC*) ».

3.11 Définitions afférentes à la coordination de l'isolement

Les définitions de l'Article 3 de la CEI 60664-1 s'appliquent ainsi que les suivantes.

3.11.1**circuit (électrique) (d'un équipement)**

trajectoires de courant de composants ou d'ensembles, conducteurs ou bornes raccordés entre eux par des connexions électriquement conductrices et isolés de la partie restante de l'équipement [df 22]

NOTE Si des parties du même équipement sont raccordées par conduction uniquement au moyen d'un réseau équipotentiel de protection, elles sont alors considérées comme des circuits distincts.

3.11.2**partie d'un circuit**

section d'un circuit ayant sa propre tension d'isolement assignée [df 124]

3.11.3**équipotentialité**

état de parties conductrices ayant un potentiel électrique sensiblement égal

[VEI 195-01-09] [df 78]

3.11.4**liaison équipotentielle**

mise en œuvre de liaisons électriques entre parties conductrices pour réaliser l'équipotentialité

[VEI 195-01-10] [df 108]

3.11.5**réseau équipotentiel****EBS**

interconnexion de parties conductrices, permettant d'assurer une liaison équipotentielle entre ces parties

[VEI 195-02-22] [df 142]

3.11.6

réseau équipotentiel de protection

PEBS

réseau équipotentiel assurant une liaison équipotentielle de protection

[VEI 195-02-23] [df 143]

3.11.7

tension de service

tension de calcul dans un circuit ou tension d'isolement, dans les conditions d'alimentation nominales (sans tolérances) et dans les conditions de service les plus défavorables [df 164]

NOTE La tension de service peut être continue ou alternative. Les valeurs efficaces et les valeurs de crête récurrentes sont utilisées.

3.11.8

classe de tension déterminante

plage de tensions calculée utilisée pour déterminer la classification des mesures de protection contre le choc électrique [df 25]

3.11.9

tension d'isolement assignée

valeur de tension efficace assignée par le constructeur à l'équipement ou à une partie de ce dernier, qui caractérise la capacité de résistance (à long terme) spécifiée de son isolation

[CEI 60664-1:2007, définition 3.9.1, modifiée] [df 165]

NOTE 1 La tension d'isolement assignée est supérieure ou égale à la tension assignée de l'équipement, ou à la tension assignée de la partie de l'équipement concernée, qui est associée principalement aux performances de fonctionnement.

NOTE 2 La tension d'isolement assignée fait référence à l'isolation entre les circuits électriques, entre les parties actives et les parties conductrices exposées et au sein d'un circuit électrique.

NOTE 3 Pour les distances d'isolement dans l'air et l'isolement sous charge, la valeur de crête de la tension observée dans l'isolement ou la distance d'isolement dans l'air constitue la valeur déterminante de la tension d'isolement assignée. Pour les lignes de fuite, la valeur efficace constitue la valeur déterminante.

NOTE 4 La tension d'isolement assignée dépend du résultat de la recherche de coordination de l'isolement pour les systèmes haute tension, ou de la surtension provisoire prévisible, la catégorie de surtension, et la valeur efficace de la tension de service, selon la plus grande des deux valeurs.

3.11.10

tension de choc assignée

amplitude de choc utilisée comme référence pour la définition d'un circuit et pour les essais afférents aux caractéristiques d'isolement d'un circuit [df 162]

NOTE La tension d'isolement assignée dépend du résultat de la recherche de coordination de l'isolement pour les systèmes haute tension, ou des tensions de choc prévisibles de toute origine associées à la catégorie de surtension et de la valeur de crête de la tension de service, selon la plus grande des deux valeurs.

3.11.11

catégorie de surtension

concept utilisé pour classer les équipements alimentés directement par le réseau d'alimentation [df 16]

NOTE La CEI 60664-1 définit quatre catégories d'équipement.

- Catégorie I: équipement raccordé à un circuit de distribution protégé contre un niveau défini de surtensions transitoires
- Catégorie II: équipement non raccordé de façon permanente à l'installation (tout IPC)
- Catégorie III: équipement raccordé de façon permanente à l'installation (tout IPC)
- Catégorie IV: équipement raccordé au point d'origine de l'installation (le plus proche du PCC)

3.11.12**isolation principale**

isolation appliquée aux parties actives pour assurer une protection principale contre les chocs électriques

[VEI 195-06-06, modifié] [df 105]

3.11.13**isolation supplémentaire**

isolation indépendante supplémentaire à l'isolation principale pour assurer une protection principale contre les chocs électriques en cas de défaut de l'isolation principale

[CEI 60664-1:2007, définition 3.17.3, modifiée] [df 107]

3.11.14**double isolation**

isolation comprenant à la fois l'isolation principale et l'isolation supplémentaire

[VEI 826-12-16, modifié] [df 71]

NOTE L'isolation principale et l'isolation supplémentaire sont distinctes, chacune étant destinée à assurer une protection principale contre les chocs électriques.

3.11.15**isolation renforcée**

système isolant simple, appliqué aux parties actives, qui assure un niveau de protection contre les chocs électriques, et qui équivaut à une double isolation dans les conditions spécifiées par la norme CEI correspondante

[CEI 60664-1:2007, définition 3.17.5, modifiée] [df 106]

3.11.16**séparation de protection**

séparation entre des circuits par le biais d'une protection principale et d'une protection supplémentaire (isolation principale à laquelle s'ajoute une isolation supplémentaire ou un écran de protection) ou d'un moyen de protection équivalent (par exemple isolation renforcée) [df 147]

3.11.17**écran de protection**

séparation des circuits et des parties actives dangereuses au moyen d'un écran conducteur interposé raccordé au dispositif de connexion avec un conducteur de mise à la terre de protection extérieur [df 72]

3.11.18**circuit TBT (très basse tension)**

circuit dont la tension ne dépasse pas 50 V c.a. et 120 V c.c. ou la valeur spécifiée dans la norme de produit correspondante

[VEI 826-12-30, modifié] [df 17]

3.11.19**circuit TBTP (très basse tension de protection)**

circuit électrique dont les caractéristiques sont les suivantes:

- la tension ne dépasse pas la valeur de la très basse tension; et
- il existe une séparation de protection entre les circuits autres que les circuits TBTP ou TBTS; et
- le circuit TBTP, ses parties conductrices accessibles, ou les deux, sont mis à la terre

[VEI 826-12-32, modifié] [df 23]

3.11.20

circuit TBTS (très basse tension de sécurité)

circuit électrique dont les caractéristiques sont les suivantes:

- la tension ne dépasse pas la valeur de la très basse tension; et
- il existe une séparation de protection entre les circuits autres que les circuits TBTS ou TBTP; et
- le circuit TBTS ou ses parties conductrices accessibles ne sont pas mis à la terre; et
- une isolation principale du circuit TBTS contre la terre et contre les circuits TBTP est prévue

[VEI 826-12-31, modifié] [df 24]

4 Fonctionnement des équipements de conversion à semiconducteurs et des valves

4.1 Classification

4.1.1 Convertisseur à semiconducteurs

Les convertisseurs à semiconducteurs peuvent être classés comme indiqué ci-dessous.

a) Type de conversion et de découplage

- 1) conversion d'alternatif en continu (redresseur, identifié comme redressement (de puissance) dans le VEI 551-11-06);
- 2) conversion de continu en alternatif (onduleur, identifié comme fonctionnement onduleur dans le VEI 551-11-07);
- 3) conversion de continu en continu (convertisseur de courant continu direct ou indirect, identifié comme conversion de courant continu dans le VEI 551-11-09);
- 4) conversion d'alternatif en alternatif (convertisseur de courant alternatif direct ou indirect, identifié comme conversion de courant alternatif dans le VEI 551-11-08);
- 5) découplage (périodique ou non périodique).

NOTE 1 D'autres termes semblables sont utilisés, par exemple « conversion continu/continu » pour la conversion en courant continu ou « convertisseur alternatif/alternatif » pour les convertisseurs en courant alternatif.

b) Objectif de la conversion

Dans un circuit de puissance, le convertisseur modifie ou règle une ou plusieurs des caractéristiques telles que:

- 1) la fréquence (fréquence nulle comprise);
- 2) le niveau de tension ou de courant;
- 3) le nombre de phases et le déphasage;
- 4) le flux de puissance active;
- 5) le flux de puissance réactive et la forme d'onde;
- 6) la qualité de la tension fournie à l'utilisation.

c) Mode de blocage de valve

Une valve à semiconducteur peut être bloquée soit par commutation, ce qui implique le transfert de courant du bras vers un autre bras soit par extinction si le courant dans le bras s'annule avant la mise en conduction d'un autre bras. Voir Figure 1.

NOTE 2 Suivant la charge, les deux types de blocage de valve peuvent apparaître dans le cas d'un fonctionnement normal des convertisseurs. La classification est faite d'après le fonctionnement normal, au courant de pleine charge.

NOTE 3 Les types de blocage de valve peuvent être caractérisés par la source de la tension de blocage:

- a) commutation externe (ou extinction);
 - commutation par le réseau (ou extinction);
 - commutation par la charge (ou extinction);
- b) autocommutation (ou extinction, voir également 4.1.2 - NOTE 2)
 - commutation par la valve (ou extinction);
 - commutation par le condensateur (ou extinction).

d) Type de circuit à courant continu

Les convertisseurs raccordés à au moins un circuit à courant continu peuvent être, habituellement, totalement ou partiellement classés comme source de courant (convertisseur rigide de courant) ou comme source de tension (convertisseur rigide de tension), selon que le courant ou la tension côté continu est lissé(e) ou non. Cette classification dépend en fait de l'impédance interne prédominante. Un convertisseur à thyristor est généralement un convertisseur rigide de courant.

Pour un convertisseur reliant un circuit alternatif à un circuit continu, la fonction de redressement implique le transfert de puissance du côté c.a. vers le côté c.c., et l'inversion de ce transfert lors du fonctionnement en onduleur.

Pour chacun des modes de fonctionnement, le courant est unidirectionnel dans le cas d'une source de courant, mais la tension peut changer de polarité suivant la direction du transfert de puissance. La situation est inverse dans le cas d'une source de tension.

4.1.2 Valves à semiconducteurs

Les valves utilisées dans les circuits de puissance des convertisseurs à semiconducteurs peuvent être classées dans les catégories suivantes:

- a) valves non commandables à caractéristique de conduction directe et de blocage inverse (diode de redressement);
- b) valves à commutateur dans le sens direct commandable (thyristor). Valve à commutation directe est l'appellation courante de ce type de valve ;
- c) valves à dispositif d'ouverture et de fermeture dans le sens direct commandable (thyristor à blocage commandé (GTO), transistor de puissance). Valve commutée est l'appellation courante de ce type de valve ;
- d) valves commandables dans les deux sens (par exemple valve triac).

NOTE 1 Une valve est commandable si elle peut être portée de l'état non passant à l'état passant au moyen d'un signal de commande.

NOTE 2 Les transistors de puissance et les thyristors à blocage commandé peuvent être bloqués au moyen d'un signal appliqué ou provenant de l'électrode de commande. Les thyristors et les triacs n'ont pas cette propriété et il faut qu'ils soient bloqués par les principales tensions et par les principaux courants de circuit.

NOTE 3 Les valves à semiconducteurs peuvent, selon leur type, être à conduction ou à blocage inverse. La caractéristique de blocage inverse de certaines valves peut être de quelques volts seulement.

4.2 Principaux symboles littéraux et indices

Les principaux symboles littéraux et indices sont donnés dans les Tableaux 1 et 2.

Tableau 1 – Liste des principaux indices

Indice	Signification
0 (zéro)	à vide
c	de commutation
d	courant ou tension continu(e)
f	dépendant de la fréquence
h	relatif à l'harmonique de rang h
i	fictive
L	se rapportant au réseau ou à la source
M	maximal
m	relatif à l'interharmonique de rang m
min	minimal
N	valeur assignée ou à la valeur assignée de la charge
p	inhérent (propre)
R	répétitif (surtension ou courant de pointe)
r	résistif (ve)
S	non répétitif (ve) (surtension ou courant de pointe)
SC	court-circuit
v	côté valves
x	inductif (ve)
α	valeur réglée (obtenue par variation d'angle de retard)

Tableau 2 – Symboles

Symbole	Grandeur
d_{xtN}	variation inductive de tension continue due au transformateur du convertisseur, rapportée à U_{di}
e_{xN}	composante inductive de la tension de court-circuit relative du transformateur du convertisseur correspondant à I_{LN}
f_N	fréquence assignée
g	nombre d'ensembles de groupes commutants entre lesquels se partage I_{dN}
h	rang des harmoniques
I_d	courant continu (toute valeur définie)
I_{dN}	courant continu assigné
I_{dMN}	courant continu permanent assigné (valeur maximale)
I_{dRMN}	courant continu maximal de crête intermittent
I_{dSMN}	courant continu maximal de crête
I_L	courant côté réseau (du convertisseur ou du transformateur s'il existe) (valeur efficace)
I_{LN}	valeur assignée de I_L
I_{1LN}	valeur efficace de la composante fondamentale de I_{LN}
I_{hLN}	valeur efficace du rang des harmoniques h de I_{LN}
I_{vN}	valeur assignée du courant côté valves du transformateur
p	indice de pulsation (voir note)

Tableau 2 (suite)

Symbole	Grandeur
P	puissance active
P_{LN}	puissance active, côté réseau, à la charge assignée
q	indice de commutation
Q_{1LN}	puissance réactive, côté réseau, à la charge assignée
R_{SC}	puissance de court-circuit relative
s	nombre de groupes commutants montés en série
S_{com}	puissance de court-circuit calculée aux bornes c.a. des bras commutants
S_{SC}	puissance de court-circuit de la source d'alimentation
S_{Cmin}	puissance de court-circuit minimale de la source d'alimentation
S_{LN}	puissance apparente assignée côté réseau
S_{1LN}	valeur de S_{LN} basée sur I_{1LN}
S_{tN}	puissance apparente assignée du transformateur
U_d	tension continue (toute valeur définie)
U_{d0}	tension continue conventionnelle à vide
$U_{d0\alpha}$	valeur de U_{d0} avec angle de retard de commande α
U_{d00}	tension continue réelle à vide
U_{dl}	tension continue fictive à vide
$U_{dl\alpha}$	tension continue fictive à vide avec réglage
U_{dN}	tension continue assignée
U_{dxN}	réglage de la tension continue inductive totale avec le courant continu assigné
U_{hL}	valeur efficace du rang des harmoniques h de U_L
U_{IM}	tension fictive de crête à vide apparaissant entre les bornes d'extrémité d'un bras, en négligeant les surtensions transitoires internes ou externes et les chutes de tension à vide dans les valves. Le rapport reste le même à faible charge, au voisinage du courant critique
U_L	tension entre phases côté réseau du convertisseur ou du transformateur, s'il existe
U_{LN}	valeur assignée de U_L
U_{LRM}	valeur instantanée maximale de U_L incluant les surtensions répétitives, tout en excluant les surtensions non répétitives
U_{LSM}	valeur instantanée maximale de U_L incluant les surtensions non répétitives
U_{LWM}	valeur instantanée maximale de U_L excluant les surtensions transitoires
U_M	valeur maximale de la forme d'onde sinusoïdale de la tension (voir 7.2.3.1)
U_{v0}	tension entre phases à vide côté réseau du convertisseur ou côté valve du transformateur, s'il existe
U_{vN}	tension assignée côté valve du transformateur
X_{tN}	variation inductive de tension du transformateur en par unité
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 commutant simultanément, par primaire (ou bobine d'inductance)
λ	facteur de puissance total

Tableau 2 (suite)

Symbole	Grandeur
μ	angle d'empiètement (angle de commutation) NOTE L'angle d'empiètement est désigné par μ dans cette 4ème édition de la CEI 60146-1-1. Il était désigné par u dans les éditions précédentes, ce qui est toujours le cas pour l'édition 3 de la CEI/TR 60146-1-2, à savoir le guide d'application. Les évolutions observées dans les imprimeries courantes permettent de confirmer la notation actuelle μ .
ν	facteur de déformation
ϕ_1	déphasage tension-courant de la composante fondamentale de I_L
NOTE L'indice de pulsation p inclut le nombre de phases.	

4.3 Fonctionnement de base des convertisseurs à semiconducteurs

4.3.1 Commutation

Les convertisseurs électroniques de puissance sont des convertisseurs à semiconducteurs qui, par commutation ou par extinction des valves à semiconducteurs, convertissent l'amplitude et/ou la fréquence de la tension ou du courant d'un côté à l'autre du convertisseur. La commutation ou l'extinction constitue la fonction de base du fonctionnement d'un convertisseur à semiconducteurs. Les performances générales de fonctionnement sont par ailleurs définies par les raccordements de conversion des valves à semiconducteurs (topologie des circuits) et de leur dispositif de commande.

Les différents types de commutations sont définis en 3.4 et les caractéristiques de commutation en 3.5. La définition donnée différencie la commutation de l'extinction, la première désignant le transfert de courant d'un bras à l'autre, tandis que la seconde désigne la fin de la conduction du courant dans le bras.

La Figure 1 donne une vue d'ensemble des différents types de commutations

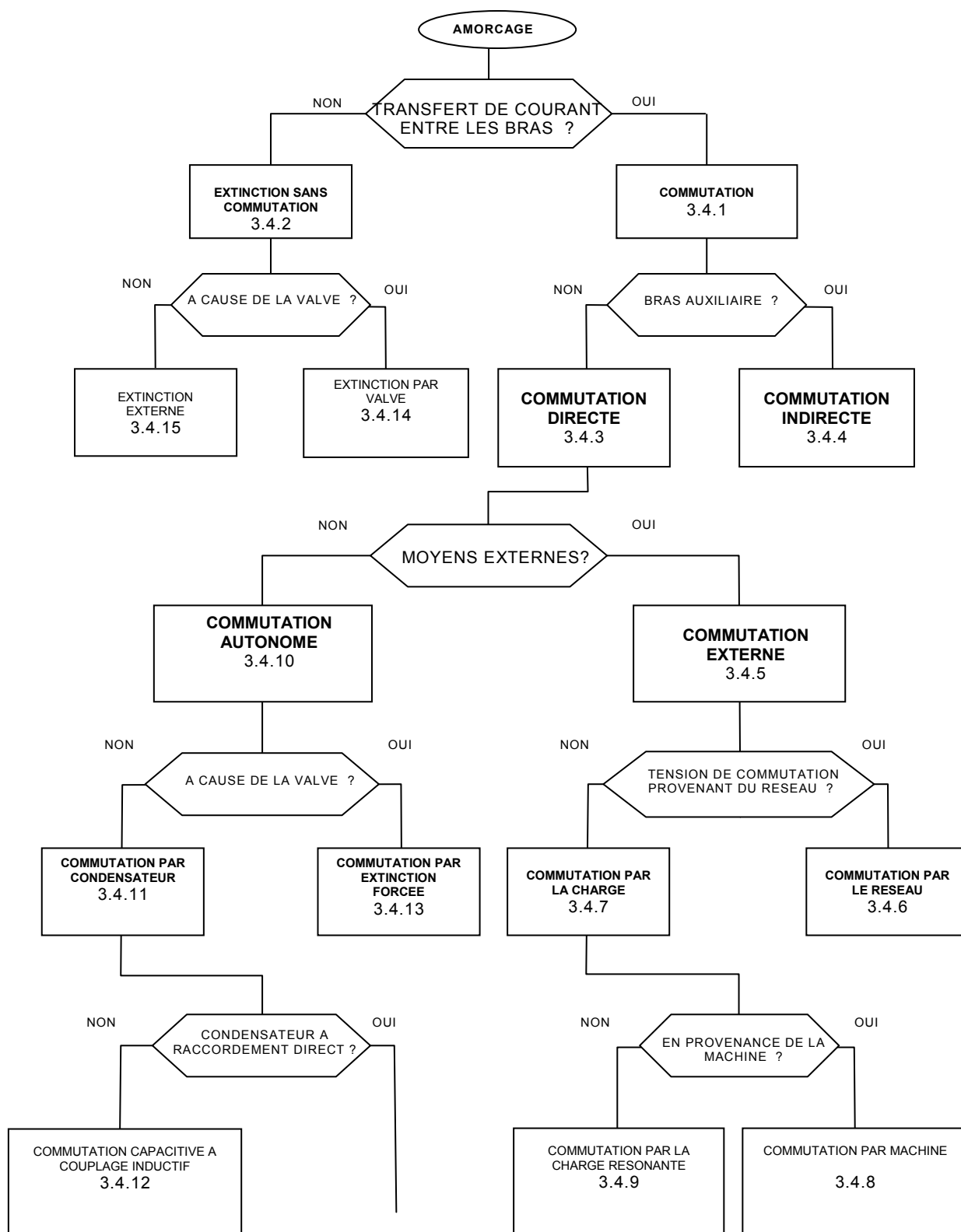
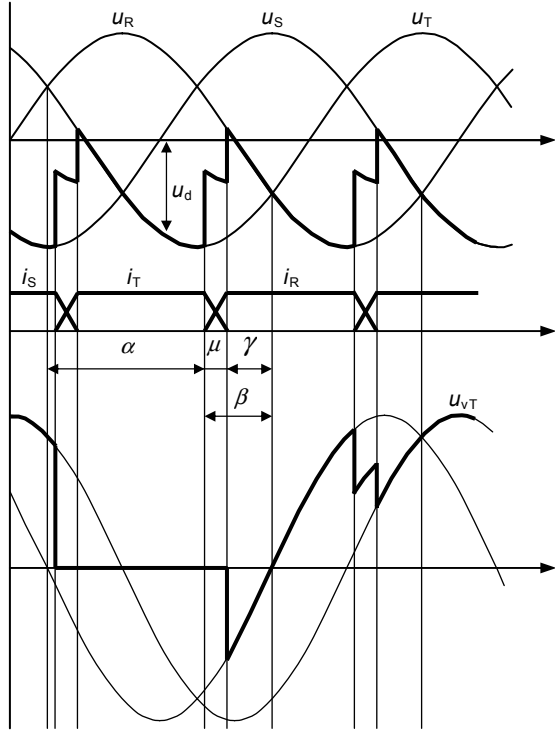
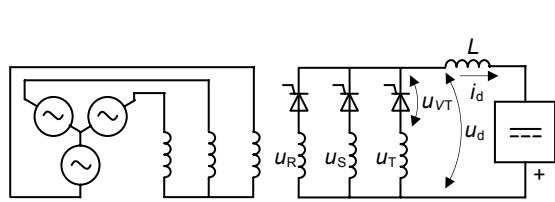


Figure 1 – Types de commutation

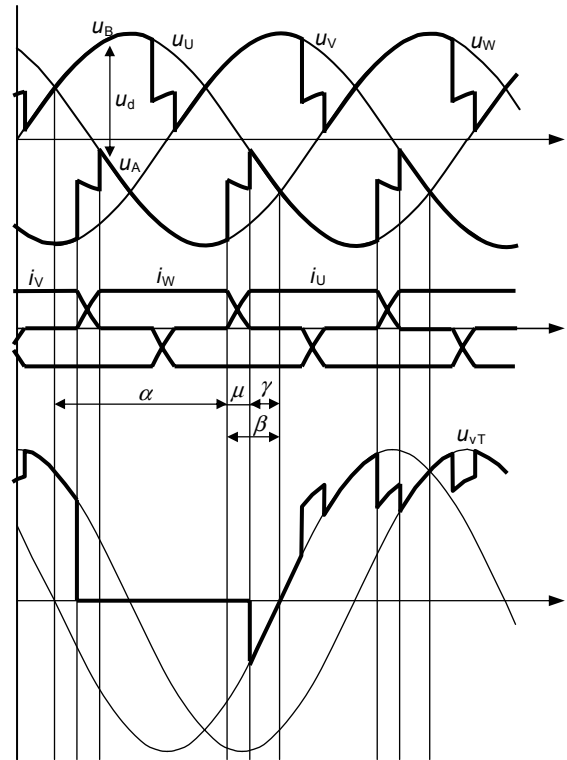
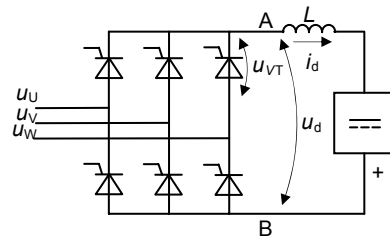
IEC 1144/09

La commutation est caractérisée par les formes d'onde de la tension et du courant, ainsi que par les angles, voir 3.5.4, 3.5.11, 3.5.12, 3.5.14 et le paragraphe suivant. La Figure 2 illustre ces angles par un cas simple de commutation des tensions à partir du réseau. La courbe du haut illustre la tension redressée et la courbe du bas illustre une tension anode/cathode.



IEC 1145/09

Figure 2a – Convertisseur à montage en étoile triphasé



IEC 1146/09

Figure 2b – Convertisseur à pont triphasé

Figure 2 – Exemples d'angles

4.3.2 Facteurs de calcul de base pour les convertisseurs à commutation par le réseau

4.3.2.1 Tension

La tension continue fictive à vide U_{di} est obtenue à partir de la tension entre deux phases commutantes U_{v0} , tandis que l'indice de pulsation p est obtenu par la formule suivante:

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

La tension continue fictive à vide avec réglage $U_{di\alpha}$ est calculée pour différents cas, le premier étant celui des montages homogènes (voir 3.2.13, exemple avec les thyristors) et des montages hétérogènes (voir 3.2.14, exemple de montage avec pour moitié des thyristors et pour moitié des diodes).

a) Montage homogène (entièrement commandable)

1) Si le courant continu est ininterrompu dans toute la gamme de réglage:

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

2) Si la charge du convertisseur est purement résistive:

pour

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

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) Montage hétérogène (commandable pour moitié)

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

4.3.2.2 Caractéristiques de tension et courant critique

En dessous de la valeur du courant critique (valeur moyenne), et pendant la période au cours de laquelle le courant est nul (valeur instantanée), la tension continue dépend uniquement du circuit continu et non plus de la tension côté réseau.

Pour un courant décroissant à la valeur critique, la pente de la courbe caractéristique tension/courant change comme montré sur la Figure 3. Le courant critique peut être obtenu, par exemple dans le cas d'une charge électromotrice de retour, dans la mesure où l'inductance du circuit à courant continu ne peut pas maintenir le courant continu pendant toute la période ou dans le cas d'un montage avec transformateur d'interphase, étant donné que la valeur du courant continu diminue en dessous de la valeur critique à laquelle le transformateur d'interphase devient inefficace.

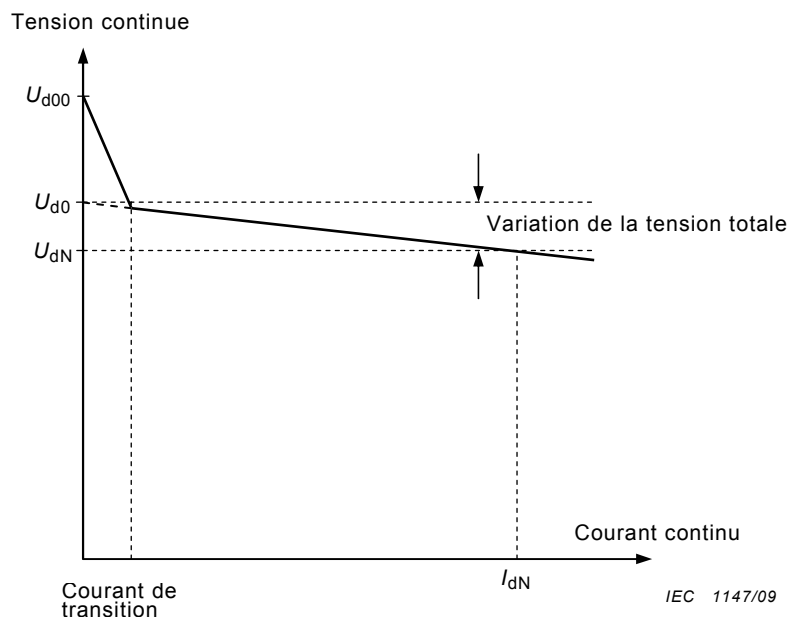


Figure 3 – Variation de tension

4.3.3 Perturbations et conditions de panne

4.3.3.1 Niveau d'immunité d'un convertisseur

Lorsqu'une perturbation de toute origine n'excède pas le niveau d'immunité spécifié (voir par exemple Tableaux 7, 8 et 9), les performances correspondantes doivent être maintenues: aucune perte de performances, aucune disjonction et aucune détérioration. Le Tableau 3 définit les différents niveaux.

Tableau 3 – Critères de performances

Niveau d'immunité	Symbole	Critères de performances
Fonctionnel	F	Aucune perte de performances
Disjonctif	T	Aucune interruption de service due aux dispositifs de protection
Destructif	D	Aucune détérioration permanente (à l'exception des fusibles)

Le niveau d'immunité fonctionnel (F) d'un convertisseur est une combinaison de tous les niveaux limites des différents niveaux de perturbation électromagnétique que le convertisseur peut supporter sans perte de performances.

Le niveau d'immunité disjonctif (F) d'un convertisseur est une combinaison de tous les niveaux limites des différents niveaux de perturbations électromagnétiques que le convertisseur peut supporter sans interruption de service due aux dispositifs de protection.

Le niveau d'immunité disjonctif peut être subdivisé en deux sous-niveaux:

- disjonction avec réarmement automatique lorsque la perturbation a disparu;
- disjonction sans réarmement automatique (nécessitant une intervention extérieure pour le redémarrage, le réarmement manuel d'un disjoncteur, le changement d'un fusible, etc.).

NOTE Il convient que la remise en service automatique prenne en considération les aspects liés à la sécurité selon l'application.

Le niveau d'immunité destructif (D) d'un convertisseur est une combinaison de tous les niveaux limites des différents niveaux de perturbation électromagnétique que ledit convertisseur peut supporter sans faire l'objet d'une détérioration permanente.

4.3.3.2 Perturbations et compatibilité

En général, la compatibilité électromagnétique (CEM) fait l'objet de la série CEI 61000, les exigences spécifiques relatives aux convertisseurs à semiconducteurs étant par ailleurs mentionnées dans les normes de produits:

- CEI 61204-3 pour les systèmes d'alimentation en énergie (PSU) ;
- CEI 61800-3 pour les entraînements de puissance (PDS) ;
- CEI 62040-2 pour les alimentations sans interruption (ASI) ;
- CEI 62310-2 pour les systèmes de transfert statique (STS).

NOTE 1 La présente Norme internationale n'est pas destinée à définir des exigences CEM. Elle couvre tous les phénomènes et introduit par conséquent des références aux normes dédiées applicables conformément à leur domaine d'application.

Les phénomènes par conduction doivent différencier les perturbations basse fréquence véhiculées par le réseau, en d'autres termes les perturbations pouvant exister préalablement au raccordement du convertisseur au réseau électrique, des perturbations produites par le convertisseur proprement dit.

a) Perturbations véhiculées par le réseau

Perturbations pouvant être attribuées à un certain nombre de causes, telles que dans le cas de charges variables réparties sur le réseau de distribution, de transitoires de commutation ou de variations de configuration dans le réseau d'alimentation, pour lesquelles seules des valeurs statistiques peuvent être spécifiées.

NOTE 2 Exemples de perturbations de cette nature:

- surtensions, transitoires de commutation, décharges électriques;
- oscillations de tension provenant du démarrage de moteurs ou de l'enclenchement de condensateurs;
- défauts et élimination de défauts: phase-terre simple et phase à phase;
- déséquilibre quasi permanent des tensions, à spécifier en termes de rapport de la composante inverse à la composante directe;
- variation de fréquence et déphasage;
- signaux superposés de télécommande;
- composantes harmoniques et interharmoniques de tension ou de courant.

b) Perturbations produites par les convertisseurs

Les perturbations dues à la non-linéarité du convertisseur sont produites par le fonctionnement de ce dernier.

NOTE 3 Exemples de perturbations de cette nature:

- courants harmoniques, en termes de rang, amplitude et relation de phase, pour des conditions de fonctionnement spécifiées, compte tenu de la valeur moyenne, de la valeur de régime continu « la plus probable » et de la valeur maximale occasionnelle pour des courtes durées (par exemple 1 min);
- encoches de commutation, à définir en termes de largeur, profondeur et surface;
- transitoires répétitifs de commutation, à définir comme impulsions brèves en termes d'énergie, de valeur de crête, de vitesse ascensionnelle, etc.;
- transitoires non répétitifs pouvant provenir de l'appel de courant du transformateur, de la coupure de défauts internes ou externes, etc.;
- composantes interharmoniques (par exemple changeurs de fréquence);
- fluctuations de tension, à définir comme la différence de valeur efficace entre des états stationnaires consécutifs.

NOTE 4 Les perturbations énumérées ci-dessus peuvent être produites par le convertisseur considéré ou par d'autres convertisseurs et le niveau réel peut changer avec l'impédance du réseau, au point où elles sont évaluées.

NOTE 5 Pour de plus amples informations, se reporter à la CEI/TR 60146-1-2. Par exemple, lorsque de nombreux convertisseurs ayant un indice de pulsation élevé et des transformateurs déphaseurs sont utilisés, le problème des harmoniques peut être atténué à un niveau tel, que ce sont les chutes de tension qui deviennent le principal souci.

5 Conditions de service

5.1 Code d'identification du mode de refroidissement

Le mode de refroidissement est identifié par des symboles littéraux. Ces symboles sont classés sous forme de code. Ce code se compose de deux lettres pour le refroidissement direct, et de quatre lettres pour le refroidissement indirect.

a) Refroidissement direct

Dans le cas du refroidissement direct, la première lettre indique la nature du milieu de refroidissement (voir 3.8.1 et se reporter au Tableau 4), la deuxième lettre indiquant le mode de circulation (se reporter au Tableau 5).

Exemple: AN, circulation naturelle d'air (convection).

b) Refroidissement indirect

Dans le cas du refroidissement indirect, la même règle s'applique tout d'abord aux deux premières lettres correspondant au fluide réfrigérant (voir 3.8.2), puis aux deux dernières lettres correspondant au milieu de refroidissement (voir 3.8.1).

Exemple: OFAF, convertisseur avec huile à circulation forcée (pompe) utilisée comme fluide réfrigérant et convection forcée d'air (ventilateur) utilisée comme milieu de refroidissement.

c) Méthode mixte de refroidissement

Dans les deux cas, refroidissement direct ou refroidissement indirect, si la circulation peut être alternativement naturelle ou forcée, deux groupes de symboles, séparés par une barre oblique, doivent indiquer les deux modes possibles de circulation utilisés, le premier groupe correspondant au débit de chaleur le plus faible ou à la température ambiante la plus basse.

Exemple appliqué au refroidissement direct: AN/AF, convertisseur à refroidissement par circulation d'air direct naturelle et possibilité de refroidissement par circulation d'air direct forcée.

Exemple appliqué au refroidissement indirect: OFAN/OFAF, convertisseur utilisant l'huile en circulation forcée comme fluide réfrigérant et l'air ambiant comme milieu de refroidissement, avec possibilité de soufflage d'air forcé utilisé comme milieu de refroidissement.

Tableau 4 – Milieu de refroidissement ou fluide réfrigérant

Milieu de refroidissement ou fluide réfrigérant	Symbole
Huile minérale	O
Liquide diélectrique (autre que l'huile minérale ou l'eau)	L
Gaz	G
Eau	W
Air	A
Fluide utilisé pour le refroidissement à deux états	P

Tableau 5 – Mode de circulation

Mode de circulation	Symbole
Naturelle (convection)	N
Forcée, dispositif mobile non intégré	E
Forcée, dispositif mobile intégré	F
Refroidissement par la vapeur	V

NOTE Dans la plupart des cas, le code d'identification utilisé pour le mode de refroidissement est semblable à celui qui est actuellement utilisé pour les transformateurs.

5.2 Conditions d'environnement

5.2.1 Circulation de l'air ambiant

Les équipements en intérieur installés dans une salle doivent être raccordés au milieu (illimité) de refroidissement ou, si l'air de refroidissement provient de la salle, il est nécessaire de prévoir un moyen d'extraction de la chaleur dissipée dans le local, qui doit alors être considéré comme un échangeur intermédiaire entre l'équipement et l'air extérieur.

Pour des blocs montés en coffret ou en armoire, le fluide ambiant utilisé pour lesdits ensembles (air à l'intérieur du coffret ou de l'armoire) doit être considéré comme un fluide réfrigérant et non comme un milieu de refroidissement. Il convient de tenir compte de la réflexion de la chaleur sur les parois du coffret ou de l'armoire. Par conséquent, pour les ensembles montés en coffret ou en armoire, une température ambiante supérieure doit être spécifiée et les distances minimales entre les ensembles doivent être conformes aux spécifications du fournisseur.

5.2.2 Conditions de service normales – Températures

Les limites ci-après doivent s'appliquer sauf indication contraire.

a) Températures de magasinage et de transport

	Minimales	Maximales
Magasinage et transport	–25 °C	+55 °C

Ces limites s'entendent sans liquide de refroidissement.

b) Service comportant des périodes hors charge, avec équipement en intérieur

Les conditions de température sont définies dans le Tableau 6, selon différents cas.

Tableau 6 – Limite de température du milieu de refroidissement applicable aux équipements en intérieur

Conditions	Milieu de refroidissement	Température minimale °C	Température maximale °C
Températures extrêmes temporaires du milieu de refroidissement	Air	0	40
	Eau	+ 5	30
	Huile	– 5	30
Moyenne quotidienne	Air		30
Moyenne annuelle	Air		25

5.2.3 Autres conditions de service normales

Les limites suivantes s'appliquent aux conditions de service comportant des périodes hors charge.

a) Humidité relative de l'air ambiant pour les équipements en intérieur

Minimale: 15 %.

Maximale: les équipements de type normal sont prévus en cas d'absence de condensation. Le cas de condensation effective doit être considéré comme des conditions de service anormales (voir 5.2.4).

b) Teneur de l'air en poussière et en particules solides pour les équipements en intérieur

Les équipements de type normal sont prévus pour être utilisés avec de l'air pur (CEI 60664-1, niveau de pollution 1). Les autres conditions éventuelles doivent être spécifiées par le client comme étant des conditions de service anormales (voir 5.2.4).

c) Équipements en extérieur

Les conditions de service comportant des périodes hors charge et applicables aux équipements en extérieur doivent être spécifiées par le client.

5.2.4 Conditions de service anormales

Les conditions de service sont supposées être celles qui sont indiquées comme conditions de service normales. La liste ci-après donne des exemples de conditions de service anormales qui doivent faire l'objet d'un accord spécial entre le client et le fournisseur :

- a) contraintes mécaniques anormales, par exemple chocs et vibrations;
- b) eau de refroidissement pouvant être à l'origine de la corrosion ou d'une obstruction, par exemple eau de mer ou eau dure;
- c) particules étrangères dans l'air ambiant, par exemple impuretés ou poussières anormales;
- d) air salin (par exemple à proximité de la mer), taux élevé d'humidité, eau tombant goutte à goutte ou gaz corrosifs;
- e) exposition à de la vapeur d'eau ou d'huile;
- f) exposition à des mélanges explosifs de poussières ou de gaz;
- g) exposition à la radioactivité;
- h) valeurs élevées d'humidité relative et de température similaires à celles associées aux climats subtropicaux et tropicaux;
- i) variations de température dépassant 5 K/h et variations de l'humidité relative dépassant 0,05 p.u./h;
- j) altitude supérieure à 1 000 m (voir CEI/TR 60146-1-2);
- k) fonctionnement à des températures ambiantes inférieures à +5 °C pour un refroidissement par eau;
- l) fonctionnement à des températures ambiantes inférieures à –5 °C pour un refroidissement par huile;
- m) autres conditions de service anormales ne figurant pas dans cette liste ou conditions de service dépassant les limites spécifiées pour des conditions de service normales.

5.3 Caractéristiques de charge

Le fournisseur doit spécifier le type de charge pour lequel le convertisseur est conçu et pour lequel ses caractéristiques sont valables:

- résistive (W);
- fortement inductive (L);
- de type moteur (M);
- charge de batterie (B);
- capacitive (C);
- régénératrice (G).

Réciproquement, le client doit spécifier le type et les caractéristiques de la charge pour l'application considérée.

Exemples de charge nécessitant une spécification détaillée:

- charge inductive nécessitant la réversibilité de la tension et/ou la protection contre les surtensions, telle que les inducteurs de moteurs, les électro-aimants, les inductances avec un rapport X/R élevé;
- charge accumulatrice d'énergie, telle que batteries d'accumulateurs ou de condensateurs, cellules électrochimiques, onduleurs;
- treuils, dérouleuses et autres charges régénératrices d'énergie qui nécessitent des moyens permettant d'évacuer l'énergie récupérée et une protection contre les pannes de secteur;
- charges à impédance très variable avec fort gradient de courant.

5.4 Tolérances relatives aux conditions de service

5.4.1 Conditions de service en régime permanent et temporaire

Sauf spécification contraire, le convertisseur doit être conçu de manière à satisfaire aux exigences relatives à l'immunité contre les perturbations par conduction spécifiées par les indications suivantes.

Les niveaux de perturbation correspondant aux niveaux d'immunité comprennent les effets de perturbation du convertisseur ; toutefois, dans le cas où le convertisseur contribue à l'amélioration des valeurs de perturbation, les niveaux de perturbation doivent exclure les effets correspondants du convertisseur.

Différentes classes d'immunité ou différents niveaux spéciaux d'immunité peuvent être spécifiés pour différentes connexions c.a. ou c.c. Si aucune classe d'immunité n'est spécifiée, la classe B doit être supposée s'appliquer.

Pour les tensions rigides de connexion, les conditions de service électrique se réfèrent à la CEI 61000-2-4. Il est également tenu compte de la CEI 61000-2-2.

Se reporter également à la CEI/TR 60146-1-2 pour les recommandations concernant les effets de perturbation engendrés par les convertisseurs commutés par le réseau.

Les classes d'immunité A, B, C définies dans le présent article correspondent à la pratique établie par les éditions antérieures de la présente norme, avant la publication de la série CEI 61000-2 fixant les niveaux de compatibilité.

NOTE 1 Alors que la CEI 60146 établit des classes d'immunité allant d'un niveau d'immunité maximal à un niveau d'immunité minimal (immunité décroissante A, B, C), la CEI 61000-2-4 définit des classes de niveaux de compatibilité allant des valeurs minimales aux valeurs maximales (classes 1, 2 et 3 avec valeurs croissantes des niveaux de compatibilité).

NOTE 2 Pour ces phénomènes de basse fréquence, la marge entre les niveaux de compatibilité et les niveaux d'immunité peut avoir des effets significatifs sur la conception des équipements. Il est de la responsabilité du constructeur de définir les marges acceptables selon les tolérances associées à la conception des équipements et selon le procédé de fabrication appliqué. Les exigences de base ne prévoient par conséquent aucune marge.

Classe d'immunité A Les niveaux d'immunité de classe A s'appliquent aux niveaux de compatibilité de classe 3 de la CEI 61000-2-4, à l'exclusion des inflexions et des interruptions temporaires (qui ne sont pas admissibles avec la plupart des convertisseurs), et niveaux d'immunité supplémentaires définis dans les Tableaux 7, 8 et 9.

Classe d'immunité B Les niveaux d'immunité de classe A s'appliquent aux niveaux de compatibilité de classe 2 de la CEI 61000-2-4, à l'exclusion des inflexions et des interruptions temporaires (qui ne sont pas admissibles avec la plupart des convertisseurs), et niveaux d'immunité supplémentaires définis dans les Tableaux 7, 8 et 9.

Classe d'immunité C Les niveaux d'immunité de classe C s'appliquent aux niveaux de compatibilité de classe 1 de la CEI 61000-2-4, à l'exclusion des inflexions temporaires (qui ne sont pas admissibles avec la plupart des convertisseurs), et niveaux d'immunité supplémentaires définis dans les Tableaux 7, 8 et 9.

Les niveaux d'immunité définis sont récapitulés dans le Tableau 7 en fonction de la fréquence et de l'amplitude de la tension, dans le Tableau 8 en fonction du déséquilibre de tension et dans le Tableau 9 en fonction de la forme d'onde de la tension. Les niveaux de compatibilité définis dans la CEI 61000-2-4 figurent également en caractères italiques pour référence.

Il convient de spécifier les écarts par rapport aux niveaux d'immunité définis et aux niveaux d'immunité supplémentaires pour chaque équipement et chaque application.

Tableau 7 – Niveaux d'immunité en fonction de la fréquence et de l'amplitude de tension pour les connexions à tension c.a. rigide

Perturbation	Valeurs applicables de la CEI 61000-2-4	Classe d'immunité			Critères de performance ^a
		A	B	C	
Tolérance de fréquence					
plage de variation (%)		±2	B2=±2 ^b B1=±1	±1	F
taux de variation (%/s)	–	±2	±1	±1	F
Tolérance d'amplitude de la tension					
a) régime permanent $\Delta U/U_N$ (%) Niveaux de compatibilité CEI 61000-2-4 ^c	Tableau 1	+10/-10 +10/-15	+10/-10 ±10	+10/-5 ±8	F
b) courte durée (0,5 à 30 cycles) jusqu'aux valeurs assignées					
– redressement uniquement (%)	–	±15	+15/-10	+15/-10	T
– ondulation (%)	–	±15	+15/-10	+15/-7,5	T
NOTE 1 Une baisse de fréquence est supposée ne pas coïncider avec une élévation de la tension réseau et vice versa.					
NOTE 2 Pour les conditions de surcharge, d'autres limites sont à spécifier séparément.					
NOTE 3 Dans certaines limites à spécifier, la conséquence possible T peut être remplacée par F, en particulier si, selon une exigence à insérer dans la spécification, le client requiert l'utilisation de moyens spéciaux de commande.					
NOTE 4 Il faut qu'aucune variation de tension c.a. temporaire ne se produise plus d'une fois toutes les 2 h.					
^a Pour la définition du code, se référer au Tableau 3.					
^b Le niveau de compatibilité pour les réseaux industriels de classe 2, selon la CEI 61000-2-4, est ±1 %.					
^c Classes d'environnement électromagnétique 3, 2, 1.					

Tableau 8 – Niveaux d'immunité en fonction du déséquilibre de tension pour les connexions à tension c.a. rigide

Perturbation	Valeurs applicables de la CEI 61000-2-4	Classe d'immunité			Critères de performance ^a
		A	B	C	
Déséquilibre de tension U_{neg}/U_{pos}					
a) régime permanent (%) Niveaux de compatibilité CEI 61000-2-4 ^b (plus que 10 min)	Tableau 1	5 3	5 2	2 2	F
b) temporaire					
– redressement uniquement (%)	–	8	5	3	T
– ondulation (%)	–	5	5	2	T
NOTE 1 Les valeurs plus élevées spécifiées pour des variations temporaires peuvent conduire, par exemple, à une ondulation excessive côté courant continu et à des harmoniques irréguliers côté courant alternatif.					
NOTE 2 Il faut qu'aucun déséquilibre de tension temporaire ne se produise plus d'une fois toutes les 2 h.					
^a Pour la définition du code, se référer au Tableau 3.					
^b Classes d'environnement électromagnétique 3, 2, 1.					

Tableau 9 – Niveaux d'immunité en fonction de la forme d'onde de tension pour les connexions à tension c.a. rigide

Perturbation	Valeurs applicables de la CEI 61000-2-4	Classe d'immunité			Critères de performance ^a
		A	B	C	
Forme d'onde de tension					
a) taux de distorsion harmonique total (THD) (%)		25	10	5	F
Niveaux de compatibilité CEI 61000-2-4 ^b	Tableau 2	10	8	5	
b) distorsion harmonique individuelle					
régime permanent		8	6	3	F
impair (%)		2	2	1	F
pair (%)					
Niveaux de compatibilité CEI 61000-2-4 ^b	Tableau 2	8	6	3	
– rang 5 (%)					
– autres rangs impairs					
à l'exclusion des multiples de 3	Tableau 3	Voir CEI 61000-2-4	Voir CEI 61000-2-4	Voir CEI 61000-2-4	
– multiples de 3	Tableau 4				
– rangs pairs	Tableau 5				
c) encoches de commutation (régime permanent)					
– amplitude (% de U_{LWM})	–	100	40	20	T
– surface (% de U_{LWM} x degré)	–	625	250	125	T
NOTE 1 La surface d'une encoche est approximativement constante pour un courant continu donné et pour la valeur de R_{SC} . La largeur et la profondeur varient en fonction de l'angle de retard de commande (α).					
NOTE 2 Si plusieurs convertisseurs sont raccordés aux mêmes bornes de transformateur de convertisseur, il est supposé que la surface totale de toutes les encoches, sur une période du fondamental, ne dépasse pas quatre fois la surface indiquée ci-dessus pour une encoche de commutation principale.					
^a Pour la définition du code, se reporter au Tableau 3.					
^b Classes d'environnement électromagnétique 3, 2, 1.					

5.4.2 Transitoires répétitifs et non répétitifs

Les formes d'onde types en transitoires répétitifs et non répétitifs sont présentés à la Figure 4. Les caractéristiques suivantes doivent être spécifiées dans toute la mesure du possible:

- | | |
|---|-------------|
| a) énergie transitoire disponible aux bornes du convertisseur | (J); |
| b) temps de montée (de 0,1 p.u. à 0,9 p.u. de la valeur de crête) | (μ s); |
| c) valeur de crête U_{LRM}/U_{LWM} | (p.u.); |
| d) valeur de crête U_{LSM}/U_{LWM} | (p.u.); |
| e) durée supérieure à 50 % de la valeur de crête mesurée à partir de l'onde sinusoïdale (t) | (μ s) |

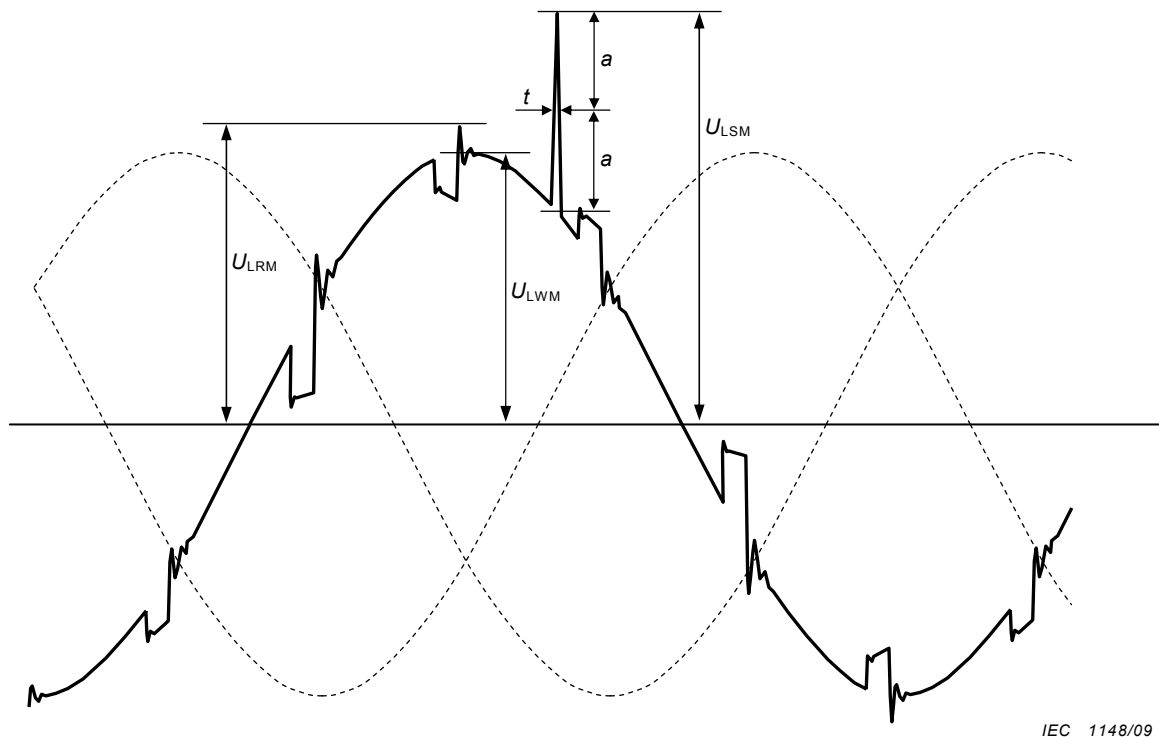


Figure 4 – Forme d'onde de tension c.a.

NOTE Pour toute information complémentaire sur les formes d'onde de tension alternative, voir la CEI/TR 60146-1-2.

6 Equipements et ensembles de conversion de puissance

6.1 Montages électriques

a) Convertisseurs de type normalisé

Compte tenu de la nécessité de simplification dans le cas usuel des convertisseurs normalisés couvrant la majorité des besoins des utilisateurs, deux types de convertisseur sont examinés dans le présent paragraphe:

- 1) les convertisseurs sans transformateur;
- 2) les convertisseurs avec transformateur individuel.

Dans les deux cas, les alimentations monophasées et triphasées sont supposées fonctionner ($p = 2, p = 6$) avec un montage homogène.

Dans le cas 2), les convertisseurs dodécaphasés et les convertisseurs à deux montages hexaphasés requièrent deux enroulements secondaires (enroulements du côté de la valve) avec les montages Y et D respectivement.

b) Convertisseurs étudiés à la demande

Pour les convertisseurs soumis à un accord spécial entre le client, le fournisseur et, éventuellement, le distributeur, du fait de leur puissance, d'exigences spéciales ou de leur mode de fonctionnement, se reporter à la CEI/TR 60146-1-2, qui donne également d'autres types de montages potentiels pour des applications particulières.

6.2 Facteurs de calcul

6.2.1 Variables essentielles

Le Tableau 10 fournit la valeur de quelques facteurs de calcul pour les montages les plus utilisés de convertisseurs commutés par le réseau. La CEI/TR 60146-1-2 donne les facteurs de calcul également pour quelques autres montages.

Le Tableau 10 comprend 17 colonnes:

La colonne 1 donne le numéro de référence du montage.

La colonne 2 définit les montages de transformateurs côté réseau.

La colonne 3 définit les montages de transformateurs côté valve.

La colonne 4 montre les montages de convertisseurs (schéma).

La colonne 5 représente l'indice de pulsation p .

La colonne 6 représente le numéro de commutation q (avec un groupe commutant).

La colonne 7 est vierge.

La colonne 8 représente le facteur de courant côté réseau.

La colonne 9 représente le facteur de courant côté valves.

La colonne 10 représente le rapport de tension U_{di}/U_{v0} .

La colonne 11 représente le rapport de tension U_{iM}/U_{di} .

La colonne 12 représente la variation de tension.

La colonne 13 représente les montages de transformateurs de court-circuit pour l'essai de vérification des transformateurs.

La colonne 14 représente les montages de transformateurs de court-circuit pour l'essai de vérification des transformateurs.

La colonne 15 représente les montages de transformateurs de court-circuit pour l'essai de vérification des transformateurs.

La colonne 16 représente les pertes relatives au fonctionnement des convertisseurs, associées par ailleurs aux pertes dans des conditions de court-circuit (colonnes 13-14-15).

La colonne 17 donne la mesure de e_{xN} , composante inductive de la tension de court-circuit relative du transformateur de convertisseur, correspondant à I_{LN} .

Les rapports de tension sont les suivants:

$$\frac{U_{di}}{U_{v0}} \quad \text{et} \quad \frac{U_{iM}}{U_{di}}$$

pour la tension continue fictive à vide et la tension continue fictive de crête à vide.

Le facteur de courant côté réseau est le quotient de la valeur efficace I'_L du courant côté réseau et du courant continu I_d . Le facteur de courant côté réseau est indiqué dans le Tableau 10 en supposant que le courant continu est suffisamment filtré, que les ondes des courants alternatifs sont de forme rectangulaire et que le rapport de tension dans le cas de montages à une voie ou à deux voies est le suivant:

$$\frac{U_L}{U_{v0}} = 1$$

où

U_L est la tension entre phases du côté réseau ;

U_{V0} est la tension entre les deux phases commutantes du côté de la valve.

Le courant côté réseau est approximativement:

$$I_L = I'_L \times \frac{U_{V0}}{U_L}$$

La variation de tension continue intrinsèque se présente sous la forme du rapport:

$$\frac{d_{xtN}}{e_{xN}}$$

entre la variation de tension continue d_{xtN} à la charge assignée due à la réactance de commutation du transformateur, rapportée à U_{di} et la composante inductive e_{xN} de la tension d'impédance du transformateur au courant assigné côté réseau I_{LN} , pour l'équipement complet, exprimée en pourcentage de la tension alternative assignée U_{LN} , les enroulements secondaires court-circuités étant indiqués dans la colonne 17.

La variation inductive de tension continue d_{xtN} peut être calculée à partir de la valeur e_{xN} d'un transformateur triphasé, uniquement pour des montages avec un indice de commutation $q = 3$.

Pour tous les autres montages avec transformateur triphasé, le quotient de d_{xtN} par e_{xN} peut dépendre de la proportion de réactances primaires et secondaires dans le transformateur. Pour de tels montages, il est recommandé de calculer d_{xtN} par la méthode décrite dans la CEI/TR 60146-1-2.

NOTE Il est supposé que l'angle d'empiètement μ est inférieur à $2\pi / p$, p étant l'indice de pulsation.

Il est supposé que les circuits magnétiques correspondant aux montages alimentés par des courants triphasés indiqués dans le Tableau 10 comportent trois noyaux.

Facteur de perte de puissance: Le Tableau 10 donne le rapport entre les pertes de puissance en fonctionnement du convertisseur et les pertes au cours de l'essai de court-circuit pour le courant assigné côté réseau I_{LN} de l'équipement complet et conformément aux colonnes 13, 14 et 15.

Conditions de court-circuit: La protection du convertisseur est généralement telle qu'un court-circuit est neutralisé le plus rapidement possible. Certaines applications, par exemple des convertisseurs utilisés dans des installations fixes ferroviaires, exigent que le convertisseur résiste au courant de court-circuit continu pendant le temps de rupture du disjoncteur de sortie qui peut atteindre au maximum 150 ms. Dans ce type de situations, les rapports de calcul spécifiques prennent en compte l'angle d'empiètement important qui génère une commutation multiple. Des normes dédiées traitent de ce type de situations (voir CEI 62589).

Tableau 10 – Montages et facteurs de calcul

N°	Montage de transformateur		Montage de convertisseur	p ^a	q ^a		Facteur de courant côté réseau ^b I _L ' / I _d	Facteur de courant côté valves ^c I _v / I _d	U _{di} / U _{v0}	U _{IM} / U _{di}	d _{xN} N / e _{xN}	Bornes à court-circuiter pour l'essai de mesure des pertes du transformateur			Pertes totales en fonctionnement du convertisseur	Bornes à court-circuiter pour e _{xN}
	Côté réseau	Côté valves										A	B	C		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Convertisseur simple, montages à simple voie																
1				2	2		0,5	0,707 $\left(\frac{1}{\sqrt{2}}\right)$	0,450 $\left(\frac{\sqrt{2}}{\pi}\right)$	3,14 (π)	0,707 $\left(\frac{1}{\sqrt{2}}\right)$	0-1	0-2		0,5(P _A +P _B)	1-2
Convertisseur simple, montages homogènes à deux voies																
7				2	2		1	1	0,900 $\left(\frac{2\sqrt{2}}{\pi}\right)$	1,57 $\left(\frac{\pi}{2}\right)$	0,707 $\left(\frac{1}{\sqrt{2}}\right)$	1-2			P _A	1-2
8				6	3		0,816 $\left(\frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}}\right)$	0,816 $\left(\frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}}\right)$	1,35 $\left(\frac{3\sqrt{2}}{\pi}\right)$	1,05 $\left(\frac{\pi}{3}\right)$	0,500	1-2-3			P _A	1-3-5
9				12	3		0,789 $\left(\frac{1+\sqrt{3}}{2\sqrt{3}}\right)$	0,408 $\left(\frac{1}{\sqrt{6}}\right)$	1,35 $\left(\frac{3\sqrt{2}}{\pi}\right)$	1,05 $\left(\frac{\pi}{3}\right)$	0,259	11-13-15 23-25	21-23-25	11-13-15 21-23-25	0,036 (P _A +P _B) + 0,928 P _C	Moyenne de la mesure 1 11-13-15 mesure 2 21-23-25
12				12	3		1,58 $\left(\frac{1+\sqrt{3}}{\sqrt{3}}\right)$	0,816 $\left(\frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}}\right)$	2,70 $\left(\frac{6\sqrt{2}}{\pi}\right)$	0,524 $\left(\frac{\pi}{6}\right)$	0,259	11-13-15 23-25	21-23-25	11-13-15 21-23-25	0,036 (P _A +P _B) + 0,928 P _C	Moyenne de la mesure 1 11-13-15 mesure 2 21-23-25
18				Voir montage n° 8												
19				Voir montage n° 8												
NOTE Pour tout autre montage, voir la CEI/TR 60146-1-2.				a			Se reporter au Tableau 2.									
				b			Se reporter au primaire du transformateur.									
				c			Se reporter au secondaire du transformateur.									

6.2.2 Pertes et rendement

6.2.2.1 Généralités

Le rendement des blocs ou des blocs de convertisseurs doit être déclaré comme étant le rendement en puissance.

Le rendement peut être déterminé, au choix du fournisseur, par une mesure des puissances en courant alternatif et en courant continu dans les conditions de charge normale ou par une mesure des pertes internes dans un essai en court-circuit et un essai à faible charge ou par un calcul des pertes internes.

Les appareils inclus dans le calcul du rendement global doivent être indiqués.

Dans tous les cas où il peut y avoir un doute concernant le fait de déterminer s'il convient de tenir ou non compte des pertes d'un élément constituant de l'équipement de conversion de puissance (PCE), le calcul du rendement doit spécifier si ces pertes sont comprises dans le rendement annoncé. Pour certains des éléments constituant de l'équipement de conversion de puissance, il doit être tenu compte des paragraphes suivants.

6.2.2.2 Pertes à inclure

Les pertes suivantes doivent être prises en considération pour le calcul du rendement:

- a) les pertes internes dans le bloc, telles que les pertes dans les valves à semiconducteurs, dans les coupe-circuits, les diviseurs de tension, les dispositifs d'équilibrage du courant, les circuits d'amortissement à capacités et résistances et les dispositifs parasurtenseurs;
- b) les pertes dans les transformateurs, les transducteurs, les bobines d'absorption, les inductances de limitation et d'équilibrage du courant entre le transformateur et les blocs de thyristors ou de diodes, et les pertes dans les transformateurs auxiliaires côté réseau et les inductances faisant partie intégrante de l'équipement et fournies dans le cadre du même contrat;
- c) les pertes dues aux connexions principales entre le transformateur et le bloc dans le cas où le transformateur et le bloc sont construits ensemble et fournis comme un ensemble;
- d) la puissance absorbée par les équipements auxiliaires tels que les ventilateurs ou les pompes, et les relais, à alimentation permanente, sauf spécification contraire;
- e) les pertes dans les inductances de lissage, lorsqu'elles sont livrées par le fournisseur du PCE;
- f) les pertes dues aux courants de circulation dans le cas de montages de convertisseurs doubles;
- g) la puissance consommée par le dispositif de commande (voir 3.1.17).

6.2.2.3 Pertes non incluses

Les pertes suivantes ne doivent pas être prises en considération pour le calcul du rendement mais doivent être indiquées séparément sur demande et si l'appareil concerné est livré par le fournisseur du PCE:

- a) les pertes dues aux connexions principales entre le transformateur et le bloc lorsqu'ils sont fournis séparément;
- b) les pertes dues aux connexions principales entre les disjoncteurs, sectionneurs, interrupteurs et la charge;
- c) les pertes dans les disjoncteurs, sectionneurs et interrupteurs, ainsi que dans les organes de commande autres que ceux mentionnés en 6.2.2.2 ;
- d) les pertes dues au chauffage et à la ventilation du bâtiment ainsi qu'à l'alimentation en fluide de refroidissement;
- e) les pertes dans l'inductance de lissage, lorsqu'elle n'est pas fournie avec le PCE;

- f) les pertes dans l'équipement de commande (voir 3.1.18);
- g) les pertes dues aux appareils auxiliaires qui ne fonctionnent que par intermittence.

6.2.3 Facteur de puissance

Du fait que le courant côté réseau d'un convertisseur à commutation par le réseau contient des harmoniques, il est important de mentionner le facteur de puissance concerné lorsqu'il s'agit de spécifier une valeur garantie de facteur de puissance côté alimentation.

Il est fait référence au facteur de puissance de l'onde fondamentale ou du facteur de déphasage $\cos \varphi_1$, sauf spécification contraire (voir 3.7.14).

Pour les indices de pulsation supérieurs à 6, la différence entre le facteur de puissance total λ et le facteur de déphasage $\cos \varphi_1$ est faible, alors qu'elle est importante pour les indices de pulsation plus faibles.

Sauf indication contraire dans le contrat, pour les convertisseurs polyphasés alimentant une charge inductive, le fabricant doit garantir le facteur de déphasage $\cos \varphi_1$.

NOTE Dans ce cas, le calcul convient pour obtenir des valeurs fiables du facteur de déphasage en commande symétrique.

Pour les convertisseurs alimentant principalement des chargeurs de batterie ou des charges capacitatives, il convient de prendre en compte le facteur de puissance total.

Lorsque des calculs exacts du facteur de déphasage ou du facteur de puissance total sont nécessaires, il est impératif de connaître de nombreux paramètres, y compris l'impédance du réseau. Pour de tels calculs, se reporter à la CEI/TR 60146-1-2.

Les formules décrites en 6.2.3 peuvent être appliquées en supposant un courant continu lissé et une forme d'onde rectangulaire du courant alternatif.

Lorsque le courant continu réel et la tension continue de sortie d'un convertisseur à commutation par le réseau sont connus, les formules suivantes donnent des valeurs approchées:

$$\text{Puissance active} \quad P = U_d \times I_d$$

$$\text{Puissance apparente fondamentale} \quad S_1 = U_{d1} \times I_d$$

$$\text{Facteur de déphasage} \quad \cos \varphi_1 = P/S_1$$

$$\text{Puissance réactive fondamentale} \quad Q_1 = \sqrt{S_1^2 - P^2}$$

Ces formules donnent normalement une précision suffisante pour le calcul de $\cos \varphi_1$ et du nombre de condensateurs nécessaires pour corriger le facteur de puissance à la valeur spécifiée.

Se reporter à la CEI/TR 60146-1-2 pour plus de détails, si nécessaire.

6.2.4 Variation de tension

Les éléments suivants concernent les convertisseurs de type normalisé (montage n° 8 dans le Tableau 10), à commutation par le réseau, avec montage à double voie homogène triphasé, avec transformateur ou réactances côté réseau. Le cas décrit ici tient compte de quelques cas courants.

- a) Variation de tension continue due à la résistance du circuit

La variation de tension continue due à la résistance du circuit U_{dr} est approximée par la formule suivante en utilisant les pertes dans les composants P_r .

$$U_{dr} = \frac{P_r}{I_{dN}}$$

Le terme "composants" englobe les enroulements de transformateurs, les réactances côté réseau, les réactances de lissage, les diodes, les thyristors, les fusibles, etc.

b) Variation de tension continue due à l'inductance du circuit

En utilisant la tension nominale aux bornes du courant alternatif du convertisseur, la variation de tension due à l'inductance du circuit est donnée par:

$$U_{dx} = 0,5 \times U_{di} \times \frac{S_{1LN}}{S_{com}} \times \frac{I_d}{I_{dN}}$$

1) Convertisseur avec transformateur individuel

$$S_{com} = \frac{1}{\frac{1}{S_c} + \frac{e_{xN}}{S_{tN}}}$$

2) Convertisseur sans transformateur individuel

L'inductance L des câbles et des inductances côté réseau est prise en compte à la place de celle du transformateur, en utilisant la variation de tension par unité pour le courant assigné, afin de calculer S_{com} :

$$S_{com} = \frac{1}{\frac{1}{S_c} + \frac{X_L}{S_{1LN}}}$$

où

$$X_L = \frac{2 \times \pi \times f_N \times L \times S_{1LN}}{U_{LN}^2}$$

Pour les autres cas, voir la CEI/TR 60146-1-2.

c) Influence d'autres convertisseurs

Si plusieurs convertisseurs sont alimentés à partir du même transformateur d'alimentation, il en résulte habituellement une chute additionnelle de tension. Si cela est prévu au contrat, le calcul détaillé peut être effectué en utilisant la puissance, le type de montage et d'autres caractéristiques des autres convertisseurs.

Dans le cas simple de plusieurs convertisseurs indépendants et identiques, la valeur maximale de la chute additionnelle de tension peut être estimée en utilisant la puissance apparente totale de tous les convertisseurs et en prenant la même valeur de l'angle de retard de commande α .

d) Convertisseurs dodécaphasés

Le cas de deux convertisseurs en série, à indice de pulsation 6, l'un alimenté par l'enroulement secondaire Y, l'autre par l'enroulement secondaire D, est traité séparément pour chaque convertisseur, en négligeant l'inductance de fuite du primaire, qui est habituellement beaucoup plus faible que l'inductance de fuite du secondaire pour des transformateurs conçus pour cette application et en ajoutant la variation de tension individuelle.

e) Convertisseurs survolteurs/dévolteurs à commande séquentielle (montage en série)

En utilisant la même hypothèse que ci-dessus, la variation de tension dépend du point de fonctionnement et chaque convertisseur à indice de pulsation 6 doit être traité séparément. La tension continue et la variation de tension s'ajoutent (algébriquement si l'un des convertisseurs se trouve en mode onduleur).

Cette méthode approximative peut être utilisée également pour les convertisseurs triphasés à double voie et non homogènes (par exemple trois thyristors, trois diodes ou six thyristors, six diodes).

6.3 Compatibilité électromagnétique

6.3.1 Harmoniques

6.3.1.1 Rang des harmoniques du courant et de la tension réseau

En supposant une symétrie parfaite des tensions d'alimentation, des angles de retard de commande, du rapport de transformation pour les enroulements Y et D, les calculs suivants s'appliquent pour les convertisseurs triphasés à montage homogène.

Le rang des harmoniques réguliers dépend de l'indice de pulsation p :

$$h = kp \pm 1 \quad k = \text{nombre entier } (1...n)$$

La fréquence correspondante est liée à la fréquence fondamentale f_1 par:

$$f_h = h \times f_1$$

et soumise aux variations de fréquence du réseau.

NOTE 1 Du fait d'erreurs résiduelles dans les tensions d'enroulement Y et D (nombre entier de spires), du déséquilibre des tensions d'alimentation, d'une erreur de l'angle de retard de commande et d'autres tolérances de fabrication, les convertisseurs dodécaphasés produisent généralement des harmoniques irréguliers qui peuvent atteindre 0,05 p.u. à 0,15 p.u. de la valeur applicable à un convertisseur hexaphasé ($p=6$) de la même puissance.

NOTE 2 Les convertisseurs à deux ponts hexaphasés, à commande séquentielle ou non uniformes, peuvent produire des harmoniques jusqu'à 1,0 p.u. de la valeur théorique pour le convertisseur hexaphasé de même puissance suivant l'angle de retard de commande et le déphasage éventuel entre phases secondaires du transformateur.

Se reporter à l'Annexe A et à la CEI/TR 60146-1-2 pour plus d'informations.

6.3.1.2 Amplification des courants harmoniques côté réseau

Des batteries de condensateurs peuvent être utilisées pour la compensation du facteur de puissance de moteurs d'induction et de convertisseurs à commutation par le réseau. La résonance entre l'impédance de source et les condensateurs (y compris la capacité des câbles, surtout pour les réseaux MT) peut amplifier les courants et les tensions harmoniques. Ces résonances peuvent être déplacées vers les basses fréquences (en dessous du 5e harmonique) en utilisant des inductances en série avec les condensateurs.

Se reporter à l'Annexe A et à la CEI/TR 60146-1-2 pour plus d'informations.

6.3.1.3 Ondulation de la tension continue

Pour les tensions d'alimentation à équilibre parfait, les angles de retard de commande, etc., la fréquence de l'ondulation du courant et de la tension continue est donnée par:

$$f_{h,dc} = k \times p \times f_1 \quad k = \text{nombre entier } (1...n)$$

La tension inverse produit une ondulation supplémentaire à la fréquence $2 \times f_1$ qui ne peut être éliminée par une exécution appropriée du convertisseur, à moins de prévoir une grande inductance de lissage ou un filtre de sortie côté continu.

Se reporter à l'Annexe A et à la CEI/TR 60146-1-2 pour plus d'informations.

Le courant continu comporte également une phase d'ondulation du fait de l'ondulation de la tension côté courant continu. Pour les convertisseurs alimentant des batteries de condensateurs ou d'accumulateurs (chargeurs de batterie), la force contre-électromotrice peut être égale à la tension moyenne continue, auquel cas, le courant continu est interrompu et un dispositif de commande approprié est requis.

6.3.2 Autres aspects CEM

Outre les ondulations, qui représentent le principal problème CEM pour les convertisseurs à semiconducteurs, il doit être tenu compte du risque d'interférence avec les réseaux de commande et de communication à faible courant internes, ou avec les liaisons téléphoniques et de télécommunications. Les informations suivantes fournissent uniquement des recommandations générales, rappelant par ailleurs que, comme indiqué en 4.3.3.2, tous les aspects de la compatibilité électromagnétique (CEM) relatifs à certains convertisseurs à semiconducteurs sont traités dans des normes dédiées.

a) Interférences avec les réseaux de commande et de communication à faible courant internes

Le cheminement des câbles, le filtrage, les câbles pour signaux de retour et les câbles à faible consommation de courant, etc., lorsqu'ils sont installés par l'acheteur, doivent être conformes à toutes instructions données par le fournisseur ainsi qu'aux publications du comité d'études 77 de la CEI et aux exigences des autorités locales.

b) Interférences avec les liaisons téléphoniques et de télécommunications

Les convertisseurs industriels de type normalisé ou les convertisseurs de conception particulière pour usage industriel ne sont généralement pas conçus pour satisfaire aux exigences applicables aux appareils domestiques et analogues, visés en particulier dans les normes CEM génériques relatives aux applications nationales, commerciales et de l'industrie légère (CEI 61000-6-1 et 61000-6-3). Des références sont données dans les normes CEM génériques pour les applications industrielles (CEI 61000-6-2 et CEI 61000-6-4), ainsi que dans les normes de produits dédiées, voir 4.3.3.2.

L'acheteur doit spécifier toutes exigences spéciales dans l'appel d'offres ou, à défaut, préciser le lieu d'implantation, le type de réseau d'alimentation, l'utilisation normale du convertisseur et tous renseignements pouvant influencer sur les exigences réelles de compatibilité électromagnétique (CEM).

6.4 Valeurs assignées

6.4.1 Généralités

Les valeurs assignées d'un convertisseur doivent soit être définies par des valeurs normalisées usuelles applicables aux convertisseurs d'usage général soit être aussi proches que possible des valeurs correspondant à la charge d'utilisation prévue. Les caractéristiques du convertisseur ne sont pas valables si la charge appliquée ne correspond pas à celle prévue.

La spécification du convertisseur doit également comporter la spécification des caractéristiques de la charge.

Les exigences relatives aux entraînements de moteurs à vitesse variable utilisés dans des applications telles que des laminoirs, machines à papier, machines d'extraction, etc. sont mentionnées dans des publications de la CEI.

6.4.2 Valeur assignée de la tension de sortie

La valeur assignée de la tension de sortie doit être la valeur de la tension de service continue assignée par le fournisseur.

La tension de sortie maximale doit satisfaire aux exigences dynamiques de l'utilisation normale ou doit être spécifiée séparément par l'acheteur.

NOTE Fréquemment, un convertisseur à commutation par le réseau doit être conçu pour une tension continue maximale supérieure à la tension continue assignée (par exemple, dans le cas de convertisseurs d'excitation de machines à courant continu ou synchrones, il s'agit d'un multiple de la tension continue assignée), afin de fournir une marge de réglage, de régulation de la tension ou de compensation de la variation de tension des réseaux à courant alternatif. Cela peut conduire à une puissance apparente assignée pour le transformateur de convertisseur qui, dans certains cas, est beaucoup plus élevée que la puissance assignée du convertisseur.

En l'absence d'une telle spécification, la tension continue assignée doit être maintenue pour toutes les valeurs de courant inférieures ou égales au courant continu assigné applicables aux limites spécifiées (voir 5.4, tolérances relatives aux conditions de service) pour une tension d'alimentation aux bornes du convertisseur.

Un convertisseur à commutation par le réseau doit fonctionner sans interruption aux valeurs qui lui ont été assignées, quel que soit le mode de fonctionnement (redresseur ou onduleur) et dans les limites de tolérance applicables aux conditions de service. Une tension inférieure peut être convenue pour les réseaux à courant alternatif soumis à de fortes variations, en notant qu'il convient que le niveau de sûreté de fonctionnement en onduleur soit inférieur à la valeur minimale prévue de la tension alternative côté réseau (voir 5.4).

6.4.3 Valeurs assignées du courant

6.4.3.1 Valeurs de courant à spécifier

A chaque équipement de conversion de puissance doit être assignée une valeur pour le courant nominal, ainsi qu'une classe de service spécifiée, à moins que le courant nominal ne soit associé à un service continu (voir cycle de service, VEI 151-16-02). Une valeur relative au courant continu nominal doit par ailleurs être assignée aux ensembles d'équipements. Cette valeur assignée correspond au courant continu nominal (valeur maximale) I_{dMN} (voir 3.6.10)

Indépendamment de la classe de service qui lui est assignée, le convertisseur et ses sous-ensembles constitutants doivent être capables de supporter les courants de défaut dans les limites admises par les dispositifs de protection (par exemple des fusibles), telles que recommandées par le fournisseur du convertisseur. Ce principe s'applique à toutes les conditions de fonctionnement jusques et y compris l'application de la charge maximale.

Indépendamment de la classe de service qui lui est assignée, le convertisseur et ses sous-ensembles constitutants doivent être capables de supporter des surintensités de l'amplitude et de la durée qui se révèlent nécessaires pour permettre au régulateur automatique de charge ou au dispositif de protection contre les surintensités de fonctionner (protection électronique contre les surintensités).

6.4.3.2 Service temporaire

Un courant assigné peut être défini pour un fonctionnement continu et permanent tel que décrit ci-dessus, ou pour un cycle de charge simple consistant en un courant constant associé à un courant de pointe temporaire unique. Deux méthodes équivalentes peuvent être utilisées. Dans les deux cas, les exigences de 6.4.3.1 s'appliquent.

a) Courant assigné pour le service de charge de pointe

Le courant assigné pour le service de charge de pointe fourni par les équipements de conversion de puissance (PCE) est compatible avec un service de charge de pointe, à condition que la charge de pointe soit suivie d'une période de service à vide dont la durée permet à la température de toutes les pièces constitutives des équipements d'atteindre la température correspondant à un fonctionnement avec le courant continu assigné.

La valeur de courant continu que les PCE peuvent fournir à la charge pendant une durée définie dans des conditions de service spécifiées, et qui inclut un courant continu de pointe temporaire, correspond au courant continu applicable au service de charge de pointe. La durée et la valeur du courant de pointe (courant continu maximal de pointe I_{dSMN}) ainsi que la période minimale à charge nulle précédant toute période sous tension doivent être spécifiées, comme défini en 3.6.11 et 3.6.13.

b) Courant assigné pour service continu avec surcharges de crête

Le courant assigné pour un service continu avec l'application de surcharges de crête fournies par les PCE est compatible avec un service de charge de pointe intermittent, à condition que la durée minimale entre les applications de charges de crête intermittentes permette à la température de toutes les pièces constitutives des équipements d'atteindre la température correspondant à un fonctionnement avec le courant continu assigné.

La valeur assignée pour ce type de service est la valeur de courant continu que le convertisseur peut fournir à la charge pendant une durée illimitée dans des conditions de service spécifiées avec application intermittente de charges de pointe (I_{dRMN}) dont la durée et l'amplitude sont spécifiées. La durée minimale entre les applications de charges de pointe intermittentes doit également être spécifiée (voir 3.6.12 et 3.6.14).

c) Courant assigné pour un service de charge répétitive (service périodique)

Le courant continu assigné du PCE doit être spécifié comme la valeur efficace du courant de charge, calculée sur la période du cycle de charge. La classe de service doit être spécifiée de préférence sous la forme d'une suite de valeurs de courants assignés en spécifiant leurs durées respectives, comme défini en 3.6.15.

6.5 Classes de service

6.5.1 Principes

Si, dans la pratique, il est difficile de connaître les diagrammes de charge prévus dont dépendent les dimensions exactes d'un convertisseur, des diagrammes conventionnels qui comportent des valeurs de courant constantes pour des durées spécifiées peuvent être spécifiés comme suit.

Une valeur assignée de courant doit être spécifiée, étant par ailleurs valable uniquement pour une classe de service définie. Si un convertisseur est conçu pour fonctionner à différentes classes de service, des valeurs assignées distinctes du courant doivent être données pour chaque classe de service.

Si le Tableau 11 ne fournit aucune classe de service normalisée appropriée, le courant assigné doit être égal à la valeur efficace du cycle de charge répétitive correspondant à la période de 15 min soumise à la charge la plus élevée, sauf spécification contraire.

Le Tableau 11 présente des classes de service normalisées, qui spécifient les limites de courant en termes de valeurs et de durées.

Chaque valeur de courant spécifiée dans le Tableau 11 est applicable individuellement après stabilisation des températures au niveau correspondant à un fonctionnement continu à la valeur assignée du courant.

Pour les exemples de cycles de charge, voir le Tableau 12.

Tableau 11 – Classes de service normalisées

Classe de service	Valeurs assignées des courants de convertisseurs et conditions d'essai des blocs de convertisseurs (valeurs relatives du courant assigné par unité de I_{dN})	
I	1,00	p.u. avec fonctionnement continu
II	1,00 1,50	p.u. avec fonctionnement continu p.u. 1 min
III	1,00 1,50 2,00	p.u. avec fonctionnement continu p.u. 2 min p.u. 10 s
IV	1,00 1,25 2,00	p.u. avec fonctionnement continu p.u. 2 h p.u. 10 s
V	1,00 1,50 2,00	p.u. avec fonctionnement continu p.u. 2 h p.u. 1 min
VI	1,00 1,50 3,00	p.u. avec fonctionnement continu p.u. 2 h p.u. 1 min

6.5.2 Choix de la classe de service et de la valeur de courant assigné

Divers diagrammes de courants de charge hypothétiques spécifiant des conditions de charge supposées typiques pour les classes de service normalisées sont fournis dans le Tableau 12, avec une indication d'applications pour chaque classe.

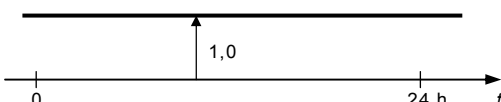
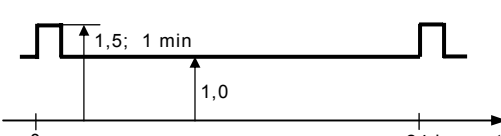
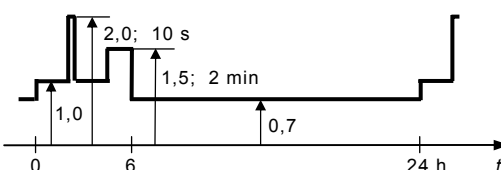
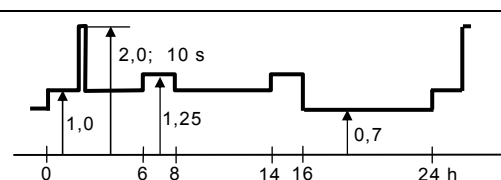
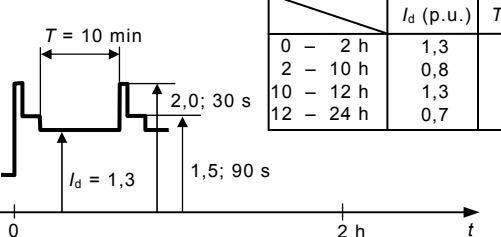
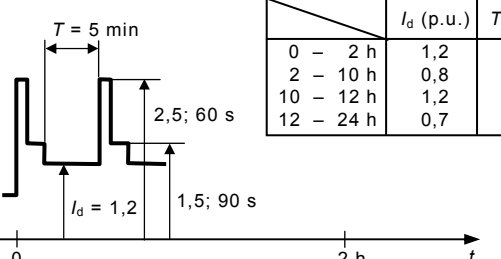
Afin de faciliter la détermination de la valeur du courant assigné du PCE, le diagramme de charge prévu doit être examiné. Il convient par ailleurs que les conditions indiquées dans le Tableau 12 ne soient normalement pas dépassées.

Les conditions de charge indiquées dans le Tableau 12 sont inférieures aux valeurs assignées du courant indiquées dans le Tableau 11. Cela est justifié du fait que les surcharges sont parfois simultanées. Il en résulte par ailleurs que des surcharges assignées de courte durée (5 min au maximum) peuvent dans la quasi-totalité des cas pratiques être appliquées en toute sécurité aussi souvent que la durée la plus longue spécifiée pour le courant de charge de pointe assigné inférieur le permet, avec la seule restriction que l'intervalle de temps entre deux courants de pointe consécutifs soit de 20 min au moins. La restriction est due au fait que la constante de temps thermique des blocs convertisseurs est généralement comprise entre 2 min et 20 min selon les caractéristiques du système de refroidissement.

Cela signifie, pour les classes de service IV et V, que les périodes T_1 , T_2 , etc. et les valeurs de courant correspondantes I_1 , I_2 peuvent être très différentes sans toutefois affecter la conception du transformateur.

Les conditions de charge typiques des classes de service V et VI comprennent des courants de pointe répétitifs à deux niveaux, comme représenté dans les diagrammes de charges, avec des intervalles interposés d'amplitude de courant I_d (p.u.). L'amplitude I_d (p.u.) et la durée t (min) du courant sont spécifiées dans les tableaux et changent au cours de la journée.

Tableau 12 – Exemples de cycles de charge utilisés pour le choix des classes de service

Classe de service	Applications les plus typiques	Conditions de charges typiques supposées pour la classe de service Courant de charge associé au courant continu assigné																				
I	Processus électrochimiques, etc.																					
II	Processus électrochimiques, etc.																					
III	Service avec sous-stations pour industrie légère et traction peu intense																					
IV	Service industriel intensif																					
V	Sous-station de moyenne traction et exploitation minière $I_d = 1,5$ p.u. (2 h)	 <table><tr><th></th><th>I_d (p.u.)</th><th>T (min)</th><th>$I_{d,rms}$ (p.u.)^a</th></tr><tr><td>0 – 2 h</td><td>1,3</td><td>10</td><td>1,36</td></tr><tr><td>2 – 10 h</td><td>0,8</td><td>15</td><td>0,94</td></tr><tr><td>10 – 12 h</td><td>1,3</td><td>10</td><td>1,36</td></tr><tr><td>12 – 24 h</td><td>0,7</td><td>30</td><td>0,79</td></tr></table>		I_d (p.u.)	T (min)	$I_{d,rms}$ (p.u.) ^a	0 – 2 h	1,3	10	1,36	2 – 10 h	0,8	15	0,94	10 – 12 h	1,3	10	1,36	12 – 24 h	0,7	30	0,79
	I_d (p.u.)	T (min)	$I_{d,rms}$ (p.u.) ^a																			
0 – 2 h	1,3	10	1,36																			
2 – 10 h	0,8	15	0,94																			
10 – 12 h	1,3	10	1,36																			
12 – 24 h	0,7	30	0,79																			
Classe de service	Applications les plus typiques	Conditions de charges typiques supposées pour la classe de service Courant de charge associé au courant continu assigné																				
VI	Sous-station de grande traction $I_d = 1,5$ p.u. (2 h)	 <table><tr><th></th><th>I_d (p.u.)</th><th>T (min)</th><th>$I_{d,rms}$ (p.u.)^a</th></tr><tr><td>0 – 2 h</td><td>1,2</td><td>5</td><td>1,50</td></tr><tr><td>2 – 10 h</td><td>0,8</td><td>6</td><td>1,26</td></tr><tr><td>10 – 12 h</td><td>1,2</td><td>5</td><td>1,50</td></tr><tr><td>12 – 24 h</td><td>0,7</td><td>20</td><td>0,93</td></tr></table>		I_d (p.u.)	T (min)	$I_{d,rms}$ (p.u.) ^a	0 – 2 h	1,2	5	1,50	2 – 10 h	0,8	6	1,26	10 – 12 h	1,2	5	1,50	12 – 24 h	0,7	20	0,93
	I_d (p.u.)	T (min)	$I_{d,rms}$ (p.u.) ^a																			
0 – 2 h	1,2	5	1,50																			
2 – 10 h	0,8	6	1,26																			
10 – 12 h	1,2	5	1,50																			
12 – 24 h	0,7	20	0,93																			

^a $I_{d,rms}$ est la valeur efficace pendant le cycle de charge.

^a $I_{d,rms}$ est la valeur efficace pendant le cycle de charge.

6.5.3 Remarques particulières aux convertisseurs doubles

Un convertisseur double peut avoir soit une charge symétrique lorsque la charge est symétrique pour les deux sections de convertisseur dans les deux sens du courant, soit une charge asymétrique lorsque les charges pour les deux sections sont différentes.

Les exigences définies en 6.4.3 s'appliquent également aux convertisseurs doubles. Dans le cas de convertisseurs doubles à charge asymétrique, des cycles de service distincts doivent être fournis pour chaque section.

Des recommandations spéciales pour les convertisseurs doubles destinés aux entraînements de moteurs à vitesse variable sont fournies dans la CEI 61800-6.

6.6 Marquages

6.6.1 Généralités

Chaque PCE qui est livré comme élément complètement assemblé et chaque bloc livré séparément doivent comporter les marquages suivants:

a) Indication claire du constructeur ou du fournisseur

NOTE 1 Cette indication peut être inscrite sur la plaque signalétique.

b) Indication du type d'équipement

Le type d'équipement est conforme à 3.2 et 3.3.

NOTE 2 Cette indication peut être inscrite sur la plaque signalétique. Il convient que l'indication, pour les PCE, comprenne le mode d'exploitation prévu, par exemple "groupe redresseur réglable" ou "onduleur".

c) Marquage des bornes d'entrée et de sortie du circuit principal

Il convient que le marquage représente respectivement l'ordre des phases (le cas échéant) ou la polarité.

6.6.2 Plaque signalétique

a) Plaques signalétiques des blocs et des équipements

Le produit doit être fourni avec les informations suivantes. Pour les produits non couverts par leurs propres normes dédiées, la plaque signalétique doit comporter les indications suivantes:

- 1) la référence d'identification, la désignation du type par le constructeur et le numéro de série;
- 2) le nombre de phases d'entrée (y compris le neutre s'il doit être raccordé) ou la mention "c.c.";
- 3) la tension d'entrée assignée (appelée "tension continue assignée" dans le cas des onduleurs);
- 4) le courant d'entrée assigné (appelé "courant continu assigné" dans le cas des onduleurs);
- 5) la fréquence d'entrée assignée, le cas échéant;
- 6) le nombre de phases de sortie (y compris le neutre s'il doit être raccordé) ou la mention "c.c.";
- 7) la tension de sortie assignée (appelée "tension continue assignée" dans le cas de redresseurs);
- 8) le courant de sortie assigné (appelé "courant continu assigné" dans le cas de redresseurs);
- 9) la fréquence de sortie assignée, le cas échéant;
- 10) la plage de tensions de sortie (si la tension de sortie est réglable);
- 11) la plage de fréquences de sortie (si la fréquence de sortie est réglable);
- 12) le caractère de la charge (par exemple force contre-électromotrice, inductive, etc.) si limitée dans ces conditions;
- 13) le type de service ou la classe de service;
- 14) le type de montage comprenant respectivement "uniforme" ou "non uniforme" (pour les blocs uniquement);

- 15) le courant de court-circuit symétrique maximal admissible prévu de la source d'alimentation (valeur efficace);
- 16) la référence de la présente norme CEI.

NOTE Les éléments 4) et 10) à 13) peuvent ne pas figurer sur la plaque signalétique des équipements de faible puissance (puissance inférieure ou égale à 300 kW et courant assigné n'excédant pas 5 000 A). Comme l'indique le domaine d'application de la présente norme, lorsqu'une norme de produit ou une norme de sécurité de produit dédiées définit des exigences relatives à la plaque signalétique, cette norme dédiée prévaut sur toute autre norme.

b) Informations supplémentaires le cas échéant

Certains éléments peuvent être ajoutés le cas échéant, notamment ceux indiqués ci-dessous:

- 1) le mode de refroidissement;
- 2) les exigences relatives au refroidissement (température, débit du fluide de refroidissement);
- 3) la masse totale et la masse du fluide de refroidissement (le cas échéant);
- 4) le degré de protection;
- 5) le facteur de déphasage dans les conditions assignées;
- 6) le symbole de courbe caractéristique de la puissance utile.

7 Essais des blocs de valves et des équipements de conversion de puissance

7.1 Généralités

7.1.1 Méthodes d'essais

Les convertisseurs à semiconducteurs sont le plus souvent intégrés aux équipements électriques. Les équipements électriques incluent les accessoires nécessaires au fonctionnement du convertisseur proprement dit, voire d'autres pièces. Dans certains cas, il n'est pas possible de séparer le convertisseur à semiconducteurs, même pour le soumettre à des essais. Dans ce cas, le bloc est appelé équipement de conversion de puissance (PCE).

Il est recommandé, pour des raisons économiques, de limiter l'exécution des essais à ceux qui sont considérés comme nécessaires. La présente norme est par conséquent rédigée de telle sorte que les essais effectués sur des groupes de grande puissance peuvent être limités aux essais effectués dans les ateliers du constructeur sur les blocs et groupes séparés destinés à être expédiés séparément.

D'autres essais, comme ceux effectués sur les groupes complets de grande puissance, ou les essais effectués sur le lieu d'installation, ne doivent être inclus que s'ils font l'objet d'une spécification séparée.

Les équipements de faible puissance, normalement livrés en unités complètes, doivent cependant être entièrement vérifiés avant livraison conformément à ces dispositions.

7.1.2 Types d'essais

Deux types d'essais différents doivent être effectués.

a) Essais de type

Les essais de type doivent être effectués pour vérifier que la conception du produit satisfait aux exigences de performance spécifiées dans la présente norme et/ou spécifiées séparément.

NOTE Certains essais de type, ou la totalité d'entre eux, peuvent être répétés à des intervalles spécifiés et sur un nombre spécifié d'échantillons, pour vérifier que la qualité du produit est maintenue.

b) Essais individuels

Les essais individuels doivent être effectués, avant livraison, sur chaque PCE ou sur ses sous-ensembles s'ils font l'objet d'une expédition séparée, et ce afin de vérifier que les exigences de la présente norme sont satisfaites.

7.1.3 Exécution des essais

Les essais doivent être effectués dans des conditions électriques équivalant à celles du service réel. Si la pratique ne le permet pas, les blocs et les équipements doivent être respectivement soumis à l'essai dans des conditions telles que les performances spécifiées puissent être démontrées.

Dans les essais d'équipements, le bloc et les autres constituants de l'équipement peuvent être soumis à l'essai séparément si cela est plus approprié. En cas d'essais séparés, le module ou le bloc doit être raccordé à un transformateur dont le couplage est équivalent à celui qui est spécifié dans le contrat.

Sauf dispositions contraires au moment de la signature du contrat, les tensions alternatives d'alimentation et d'essai doivent être à la fréquence assignée, sauf pour la tension d'essai d'isolement qui peut être la tension continue ou à une valeur appropriée (au choix du fournisseur, entre 15 Hz et 100 Hz).

NOTE Lorsque l'acheteur ou son représentant souhaite assister aux essais en usine, il convient qu'il le spécifie dans la commande. En cas d'accord avant la commande, le contrat peut spécifier qu'il convient que le fournisseur présente un rapport (d'essai) relatif aux essais effectués sur le produit.

Il peut être fait référence à des essais de type effectués antérieurement sur un produit identique ou similaire, dans des conditions d'essai au moins équivalentes aux exigences contractuelles ou aux exigences de la présente spécification.

Les essais, sauf disposition contraire, doivent comprendre tous les points ci-après marqués "(x)" dans le Tableau 13, qui sont applicables au bloc ou au convertisseur.

Les essais marqués "(x)" dans le Tableau 13 ne doivent être effectués que sur disposition spécifique prévue dans le contrat.

Tableau 13 – Synthèse des essais

Essai	Essai de type	Essai individuel	Essai facultatif	Paragraphe de spécification
Inspection visuelle	x	x		
Essai d'isolement	x	x		7.2
Essai à faible charge et essai de fonctionnement	x	x		7.3.1
Essai de courant assigné	x			7.3.2
Essai d'aptitude aux surcharges			(x)	7.3.3
Mesure de la régulation de tension propre			(x)	7.3.4
Mesure de la tension et du courant d'ondulation			(x)	7.3.5
Mesure des courants harmoniques			(x)	7.3.6
Détermination des pertes de puissance dans les blocs et les équipements	x			7.4.1
Essai d'échauffement	x			7.4.2
Mesure du facteur de puissance			(x)	7.4.3
Vérification des dispositifs auxiliaires	x	x		7.5.1
Vérification des propriétés des appareillages de commande	x	x		7.5.2
Vérification des dispositifs de protection	x	x		7.5.3
Essai d'immunité			(x)	7.6 a)
Perturbations radioélectriques rayonnées et par conduction			(x)	7.6 b)
Mesure du bruit audible			(x)	7.7
Essais supplémentaires			(x)	7.7

7.2 Essais d'isolement

7.2.1 Généralités

Les essais doivent être effectués sous forme d'essais de type ainsi que sous forme d'essais individuels afin de démontrer la rigidité diélectrique appropriée du système d'isolement du produit. La vérification du système d'isolement consiste à soumettre les composants critiques pour la sécurité ainsi que l'isolement sous charge à trois types d'essais.

Les différents types d'essais couvrent différents phénomènes physiques:

- une tension d'essai c.a. ou c.c. permettant de compenser l'effet de surtensions à long terme provenant de l'alimentation réseau;
- un essai à tension de choc destiné à compenser l'effet de surtensions transitoires de choc générées dans l'alimentation réseau;
- des essais de décharge partielle effectués sur l'isolement sous charge afin de compenser l'effet de surtensions de choc, de surtensions provisoires, ainsi que de tensions de pointe périodiques générées dans l'isolement.

NOTE Les surtensions transitoires de choc, les surtensions provisoires, ainsi que les tensions de pointe périodiques sont susceptibles de provoquer une décharge partielle à l'intérieur du matériau isolant, pouvant entraîner sa détérioration.

En règle générale, l'essai de tension de choc et l'essai de décharge partielle font l'objet d'une spécification distincte, voir 7.2.3.2.

Le choix de l'essai de type et des tensions d'essai correspondantes doit être fondé sur les exigences des normes pertinentes (voir à l'Article C.5).

Le choix des essais individuels et des tensions d'essai correspondantes doit être fondé sur les exigences spécifiées dans 7.2.2, à moins que des exigences plus strictes ne soient par ailleurs spécifiées dans les normes pertinentes (voir à l'Article C.5).

7.2.2 Essais individuels d'isolement des équipements de conversion de puissance

7.2.2.1 Essai sous tension alternative ou continue

Un essai sous tension alternative ou continue doit être effectué sur l'équipement final afin de s'assurer que le procédé de fabrication n'a pas affecté la coordination d'isolement du produit. La tension d'essai doit être conforme au Tableau 14 ou au Tableau 15, selon le cas.

Les tensions d'essai définies dans le Tableau 14 ou le Tableau 15 doivent être utilisées uniquement pour les essais de type portant sur l'isolation principale. Pour les essais individuels, ces tensions permettent de vérifier l'isolation principale, complémentaire, double et renforcée (voir les définitions 3.11.12, 3.11.13, 3.11.14 et 3.11.15).

NOTE Il convient de rappeler que la tension de résistance de l'isolation double ou renforcée correspond à deux fois la tension de résistance de l'isolation principale. Toutefois, pour prévenir tout endommagement de l'isolation sous charge par décharge partielle, les essais de routine utilisent uniquement une seule tension d'essai pour l'isolation principale, complémentaire, double et renforcée, en supposant que la validité des différents systèmes a été dûment vérifiée au moyen d'essais de type.

Les essais de type portant sur l'isolation double et renforcée sont effectués avec des tensions d'essai supérieures selon la tension d'isolement assignée.

L'isolation fonctionnelle n'est pas prise en considération à moins qu'elle ne soit spécifiée par l'acheteur conformément à 7.2.3.2.

Les bornes, contacts libres sur les interrupteurs et les valves à semiconducteurs, etc. doivent être montés en dérivation si nécessaire, afin de créer un circuit continu pour l'essai de tension effectué sur l'équipement. Les semiconducteurs et autres composants vulnérables d'un circuit peuvent, préalablement aux essais, être déconnectés et/ou leurs bornes peuvent être montées en dérivation afin qu'ils ne subissent aucun dommage au cours des essais.

Lorsque la pratique le permet, il convient de ne pas déconnecter ou ne pas monter en dérivation avant les essais les composants individuels formant partie intégrante de l'isolation soumise à l'essai, par exemple condensateurs de filtres haute fréquence. Dans ce cas, il est recommandé d'utiliser la tension d'essai c.c. spécifiée dans le Tableau 14 ou le Tableau 15.

Lorsque l'équipement concerné est recouvert, en totalité ou en partie, par une surface accessible non conductrice, cette dernière doit être recouverte d'une feuille conductrice à laquelle est appliquée la tension d'essai. Dans ce cas, l'essai d'isolement entre un circuit et une surface accessible non conductrice peut être effectué en qualité d'essai d'échantillonnage et non en tant qu'essai individuel. Si une feuille métallique ne permet pas de recouvrir entièrement l'enveloppe, un recouvrement partiel doit être appliqué aux parties considérées comme importantes en termes de protection.

Les cartes imprimées et les modules à connecteurs multiprises peuvent être débrochés, déconnectés ou remplacés par des circuits factices pendant l'essai de tension c.a/c.c.

Cela ne s'applique pas toutefois aux auxiliaires pour lesquels, dans le cas d'un claquage diélectrique, la tension peut se trouver appliquée à des parties accessibles non raccordées à l'enveloppe ou transférée du côté haute tension au côté basse tension. Il s'agit, par exemple, des transformateurs auxiliaires, des équipements de mesure, des transformateurs d'impulsions et des transformateurs de mesure dont la contrainte d'isolement est la même que pour le circuit principal.

Les appareils de coupure et de sectionnement des circuits principaux doivent être fermés ou pontés. Les auxiliaires qui ne sont pas en liaison galvanique avec les circuits principaux (par

exemple les équipements de conduite du système, les motoventilateurs), doivent être raccordés à l'enveloppe métallique pendant l'essai de tension c.a./c.c. Pendant ces essais, les unités comportant des enveloppes isolantes doivent être recouvertes d'une feuille métallique. Cette feuille est considérée comme ayant la fonction d'une enveloppe pour l'exécution de ces essais.

7.2.2.2 Exécution de l'essai de tension

L'essai doit être effectué comme suit:

- essai (1) entre la partie conductrice accessible (raccordée à la terre) et chaque circuit de manière séquentielle (à l'exception des circuits TBTP ou TBTS);
- essai (2) entre la surface accessible (non conductrice ou conductrice, mais non raccordée à la terre) et chaque circuit de manière séquentielle (à l'exception des circuits TBTP ou TBTS);
- essai (3) entre chaque circuit considéré de manière séquentielle et les autres circuits adjacents raccordés ensemble;
- essai (4) entre un circuit TBTP ou TBTS et chaque circuit adjacent de manière séquentielle.

NOTE 1 Le circuit adjacent ou le circuit TBTP ou TBTS peuvent être raccordés à la terre pour cet essai. Il est nécessaire de vérifier par essai l'isolation principale entre les circuits TBTP et TBTS, mais il n'est pas nécessaire de vérifier par essai l'isolation fonctionnelle entre les circuits TBTP ou TBTS adjacents.

NOTE 2 Les circuits TBTP/TBTS et les autres circuits de tension plus élevée sont séparés du bâti (terre) par l'isolation principale. Il n'est généralement pas possible de vérifier par essai l'isolation double ou l'isolation renforcée en séparant les circuits basse tension des circuits haute tension d'un équipement complet, sans soumettre l'isolation principale à une contrainte excessive. La tension d'essai applicable à l'isolation principale est de ce fait également utilisée pour l'isolation double ou renforcée.

7.2.2.3 Durée de l'essai sous tension alternative ou continue

L'essai de tension doit être effectué avec une tension sinusoïdale de 50 Hz ou 60 Hz. Si le circuit comporte des condensateurs, l'essai peut être effectué avec une tension c.c. d'une valeur égale à la valeur de crête de la tension c.a. spécifiée.

La durée de l'essai doit être de 1 min pour l'essai de type et au moins de 1 s pour l'essai individuel. La tension d'essai peut être appliquée avec une tension en rampe croissante et/ou décroissante, la pleine tension devant toutefois être maintenue pendant la durée spécifiée.

Cet essai doit utiliser une source de tension avec un courant de court-circuit d'au moins 0,1 A conformément à 5.2.2.2 de la CEI 61180-1.

L'essai est satisfaisant si aucune panne électrique ne se produit au cours de son exécution.

7.2.2.4 Tensions d'essai

Les tensions d'essai c.a. ou c.c. applicables aux équipements directement raccordés au secteur basse tension sont fournies dans le Tableau 14 (voir 7.2.2.1 et Note 1).

Ces tensions doivent être multipliées par 2 pour les essais de type des circuits avec une séparation de protection, et les essais de type effectués entre les circuits et les surfaces accessibles (non conductrices ou conductrices, mais non raccordées à une borne de protection).

NOTE 1 La règle mentionnée ci-dessus est le résultat des tous derniers travaux de normalisation et est conforme à la dernière norme publiée relative à une application similaire (voir CEI 61800-5-1).

NOTE 2 U désignant la tension d'isolement assignée, la tension d'essai c.a. est égale à $[U + 1\,200]$ V.

**Tableau 14 – Tensions d'essai c.a. ou c.c. applicables
aux équipements directement raccordés au secteur basse tension**

Tension d'isolement assignée V (voir 3.11.9)	Tensions d'essai V	
	c.a. (valeur efficace)	c.c.
≤ 50	1 250	1 770
100	1300	1 840
150	1 350	1 910
300	1 500	2 120
600	1 800	2 550
1 000	2 200	3 110
NOTE L'interpolation est admise.		

Pour les équipements utilisant une tension plus élevée, supérieure à 1 000 V c.a. et directement raccordés au secteur haute tension, les tensions d'essai c.a. ou c.c. sont fournies dans le Tableau 15 (voir 7.2.2.1 et Note 1).

Ces tensions doivent être multipliées par 1,6 pour les essais de type des circuits avec une séparation de protection, et les essais de type effectués entre les circuits et les surfaces accessibles (non conductrices ou conductrices, mais non raccordées à une borne de protection).

NOTE 3 La règle mentionnée ci-dessus est le résultat des tout derniers travaux de normalisation et est conforme à la dernière norme publiée relative à une application similaire (voir CEI 61800-5-1).

NOTE 4 U désignant la tension d'isolement assignée, la tension d'essai c.a. peut être calculée de manière approchée comme indiqué ci-dessous:

- $[2,7 \times U] + 300$ V pour U comprise entre 1 000 V et 7 200 V;
- $[1,8 \times U + 7 200]$ V pour U comprise entre 7 200 V et 36 000 V.

**Tableau 15 – Tensions d'essai c.a. ou c.c. applicables
aux équipements directement raccordés au secteur haute tension**

Tension d'isolement assignée V (voir 3.11.9)	Tensions d'essai V	
	c.a. (valeur efficace)	c.c.
> 1 000	3 000	4 250
3 600	10 000	14 150
7 200	20 000	28 300
12 000	28 000	39 600
17 500	38 000	53 700
24 000	50 000	70 700
36 000	70 000	99 000
NOTE L'interpolation est admise		

Pour les équipements non directement raccordés au secteur, les tensions d'essai c.a. peuvent être fournies dans des normes de produits dédiées (par exemple la CEI 61800-5-1 relative aux systèmes à entraînement de puissance). Sauf spécification contraire, la tension d'essai doit être convenue entre l'acheteur et le fournisseur. Il convient que le principe consiste ici à définir la tension d'essai c.a. avec une valeur efficace non inférieure à 1,15 fois la tension totale utilisée pour définir la capacité d'arrêt des semiconducteurs qui sont exposés le plus aux surtensions à l'intérieur du circuit. Lorsque la tension c.c. est utilisée, il convient que le niveau de la tension d'essai ne soit pas inférieur à 1,63 fois la tension totale utilisée pour définir la capacité d'arrêt des valves à semiconducteurs qui sont exposées le plus aux surtensions à l'intérieur du circuit.

NOTE 5 Le terme « totale » signifie que dans le cas de valves à semiconducteurs montées en série, la tension totale représente la somme des tensions utilisées pour chaque valve à semiconducteurs, à l'exclusion de la tolérance relative à la répartition des tensions entre les différentes valves.

Pour les essais de type des circuits avec une séparation de protection, et les essais de type effectués entre les circuits et les surfaces accessibles (non conductrices ou conductrices, mais non raccordées à une borne de protection), il convient de multiplier ces tensions par 2 pour des tensions de service jusques et y compris 1 000 V et par 1,6 pour des tensions de service plus élevées.

7.2.3 Essais supplémentaires

7.2.3.1 Résistance d'isolement

La résistance d'isolement doit être mesurée 1 min après l'essai sous tension alternative ou continue, en appliquant une tension continue d'au moins 500 V. Il convient que la résistance d'isolement ne soit pas inférieure à 1 MΩ pour des valeurs de tension de $U_M / \sqrt{2}$ n'excédant pas 1 000 V.

Pour des valeurs supérieures de $U_M / \sqrt{2}$, il convient que la résistance d'isolement excède 1 000 Ω/V. La mesure de la résistance d'isolement n'est pas nécessaire pour les essais individuels.

Les résistances de mise à la terre, s'il y en a, doivent être déconnectées pendant les essais d'isolement.

Si de l'eau est utilisée comme fluide réfrigérant, l'essai de résistance d'isolement peut être effectué en deux étapes, avec et sans eau. Dans le premier cas, le niveau d'isolement doit être conforme à la valeur spécifiée, tandis que dans le second, il doit être spécifié séparément.

7.2.3.2 Essais effectués sur accord

Des essais d'isolement autres que ceux spécifiés dans la présente publication ne doivent être effectués que sur accord préalable avant commande.

Pour les convertisseurs à haute tension (de 3,6 kV à 36 kV), dont le bloc est raccordé sans transformateur au réseau de tension alternative, un essai de choc peut être effectué en plus de l'essai sous tension alternative ou continue, s'il fait l'objet d'une exigence séparée.

7.3 Essai de fonctionnement

7.3.1 Essai à faible charge et essai de fonctionnement

L'essai à faible charge et l'essai de fonctionnement sont décrits ci-dessous.

a) Essai à faible charge

L'essai à faible charge est effectué pour vérifier que toutes les parties du circuit électrique et le système de refroidissement de l'équipement fonctionnent correctement avec le circuit principal.

Pour l'essai individuel, le convertisseur est alimenté sous la tension d'entrée assignée. Pour l'essai de type, le fonctionnement du convertisseur est également vérifié aux valeurs minimale et maximale de la tension d'entrée. Si des semiconducteurs en série sont utilisés dans les bras du convertisseur, la répartition des tensions doit être vérifiée. Pour un convertisseur à haute tension, cette partie de l'essai à faible charge peut être effectuée à une tension inférieure à la valeur assignée. Pour les convertisseurs à faible courant ($I_{dN} \leq 5$ A), cet essai n'est pas nécessaire.

b) Essai de fonctionnement

La charge d'essai est choisie de manière à pouvoir démontrer le bon fonctionnement des équipements. Pendant l'essai, il convient de vérifier le bon fonctionnement de l'équipement de conduite, des auxiliaires, des protections et du circuit principal. Cela peut être réalisé de diverses manières suivant le type d'équipement.

7.3.2 Essai de courant assigné

Cet essai est destiné à vérifier que les équipements fonctionnent de manière satisfaisante au courant assigné.

Les bornes à courant continu doivent être mises en court-circuit directement ou avec une inductance et une tension alternative, de valeur telle qu'au moins le courant continu assigné puisse circuler, doit être appliquée aux bornes côté réseau du convertisseur. Pendant l'essai, l'équipement de conduite, s'il existe, et les auxiliaires doivent être alimentés séparément sous la tension assignée.

Par une coordination appropriée de la commande, si elle existe, et de la tension alternative appliquée, le courant continu assigné doit pouvoir circuler à travers les bornes de sortie et le fonctionnement des équipements doit être vérifié. La répartition du courant doit être vérifiée si les bras comprennent des dispositifs montés en parallèle.

Si cela est plus commode, l'essai au courant assigné peut être remplacé par un essai à pleine charge sous la tension alternative assignée.

7.3.3 Essai d'aptitude aux surcharges

L'essai d'aptitude aux surcharges est un essai en charge. Des valeurs spécifiées de surcharge brève ou des séquences de démarrage en charge réelle doivent être appliquées à l'intervalle spécifié. Les valeurs spécifiées de tension et de courant doivent être enregistrées. Si cet essai est un essai de type en usine, il doit alors être effectué conformément à 6.4.3 et 6.5. L'essai d'aptitude aux surcharges est effectué conformément au deuxième alinéa de l'essai de courant assigné (7.3.2).

7.3.4 Mesure de la régulation de tension propre

Le convertisseur doit être alimenté sous la tension alternative assignée. Le courant de commande des capteurs, l'angle de retard, etc., doivent être réglés à une valeur spécifiée, et la tension et le courant continus doivent être mesurés tout en faisant varier le courant continu.

7.3.5 Mesure de la tension et du courant d'ondulation

Les mesures de la tension alternative superposée, du courant alternatif superposé et de la tension ou du courant de bruit côté continu doivent, si nécessaire, faire l'objet de spécifications distinctes.

NOTE Il convient de tenir compte de l'ondulation du côté continu et du déséquilibre du côté alternatif de l'entrée ou de la sortie de l'équipement.

7.3.6 Mesure des courants harmoniques

La mesure des courants harmoniques côté alternatif doit, si nécessaire, faire l'objet de spécifications distinctes.

L'émission de courants harmoniques peut être déterminée par:

- une mesure directe;
- calcul au moyen d'une simulation validée.

Pour les convertisseurs intégrés aux appareils basse tension dont le courant d'entrée assigné est supérieur à 16 A et inférieur ou égal à 75 A, la CEI 61000-3-12 spécifie les exigences de validation d'une simulation.

Lorsqu'une mesure est définie comme essai particulier, les méthodes et les conditions de mesure doivent satisfaire à la norme correspondante: CEI 61000-3-2, CEI 61000-3-12 selon le courant alternatif assigné, ou doivent être spécifiées sur accord pour des valeurs supérieures du courant assigné. Dans le dernier cas, il peut être convenu d'effectuer la mesure avec les installations d'essai du constructeur dans des conditions définies (par exemple court-circuit côté continu), ou une fois que les équipements sont installés sur le site du client. L'Article A.4 donne les conditions de base.

La mesure des courants harmoniques doit être effectuée

- en utilisant les instruments et les méthodes de mesure conformes à la CEI 61000-4-7;
- en ne tenant pas compte des courants harmoniques individuels inférieurs à 1 % du courant fondamental de référence;
- en consignnant les caractéristiques de la source de tension utilisée pour effectuer la mesure (niveau et tolérance de tension, fréquence et tolérance, R_{sc} et impédance, déséquilibre de la tension dans le cas de systèmes multiphasés, tensions harmoniques à vide).

Les résultats des mesures doivent être interprétés en tenant compte des caractéristiques de la source.

La mesure des tensions harmoniques dépend de l'installation complète et du réseau proprement dit, et ne relève pas du domaine d'application de la présente norme.

7.4 Pertes, température et facteur de puissance

7.4.1 Détermination des pertes de puissance dans les blocs et les équipements

7.4.1.1 Généralités

Les pertes dans les blocs et les équipements peuvent être déterminées soit par le calcul sur la base des mesures effectuées ou par des mesures directes. Les pertes de puissance des convertisseurs à refroidissement indirect peuvent être évaluées par la mesure de la chaleur évacuée par le fluide réfrigérant (en utilisant la méthode calorimétrique) et par l'estimation du flux de chaleur à travers l'enveloppe du convertisseur.

Lorsque la mesure des pertes ne peut être effectuée aux conditions réelles de service (charge assignée), les méthodes ci-après peuvent être appliquées.

La mesure des pertes de puissance du convertisseur doit être effectuée pendant un essai à faible charge (charge minimale possible) suivi d'un essai en court-circuit. Les pertes totales du convertisseur représentent la somme des pertes à faible charge et des pertes en court-circuit, d'après ces essais.

La méthode est valable en admettant les hypothèses et les conditions suivantes:

- a) les pertes dans les valves à semiconducteurs en service, dues aux pertes de commutation, au courant à l'état bloqué et au courant inverse, sont normalement négligeables;
- b) la chute de tension directe dans les valves à semiconducteurs peut être représentée par un composant constant auquel s'ajoute un composant résistif directement proportionnel au courant;
- c) les pertes en service dues au courant direct sont prises égales à celles qui se produiraient à un courant continu de même valeur et de forme d'onde rectangulaire dans les bras du convertisseur, dans le cas de montages polyphasés;

- d) les inductances saturables ou non saturables incorporées au bloc et par lesquelles transitent le courant de phase côté valves ou les courants de circuit du convertisseur peuvent être incluses dans les circuits de mesure. Il convient de régler l'erreur de justesse des inductances saturables à la valeur requise en fonctionnement normal pour fournir une tension continue assignée avec un courant continu assigné et une tension assignée côté réseau;
- e) pour les conditions de charge pour lesquelles un rendement est spécifié, ledit rendement peut être déterminé par la mesure de la puissance d'entrée et de sortie ou par des essais des pertes séparées;
- f) pour les conditions de charge pour lesquelles un facteur de conversion est spécifié, celui-ci peut être déterminé par la mesure de la puissance alternative absorbée et de la puissance continue fournie;
- g) l'augmentation des pertes de puissance due à la déformation de réseau existante ou à l'augmentation de charge n'est pas prise en considération dans le cas présent.

7.4.1.2 Méthodes de mesure

Les méthodes de mesure spécifiées dans le cas présent reposent sur les hypothèses précédentes. Le ou les essais peuvent être effectués à la température ambiante normale des locaux du fournisseur. La mesure des pertes de conduction directe doit être effectuée lorsque tous les éléments du bloc convertisseur ont atteint la température d'équilibre pour le courant continu assigné.

Lorsque le transformateur du convertisseur est inclus dans la mesure des pertes de puissance, les pertes en charge doivent être corrigées à une température de référence par rapport à un échauffement limite spécifié plus 20 K (classes d'isolation A et B), en augmentant la valeur de P de 0,001 2 p.u. pour chaque valeur K avec laquelle la température du transformateur est inférieure à la valeur de référence pendant la mesure. A cet effet, la température du transformateur doit être prise égale à la température moyenne de l'huile pour les transformateurs immergés ou à la température moyenne des enroulements pour les transformateurs à air (voir également la CEI/TR 60146-1-2).

7.4.1.3 Circuits d'essai

Des indications sur les montages qui peuvent être utilisés pour les essais sont données dans la CEI/TR 60146-1-2.

Dans tous les cas, les pertes se produisant en service normal dans les résistances de répartition de tension, dans les circuits d'amortissement et de limitation de surtensions s'il y a lieu, doivent être calculées et prises également en considération.

7.4.2 Essai d'échauffement

L'échauffement du convertisseur doit être déterminé dans les conditions d'essai données pour l'essai sous tension effectué dans les conditions de refroidissement les moins favorables. Si l'essai est effectué à une température inférieure à la température maximale spécifiée, des corrections doivent être effectuées. L'essai d'échauffement n'est pas réduit au circuit principal.

Dans toute la mesure du possible, il convient d'effectuer l'essai d'échauffement à la charge assignée.

Dans les autres cas, l'essai doit être effectué conformément à 7.3.2 et en tenant compte de l'échauffement dû aux pertes de commutation.

L'échauffement doit être mesuré en un point spécifique et le résultat de cette mesure doit permettre de vérifier la conception du système de refroidissement.

Si le convertisseur est prévu pour des charges autres que les charges en service permanent, l'impédance thermique transitoire doit être mesurée pour les constituants du circuit principal et pour le système de refroidissement. L'essai doit être effectué sur plusieurs composants, y compris ceux dont la température de fonctionnement est la plus élevée.

L'échauffement constaté en un point spécifique sur les valves à semiconducteurs doit être enregistré. L'échauffement virtuel de la jonction doit être déterminé par le calcul et d'après la mesure des températures, de manière à démontrer l'aptitude du bloc à supporter le cycle de charge spécifié sans dépassement de la température virtuelle maximale de jonction des dispositifs, en tenant compte de la répartition effective du courant entre les valves montées en parallèle.

7.4.3 Mesures du facteur de puissance

En règle générale, il n'est pas nécessaire de mesurer le facteur de puissance. Cependant, si le facteur de puissance doit être mesuré, il doit être déterminé en tant que facteur de déphasage $\cos \varphi$ (voir 3.7.14) conformément à 6.2.3.

7.5 Auxiliaires et commande

7.5.1 Vérification des dispositifs auxiliaires

Le fonctionnement des dispositifs auxiliaires tels que les contacteurs, pompes, relayages, ventilateurs, etc., doit être vérifié. Si la pratique le permet, cette vérification peut être effectuée conjointement à l'essai à faible charge.

7.5.2 Vérification des propriétés des circuits de commande

Il n'est pas possible de vérifier les propriétés des circuits de commande pour toutes les conditions de charge pouvant apparaître en fonctionnement normal. Il convient toutefois de vérifier dans toute la mesure du possible le dispositif de commande dans les conditions de charge réelle. Lorsque cette vérification ne peut pas être effectuée dans les locaux du constructeur, elle pourra l'être après installation, avec accord de l'utilisateur.

Lorsque la pratique le permet, le contrôle de l'équipement de commande peut être limité à une vérification pour deux valeurs de charge, telles que spécifiées en 7.3.1 a) et 7.3.2 respectivement.

Dans chaque cas, les propriétés statiques et dynamiques de l'équipement de commande doivent être vérifiées. Cette vérification doit comprendre le contrôle visant à s'assurer que l'équipement fonctionne de manière satisfaisante pour toutes les valeurs des tensions d'alimentation relevant de la plage de variation pour laquelle il a été conçu.

7.5.3 Vérification des dispositifs de protection

La vérification des dispositifs de protection doit être effectuée dans toute la mesure du possible sans appliquer de contraintes aux composants de l'équipement au-delà des valeurs qui leur sont assignées.

Du fait de la grande variété des dispositifs de protection et de leurs combinaisons, il n'est pas possible d'édicter des règles générales pour la vérification de ces dispositifs. Cependant, si un dispositif de commande est prévu pour protéger le convertisseur contre les surcharges de courant, sa capacité en la matière doit être vérifiée.

Si des essais de type pour vérifier l'efficacité de la protection par fusibles sont considérés comme nécessaires, ils doivent être spécifiés séparément avec les conditions d'essai y afférentes.

Les essais individuels doivent être effectués pour vérifier le fonctionnement des dispositifs de protection. Il n'est toutefois pas prévu de vérifier le fonctionnement des dispositifs tels que les fusibles, etc., lorsque ledit fonctionnement repose sur la destruction du composant actif.

7.6 Essais de compatibilité électromagnétique (CEM)

Il existe deux aspect concernant les essais de compatibilité électromagnétique, comme suit.

a) Essai d'immunité

La vérification du niveau d'immunité du convertisseur doit être considérée comme un essai de type facultatif, si cela est prévu dans le contrat. L'essai doit être effectué dans toute la mesure du possible conformément aux conditions de service électrique spécifiées.

NOTE 1 Les conditions d'exécution des essais d'immunité peuvent être soumises aux conditions légales en vigueur. Tout essai de type facultatif prévu dans un contrat ne saurait enfreindre la législation locale du lieu où doit être effectué ledit essai.

NOTE 2 Le niveau d'immunité des bornes d'arrivée autres que les bornes principales peut également être inclus dans cet essai.

b) Perturbations radioélectriques rayonnées et par conduction

Les exigences relatives aux perturbations radioélectriques rayonnées et par conduction peuvent faire l'objet d'une spécification distincte. Il convient alors de les définir pour des charges réelles.

NOTE 3 Les perturbations qui affectent un équipement complet peuvent être différentes de celles qui affectent les unités fonctionnelles.

NOTE 4 La spécification distincte peut être constituée par des règlements nationaux.

7.7 Mesure du bruit audible et essais supplémentaires

Les procédures d'essai et les limites y afférentes doivent être spécifiées séparément pour la mesure du bruit audible.

NOTE Le bruit audible pour un groupe convertisseur complet peut différer considérablement des valeurs des unités fonctionnelles individuelles. Les conditions ambiantes – résonance et réflexion – provoqueront des différences par rapport aux valeurs calculées ou mesurées.

La spécification et les procédures propres aux essais supplémentaires éventuels, si nécessaire, telles que par exemple les vibrations, chocs, conditions climatiques et autre dérive, doivent faire l'objet de spécifications particulières.

7.8 Tolérances

Si des garanties sont données, elles doivent toujours se rapporter aux valeurs et conditions assignées. Les garanties ne doivent pas nécessairement être données sur la totalité ou sur l'une quelconque des caractéristiques indiquées ci-dessous. Lorsque ces garanties sont toutefois données, elles peuvent comporter ou non des tolérances suivant les spécifications éventuelles. L'une ou l'autre des pratiques décrites est conforme à ces spécifications.

Si les caractéristiques garanties sont données avec des tolérances, les valeurs indiquées dans le Tableau 16 doivent s'appliquer. Si les valeurs garanties sont données sans tolérances, il s'agit de valeurs maximales ou minimales, suivant le cas.

Tableau 16 – Tolérances

Article	Caractéristique	Tolérance
7.4.1	Pertes dans les blocs	+0,1 p.u. de la valeur garantie
7.4.1.2	Pertes dans le transformateur et dans l'inductance	+0,1 p.u. de la valeur totale garantie
7.4.1.2	Rendement du groupe convertisseur (PCE)	Tolérance de rendement correspondant à + 0,2 p.u. des pertes avec une conséquence maximale sur le rendement limitée à – 0,002 p.u. ^a (ce qui signifie un rendement d'au moins [x-0,2] %)
7.4.3	Facteur de déphasage calculé	$-0,2 \times (1 - \cos \varphi_1)$
7.3.4	Chute inductive de tension continue U_{dx} , due au transformateur	$\pm 0,1$ p.u. de la valeur garantie
7.3.4	Variation propre de tension	$\pm 0,15$ p.u. de la variation garantie
	Tensions continues mesurées supérieures à 10 V ^b	$\pm (1 + 0,02 U_{dN})$
	Tensions continues mesurées inférieures ou égales à 10 V ^a	$\pm 0,1 U_{dN}$
^a Avec les relevés des mesures: P pour la puissance de sortie et P_L pour les pertes $\eta = P / (P + P_L)$ la tolérance relative au rendement $\Delta\eta$, correspondant à la tolérance ΔP_L est donnée par $\Delta\eta = [(P_L + \Delta P_L) / (P + P_L + \Delta P_L)] - [(P_L) / (P + P_L)] \approx [\Delta P_L / P]$ Par conséquent, le second critère applicable à la tolérance relative à P_L correspond à: $\Delta P_L < 0,002 P$ ^b Pour les équipements munis d'un réglage automatique d'une grandeur de sortie, la tolérance sur cette grandeur doit être spécifiée.		

Annexe A (normative)

Harmoniques et interharmoniques

A.1 Tensions et courants non sinusoïdaux

La distorsion de la tension d'alimentation par rapport à sa forme d'onde sinusoïdale prévue équivaut à la superposition d'une ou de plusieurs tensions sinusoïdales, à des ondes parasites, sur la tension prévue. (L'exposé ci-dessous s'applique aussi bien à la tension qu'au courant, d'où l'utilisation du terme «grandeur»).

L'analyse de la série de Fourier (VEI 101-13-08) permet de décomposer toute grandeur périodique non sinusoïdale en composantes vraiment sinusoïdales à une série de fréquences, et avec, par ailleurs, une composante à courant continu. La fréquence la plus basse de la série est appelée fréquence fondamentale f_f (VEI 101-14-50). Les autres fréquences de la série sont des multiples entiers de la fréquence fondamentale et sont appelées fréquences harmoniques. Les composantes correspondantes de la grandeur périodique sont désignées comme les composantes fondamentales et harmoniques, respectivement.

La transformée de Fourier (VEI 101-13-09) peut être appliquée à toute fonction, périodique ou non périodique. Le résultat de la transformée se présente sous la forme d'un spectre dans le domaine des fréquences, qui, dans le cas d'une fonction temporelle non périodique, est continu et ne comprend aucune composante fondamentale. Le cas particulier d'application à une fonction périodique présente un spectre dans le domaine des fréquences, où les raies du spectre constituent les composantes fondamentales et harmoniques de la série de Fourier correspondante.

La transformée de Fourier discrète (TFD) constitue l'application pratique de la transformée de Fourier. Dans la pratique, le signal est analysé sur une durée limitée (une *fenêtre temporelle* de durée T_w), en utilisant un nombre limité (M) d'échantillons du signal réel. Le choix de ces paramètres T_w et M conditionne le résultat de la TFD. La fonction inverse de T_w constitue la fréquence de base f_b de la TFD.

La TFD est appliquée au signal réel à l'intérieur de la fenêtre temporelle. Le signal ne fait pas l'objet d'un traitement à l'extérieur de la fenêtre, mais est supposé constituer une répétition identique de lui-même à l'intérieur de cette même fenêtre. Cela génère un calcul approché du signal réel par un signal virtuel vraiment périodique, dont la période constitue la fenêtre temporelle.

La FFT (transformée de Fourier rapide) est un algorithme spécial qui autorise un temps de calcul de courte durée. Elle impose que le nombre d'échantillons (M) soit une puissance entière de 2 ($M = 2^i$). (En d'autres termes, la transformée de Fourier rapide requiert que la fréquence d'échantillonnage soit une puissance entière verrouillée de 2 de la fréquence fondamentale). Les processeurs de signaux numériques modernes ont toutefois une capacité telle que la complexité supplémentaire d'une TFD (tables des fonctions sinus et cosinus) peut se révéler plus rentable et plus souple que les FFT dont les fréquences sont verrouillées.

Afin que le résultat de la TFD, appliquée à une fonction considérée comme périodique (voir Article A.3), soit identique au résultat de l'analyse d'une série de Fourier, la fréquence fondamentale f_f prend la forme d'un multiple entier de la fréquence de base (cela nécessite que la fréquence d'échantillonnage soit un multiple entier exact de la fréquence de base [$f_s = M \times f_b$]). L'échantillonnage synchrone revêt un caractère fondamental. La perte de synchronisme peut modifier le résultat du spectre, faisant apparaître des raies spectrales supplémentaires et modifiant par ailleurs les amplitudes des raies véritables.

A.2 Définitions

Deux approches différentes ont permis d'établir un ensemble de définitions afférentes aux harmoniques. La première approche a considéré la fréquence comme la source principale d'établissement de l'ensemble de définitions, et a défini en premier lieu une référence arbitraire, lui conférant l'appellation de fréquence fondamentale (3.2.1 de la CEI 61000-2-2 et 3.2.1 de la CEI 61000-2-4):

fréquence fondamentale

fréquence, dans le spectre obtenu à partir d'une transformée de Fourier d'une fonction temporelle, auxquelles sont associées toutes les fréquences du spectre

Pour les besoins de la CEI 60146-1-1, la fréquence fondamentale est identique à la fréquence de puissance qui alimente le convertisseur, ou à la fréquence fournie par le convertisseur selon le cas pris en considération.

[VEI 101-14-50, modifié]

NOTE 1 Dans le cas d'une fonction périodique, la fréquence fondamentale est généralement égale à la fréquence de la fonction proprement dite.

NOTE 2 Il convient, en cas de risque d'ambiguïté éventuelle, d'associer la fréquence d'alimentation à la polarité et à la vitesse de rotation du ou des générateurs synchrones qui alimentent le réseau.

NOTE 3 Cette définition peut être appliquée à tout réseau d'alimentation industriel, sans tenir compte de la charge fournie (une charge simple ou une combinaison de charges, des machines tournantes ou toute autre charge), même si le générateur qui alimente le réseau est un convertisseur à semiconducteurs.

La seconde approche définit les composantes harmoniques comme le résultat de l'analyse de Fourier ; les fréquences sont ainsi considérées comme une conséquence (VEI 551-20-01 et VEI 551-20-02). Cette approche présente toutefois une difficulté d'application pratique, illustrée à l'Article A.4. Il convient également de rappeler que les interharmoniques, utilisées couramment en électronique de puissance, sont absentes de l'analyse de Fourier. Il a par conséquent été nécessaire d'introduire une fréquence de référence, tout aussi arbitraire que dans la première approche.

La présente Norme internationale suit l'approche VEI. Il convient de noter l'absence de toute contradiction entre les deux approches, chacune d'entre elles ayant ses propres avantages.

A.3 Base de calcul

La transformée de Fourier S_F d'une fonction temps $f(t)$ est définie par:

$$S_F(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \cdot e^{-j\omega t} \cdot dt$$

et la fonction inverse est définie comme suit:

$$f(t) = \frac{1}{2\pi} \cdot \int_{-\infty}^{+\infty} S_F(\omega) \cdot e^{j\omega t} \cdot d\omega$$

Notation:

F est la variable dans le domaine des fréquences,

F_R est la fréquence arbitraire choisie comme fréquence fondamentale,

Cette fréquence est choisie de façon arbitraire $F_R = 1/T$

$$\omega = 2\pi F$$

h est la variable par unité dans le domaine des fréquences

$$h = F / F_R \quad \text{et} \quad \omega T = 2\pi h$$

L'application à une fonction périodique $f(t)$ peut se dérouler en deux étapes. La première étape consiste à étudier une période $f_0(t)$ (durée T) de la fonction, en appliquant la transformée de Fourier:

$$S_{F0}(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} f_0(t) \cdot e^{-j\omega t} \cdot dt$$

Dans laquelle la variable par unité h peut être utilisée

$$h = \omega / (2\pi F_R)$$

La propriété fondamentale d'une fonction périodique (période $T = 1 / F_R$) est appliquée comme seconde étape:

$$\sum_{n=-\infty}^{+\infty} e^{-j \cdot 2\pi \cdot h \cdot n} = F_R \cdot \sum_{n=-\infty}^{+\infty} \delta(h - n)$$

La transformée de Fourier de la fonction périodique est équivalente à la transformée de Fourier d'une période de la fonction multipliée par la fonction inverse de la période et rendue discrète par la multiplication par une série de distributions de Dirac axées sur la série d'entiers relatifs.

$$S_F(h) = \left\{ \sum_{n=-\infty}^{+\infty} \delta(h - n) \right\} \cdot F_R \cdot S_{F0}(h)$$

Il est à noter que $F_R \times S_{F0}(h)$ constitue une surestimation de la série de Fourier qui utilise des termes complexes. Il est possible d'établir une enveloppe de la série de Fourier comportant des termes réels:

$$A_h = 2 \cdot F_R \cdot S_{F0}(h)$$

A.4 Mesurage

Les techniques de mesure définies dans la seconde édition de la CEI 61000-4-7 et la définition de la fréquence fondamentale en 3.10.2 peuvent être en conséquence appliquées à toutes les entités électrotechniques et électroniques de puissance. Les autres cas d'application nécessitent une analyse supplémentaire.

La superposition d'un signal de commande d'ondulation sinusoïdale à une fréquence de 175 Hz sur une tension d'alimentation sinusoïdale à une fréquence de 50 Hz peut être étudiée à titre d'exemple. Cette superposition entraîne une tension périodique de 40 ms, avec une fréquence de 25 Hz. Une analyse classique de cette tension par la série de Fourier génère une composante fondamentale de 25 Hz avec une amplitude nulle et deux composantes non

nulles, un deuxième harmonique (50 Hz) d'une amplitude égale à celle de la tension d'alimentation et un septième harmonique (175 Hz) d'une amplitude égale à celle du signal de commande d'ondulation. Les définitions données en 3.10 évitent la confusion implicite que comporte cette approche, et génèrent un résultat conforme à la pratique courante de la TFD (tel que décrit dans la CEI 61000-4-7), indiquant un fondamental à une fréquence de 50 Hz et un interharmonique de rang 3,5.

NOTE 1 Dans l'analyse de la tension d'un système d'alimentation, la composante à la fréquence fondamentale est la composante ayant l'amplitude maximale. Il ne s'agit pas nécessairement de la première raie spectrale obtenue lorsqu'une FTD est appliquée à la fonction temporelle.

NOTE 2 Dans l'analyse d'un courant, la composante à la fréquence fondamentale n'est pas nécessairement la composante ayant l'amplitude maximale.

Les tensions et les courants d'un système électrique type sont affectés par la variation continue des charges linéaires et des charges non linéaires. Toutefois, à des fins d'analyse, ils sont considérés comme fixes à l'intérieur de la fenêtre de mesurage (environ 200 ms), qui est un multiple entier de la période de la tension d'alimentation. Les analyseurs d'harmoniques sont conçus pour fournir le meilleur compromis technologique qui existe (voir CEI 61000-4-7).

Annexe B (informative)

Environnement électrique – Rapport de court-circuit

B.1 Spécification de l'environnement électrique

L'aspect générique des conditions d'exploitation du réseau est développé dans les publications de la CEI du comité d'études n° 77 et ses sous-comités. Tous les aspects de la CEM sont développés dans des normes dédiées comme indiqué en 4.3.3.2. Ces normes CEM relatives à l'application de convertisseurs à semiconducteurs établissent des exigences applicables à la fois à l'immunité et à l'émission dans les gammes des basses et des hautes fréquences et étudient les phénomènes par conduction, ainsi que les phénomènes rayonnés.

Il est essentiel, dès les premières phases de la conception d'une installation, de donner des renseignements sur les conditions de coexistence à prévoir entre réseaux d'alimentation, charges perturbatrices et appareils sensibles (le plus souvent des équipements de conduite à courant faible, d'autres convertisseurs de puissance, des condensateurs de puissance et des liaisons sensibles comme celles de communication et de conduite).

Il convient, notamment, d'examiner l'émission de courants harmoniques en relation avec le rapport de la puissance de court-circuit à la puissance apparente, ainsi qu'en relation avec la présence de condensateurs ou d'autres convertisseurs.

Des recommandations concernant les méthodes de calcul sont données dans la CEI/TR 60146-1-2.

NOTE Il n'est pas toujours facile d'obtenir ces renseignements. L'approche peut alors être réalisée comme suit:

- a) recherche, auprès des autorités locales et nationales appropriées, des renseignements sur le réseau lorsque l'implantation finale est connue. Cela inclut les services de distribution de l'énergie, les autorités responsables des communications par câbles et par radio, ainsi que les autorités responsables en matière de limitation des perturbations;
- b) lorsqu'un accord se révèle nécessaire avec l'acheteur pour mettre au point les exigences applicables, il convient d'utiliser les renseignements mentionnés ci-dessus comme base de discussion et, après accord, à des fins de calcul.

Les émissions par conduction à basse fréquence sont définies par rapport à la série pertinente de normes élaborées par le sous-comité 77A de la CEI.

Quatre normes ou rapports techniques traitent de l'émission de courants harmoniques:

- la CEI 61000-3-2: appareils basse tension avec courant d'entrée < 16 A par phase;
- la CEI 61000-3-4: rapport technique pour les réseaux et les appareils d'alimentation basse tension avec un courant assigné supérieur à 75 A;
- la CEI 61000-3-12: appareils connectés aux réseaux publics basse tension ayant un courant d'entrée compris entre 16 A et 75 A par phase (conditions d'utilisation restreintes);
- la CEI 61000-3-6: charges déformantes appliquées sur des réseaux d'alimentation MT et HT.

Quatre normes ou rapports techniques traitent des variations et des fluctuations de tension, ainsi que du flicker (papillotement):

- la CEI 61000-3-3: appareils basse tension avec courant d'entrée $\leq$ 16 A par phase;
- la CEI 61000-3-5: appareils basse tension avec courant d'entrée supérieur à 75 A;

- la CEI 61000-3-11: appareils basse tension ayant un courant d'entrée compris entre 16 A et 75 A (conditions d'utilisation restreintes);
- la CEI 61000-3-7: charges variables appliquées sur des réseaux d'alimentation MT et HT.

Des recommandations concernant différentes applications sont également fournies dans les normes de produits CEM dédiées (voir 4.3.2.2).

Lorsque ni le site final ni l'utilisateur ne sont connus, il convient, pour les convertisseurs de type normalisé, que le fournisseur choisisse la « classe d'immunité » d'après son expérience et l'indique dans la spécification relative à l'équipement.

Les tolérances applicables aux conditions de service électrique générales sont exposées en 5.4.

B.2 Point de raccordement du convertisseur

B.2.1 Réseaux et installations

Un convertisseur est généralement un composant d'un réseau plus important. Pour éviter toute confusion, la présente norme utilise le terme « installation » exclusivement pour désigner l'installation complète raccordée à un PCC (point de raccordement commun) sur un réseau d'alimentation public.

Au sein de l'installation, un convertisseur est raccordé à un point de raccordement donné. Les caractéristiques de fonctionnement harmonique du convertisseur dépendent des caractéristiques du réseau en ce point.

Pour une installation donnée, la puissance agréée S_{ST} définit le courant de référence équivalent I_{TN} (valeur efficace totale):

$$S_{ST} = U_N \times I_{TN} \times \sqrt{3}$$

où U_N est la tension entre phases nominale (ou déclarée) au PCC et I_{TN} est le courant de référence. Noter que I_{TN} est proche de la valeur du courant de commande du principal disjoncteur de l'installation. S_{ST} représente la puissance pouvant être fournie, à tout moment, par le réseau d'alimentation public à l'installation. Il peut être supposé qu'il existe, pour chaque puissance interne agréée, une puissance de court-circuit raisonnable (niveau de panne) S_{SC} définie au PCC. Cela relève de la responsabilité des services de distribution de l'énergie.

NOTE La « puissance agréée » est le résultat d'un accord entre l'utilisateur (propriétaire de l'installation) et les responsables des services publics.

Lorsque la puissance agréée sert à définir le courant de référence auquel sont comparés les courants harmoniques afin de les exprimer en p.u., le courant de référence I_{TN1} est, par convention, égal à I_{TN} .

La puissance interne agréée S_{ITA} , pour une installation à un IPC "α" spécifié, définit le courant de référence équivalent I_{TNA} (valeur efficace totale) pour la partie A de l'installation alimentée à partir de α :

$$S_{ITA} = U_N \times I_{TNA} \times \sqrt{3}$$

où U_N est la tension entre phases assignée à l'IPC "α". Noter que I_{TNA} est le courant assigné de la section d'alimentation de la partie A de l'installation. I_{TNA} est proche de la puissance assignée du disjoncteur qui protège la partie A. Il peut être supposé qu'il existe, pour chaque puissance interne agréée, une puissance de court-circuit raisonnable (niveau de panne) $S_{SC\alpha}$.

définie à l'IPC " α ". Cela relève de la responsabilité des autorités en charge de la distribution d'énergie interne.

B.2.2 Rapport de courant de court-circuit de la source dans l'installation

R_{SI} est le rapport de la puissance de court-circuit de la source à un PC défini à la puissance apparente assignée de l'installation, ou d'une partie de l'installation, fournie par ce PC (voir Figure B.1):

$$R_{SIA} = S_{SC\alpha} / S_{ITA} = I_{SC\alpha} / I_{TNA}$$

L'indice « A » désigne la partie étudiée de l'installation et l'indice " α " désigne le PC auquel cette partie est raccordée.

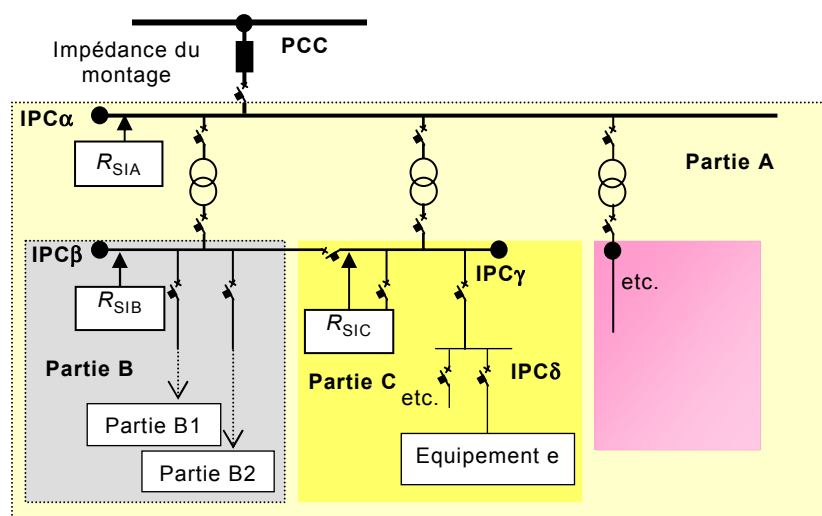
NOTE 1 La définition 3.9.9 de la présente Norme internationale et la définition 3.69 de la CEI 62103 définissent la puissance de court-circuit relative (R_{SC}) comme le « rapport de la puissance de court-circuit de la source à la puissance apparente assignée côté réseau du ou des convertisseurs ». R_{SC} se rapporte à un point donné du réseau, pour des conditions spécifiées de fonctionnement et pour une configuration spécifiée du réseau. Il s'agit du même concept. R_{SI} se rapporte toutefois à la puissance apparente assignée de la charge totale en aval du point de raccordement et non à la puissance apparente assignée d'une charge définie (le convertisseur) en aval dudit point.

NOTE 2 Cette définition peut s'appliquer à l'ensemble de l'installation. Dans ce cas, le point de raccordement (PC) est le point de raccordement commun (PCC), et I_{TNA} correspond à la puissance agréée.

NOTE 3 Cette définition peut également s'appliquer à une partie de l'installation ayant un courant assigné I_{TNA} . Le rapport de courant de court-circuit de la source dans l'installation R_{SIA} est exprimé comme le rapport du courant de court-circuit au point de raccordement interne (IPC α) de la partie de l'installation à son courant assigné.

NOTE 4 Par extension, cette définition peut également s'appliquer à une partie d'un équipement ayant un courant assigné I_{TNI} . R_{SII} est exprimé comme le rapport de courant de court-circuit disponible au point étudié interne (fourni par la source) au courant assigné de la partie de l'équipement fourni. Cette extension est strictement dédiée à l'analyse des contraintes internes d'un équipement.

NOTE 5 Dans la Figure B.1, l'installation montre une partie A avec un rapport de courant de court-circuit de la source R_{SIA} . La partie A comporte la partie B ayant un rapport de court-circuit de la source R_{SIB} . La partie A comporte également une partie C, etc. La partie B comporte à son tour une partie B1, une partie B2, etc. Cette division en parties permet d'analyser et d'évaluer les différents rapports de courant de court-circuit de la source aux différents points de raccordement potentiels.



IEC 1149/09

Figure B.1 – PCC, IPC, rapport de courant d'installation et R_{SI}

B.2.3 Rapport de court-circuit

R_{SC} est le rapport de la puissance de court-circuit de la source au PCC à la puissance apparente assignée de l'équipement (voir CEI 61000-3-4 ou CEI 61000-3-12):

$$R_{SC} = S_{SC} / S_{Ne} = I_{SC} / I_{LNe}$$

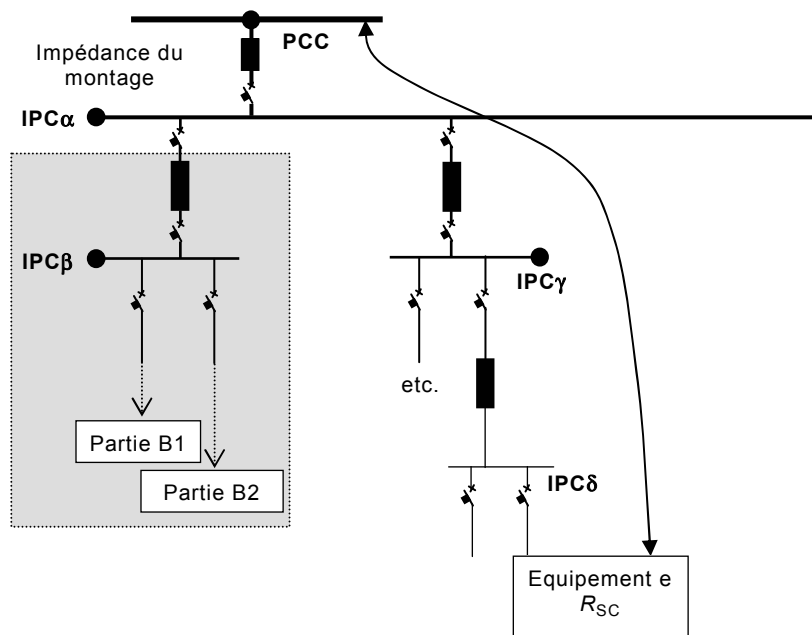
NOTE 1 Avec l'exemple de la Figure B.2, ce rapport peut être exprimé en fonction de la valeur R_{Si} pertinente. L'équipement (e) est alimenté par une barre omnibus ((IPC δ), avec un point de raccordement commun (PCC) auquel le courant de court-circuit est égal à I_{SC} , et génère un courant assigné I_{LNe} . L'application des définitions ci-dessus donne:

$$R_{Sie} = S_{SC\delta} / S_{ITe} = I_{SC\delta} / I_{LNe} = (I_{SC\delta} / I_{SC}) \times (I_{SC} / I_{LNe}) = (S_{SC\delta} / S_{SC}) \times (R_{SCe})$$

ou

$$R_{SCe} = (S_{SC} / S_{SC\delta}) \times R_{Sie}$$

Cette définition permet, dans l'application de la CEI 61000-3-4 ou de la CEI 61000-3-12, de définir les conditions de raccordement d'un équipement au réseau d'alimentation public basse tension.



IEC 1150/09

Figure B.2 – PCC, IPC, rapport de courant d'installation et R_{SC}

NOTE 2 L'Article A.2 de la CEI 61000-2-6 donne une autre définition de R_{SC} pour les redresseurs qui se rapportent au courant continu.

Annexe C (normative)

Protection contre les chocs électriques et les risques énergétiques

C.1 Généralités

Les phases de conception et de fabrication des équipements de conversion de puissance (PCE) doivent traiter des aspects visant à s'assurer de la sécurité des convertisseurs à semiconducteurs, et plus généralement desdits équipements lors de l'installation, dans les conditions de fonctionnement normales et lors des opérations de maintenance exécutées dans le cadre de la durée de vie théorique des équipements. Il convient également de veiller à réduire au minimum les risques et/ou dangers qui résultent d'une mauvaise utilisation raisonnablement prévisible.

La protection contre les risques thermiques et les chocs électriques doit être maintenue dans les conditions de panne unique, ainsi que dans les conditions de fonctionnement normales.

Les évaluations nécessaires incluent (sans toutefois s'y limiter) la coordination de l'isolement, la détermination et l'exécution des essais, l'analyse des circuits en cas de défaillance et les informations à fournir à l'utilisateur. Il convient, à des fins de clarté, d'utiliser les termes définis en 3.11 pour les comptes rendus d'analyses ou d'essais.

C.2 Coordination de l'isolement

La coordination de l'isolement constitue la base de détermination de la protection contre les chocs électriques. Elle couvre les distances d'isolement dans l'air et les lignes de fuite, l'isolement sous charge, les enveloppes ou les écrans, ainsi que les circuits de protection. La coordination de l'isolement traite des cartes de circuits imprimés (ou cartes imprimées (PWB)), des sous-ensembles et des composants.

a) Distances d'isolement dans l'air et lignes de fuite

L'évaluation des distances d'isolement dans l'air et des lignes de fuite sur les cartes imprimées, les composants et les sous-ensembles permet de s'assurer du caractère approprié des isolations fonctionnelle, de base, supplémentaire, double et renforcée.

Les distances d'isolement dans l'air et des lignes de fuite sont déterminées sur la base de contraintes de tension exercées sur les circuits évalués, du fait de la catégorie de surtension, de la surtension provisoire et de la tension de service observée dans les circuits examinés.

NOTE La CEI 60664-1 définit les règles à appliquer aux appareils basse tension jusqu'à 1 000 V c.a. et 1 500 V c.c.

b) Isolement sous charge

L'évaluation de l'isolement sous charge utilisé dans les composants et les sous-ensembles doit être fondée sur les contraintes de tension dues à la catégorie de surtension, à la surtension provisoire et à la tension de service observée dans les circuits.

L'évaluation tient également compte des contraintes mécaniques et environnementales.

c) Enveloppe

L'évaluation de l'enveloppe de protection contre tout contact direct avec les parties actives dangereuses doit confirmer la conformité avec les exigences spécifiées dans la CEI 60529 pour le code IP approprié. Le code IP approprié doit être spécifié.

d) Contact direct

L'évaluation des circuits, composants et sous-ensembles qui assurent une protection en cas de contact direct démontre le niveau approprié de séparation de protection, de tension limitée et/ou impédance de protection.

e) Contact indirect

L'évaluation de l'enveloppe et des circuits qui assurent une protection contre tout contact indirect démontre que les mesures prises sont appropriées conformément aux équipements de classe d'isolation I, II ou III définis dans la CEI 61140.

C.3 Tension réseau

Le constructeur affecte la tension d'isolement assignée (voir 3.11.9) aux équipements ou à une partie d'entre eux, selon les contraintes de tension qu'ils peuvent supporter.

Les contraintes de tension que doivent supporter les équipements sont associées au réseau d'alimentation utilisé, qui inclut la catégorie de surtension, la surtension provisoire et la tension de service observée dans les circuits examinés.

La tension réseau est définie selon le réseau de terre décrit dans la CEI 60364-1.

NOTE 1 Trois types fondamentaux de réseaux de mise à la terre sont décrits.

Réseau TN: comporte un point relié directement à la terre, les parties conductrices exposées de l'installation étant raccordées à ce point par des conducteurs de protection. Trois types de réseau TN, à savoir TN-C, TN-S et TN-C-S, sont définis selon la disposition des conducteurs neutres et de protection;

Réseau TT: comporte un point relié directement à la terre, les parties conductrices exposées de l'installation étant raccordées aux électrodes de terre qui sont électriquement indépendantes des électrodes de terre du réseau d'alimentation;

Réseau IT: toutes les parties actives sont isolées de la terre ou un point est relié à la terre par le biais d'une impédance, les parties conductrices exposées de l'installation étant raccordées au réseau de terre de manière indépendante ou collective.

Dans les réseaux TN et TT, la tension réseau correspond à la valeur efficace de la tension assignée entre une phase et la terre.

NOTE 2 Un réseau de terre d'angle est un réseau TN dont une phase est reliée à la terre, et avec lequel la tension réseau correspond à la valeur efficace de la tension assignée entre une phase non reliée à la terre et la terre (c'est-à-dire la tension entre phases).

Dans les réseaux IT triphasés, et afin de déterminer la tension de choc, la tension réseau correspond à la valeur efficace de la tension assignée entre une phase et un point neutre artificiel (jonction imaginaire d'impédances égales de chaque phase).

NOTE 3 Pour la plupart des réseaux, cela équivaut à diviser la tension entre phases par $\sqrt{3}$.

Dans les réseaux IT triphasés, et afin de déterminer la surtension provisoire, la tension réseau correspond à la valeur efficace de la tension assignée entre les phases.

Dans les réseaux IT monophasés, la tension réseau correspond à la valeur efficace de la tension assignée entre les phases.

Pour les équipements raccordés directement au secteur haute tension, la tension réseau correspond à la valeur efficace de la tension assignée entre les phases.

NOTE 4 Dans tous les cas, lorsque la tension d'alimentation est une tension c.a. redressée, la tension réseau correspond à la valeur efficace de la source c.a. avant redressement, compte tenu du réseau de terre d'alimentation.

NOTE 5 Les tensions générées au sein du convertisseur par les secondaires des transformateurs qui assurent une isolation galvanique contre le secteur d'alimentation sont également considérées comme étant des tensions réseau permettant de déterminer les tensions de choc.

NOTE 6 Pour les convertisseurs comportant des raccordements en pont montés en série (à 12 impulsions, à 18 impulsions, etc.), la tension réseau correspond à la somme des tensions c.a. au droit des raccordements en pont.

C.4 Exigences relatives aux essais, analyses et informations à fournir

L'identification de toutes les caractéristiques: les conditions d'environnement, la tension réseau, la catégorie de surtension etc., ainsi que les essais réalisés, permettent de vérifier que l'impact de l'environnement (température, poussière, eau, etc.) sur les sous-ensembles et les composants du convertisseur ne génère aucun risque de choc thermique ou électrique.

L'analyse et la vérification par essai des circuits permettent d'identifier et d'évaluer les composants (y compris les systèmes d'isolement) dont la défaillance, due à un circuit ouvert ou à un court-circuit, générerait un risque de choc thermique ou électrique.

Il convient de fournir à l'acheteur les informations nécessaires par le biais d'un étiquetage et du manuel d'utilisation, afin de permettre une installation, une maintenance et une exploitation en toute sécurité, y compris les avis et les mises en garde pertinents apposés sur l'équipement.

C.5 Références pertinentes

La présente norme ne fournit pas d'exigences supplémentaires relatives à l'évaluation de la sécurité des PCE dans la mesure où cet aspect est traité par d'autres normes de sécurité. Les exigences de sécurité pertinentes sont déterminées par les normes de produits ou de familles de produits spécifiques.

Les normes de produits ou de familles de produits de sécurité suivantes définissent les exigences relatives à différentes applications:

- la CEI 61204-7 pour les systèmes d'alimentation en énergie (PSU) ;
- la CEI 61800-5-1 pour les entraînements de puissance (PDS) ;
- la CEI 62040-1 pour les alimentations sans interruption (ASI), la CEI 62310-1 pour les systèmes de transfert statique (STS) ;
- la CEI 60700-1 pour les applications haute tension telles que les systèmes de transmission c.c. (CCHT) et CEI/PAS 61975 concernant leur installation, la CEI 61954 pour les compensateurs statiques d'énergie réactive (SVC) ;
- la CEI 62103 pour tout autre produit non couvert par une norme de produit.

NOTE La future CEI 62477 traitant des exigences de sécurité relatives aux groupes convertisseurs de puissance à semiconducteurs est à l'étude à la CEI.

Bibliographie

CEI 60050-131:2002, *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) – Partie 131: Théorie des circuits*

CEI 60050-151:2001, *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) – Partie 151: Dispositifs électriques et magnétiques*

CEI 60050-161:1990, *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) – Chapitre 161: Compatibilité électromagnétique*
Amendement 1 (1997)
Amendement 2 (1998)

CEI 60050-195:1998, *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) – Partie 195: Mise à la terre et protection contre les chocs électriques*

CEI 60050-321:1986, *Vocabulaire Electrotechnique International – Chapitre 321: Transformateurs de mesure*

CEI 60050-441:1984, *Vocabulaire Electrotechnique International – Chapitre 441: Appareillages et fusibles*

CEI 60050-521:2002, *Vocabulaire Electrotechnique International – Partie 521: Dispositifs à semiconducteurs et circuits intégrés*

CEI 60050-601:1985, *Vocabulaire Electrotechnique International – Chapitre 601: Production, transport et distribution de l'énergie électrique - Généralités*

CEI 60050-826:2004, *Vocabulaire Electrotechnique International – Partie 826: Installations électriques*

CEI 60071-1, *Coordination de l'isolement – Partie 1: Définitions, principes et règles*

CEI 60071-2, *Coordination de l'isolement – Partie 2: Guide d'application*

CEI 60076-1, *Transformateurs de puissance – Partie 1: Généralités*

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

CEI 60146-1-3, *Convertisseurs à semiconducteurs – Spécifications communes et convertisseurs commutés par le réseau – Partie 1-3: Transformateurs et bobines d'inductance*

CEI 60146-2, *Convertisseurs à semiconducteurs – Partie 2: Convertisseurs autocommutés à semiconducteurs y compris les convertisseurs à courant continu directs*

CEI 60146-6, *Convertisseurs à semiconducteurs – Partie 6: Guide d'application pour la protection par fusibles des convertisseurs contre les surintensités*

CEI/TR 60664-2-1, *Coordination de l'isolement des matériels dans les systèmes (réseaux) à basse tension – Partie 2-1: Guide d'application – Feuilles de dimensionnement et exemples*

CEI/TR 60664-2-2, *Insulation coordination for equipment within low-voltage systems – Part 2-2: Interface considerations – Application guide (publiée en anglais seulement)*

CEI 60664-3, *Coordination de l'isolement des matériels dans les systèmes (réseaux) à basse tension – Partie 3: Utilisation de revêtement, d'emboîtement ou de moulage pour la protection contre la pollution*

CEI 60664-4, *Coordination de l'isolement des matériels dans les systèmes (réseaux) à basse tension – Partie 4: Considérations sur les contraintes de tension à haute fréquence*

CEI 60664-5, *Coordination de l'isolement des matériels dans les systèmes (réseaux) à basse tension – Partie 5: Méthode détaillée de détermination des distances d'isolement dans l'air et des lignes de fuite inférieures ou égales à 2 mm*

CEI/TR 60725, *Etude des impédances de référence et des impédances des réseaux publics d'alimentation aux fins de la détermination des caractéristiques de perturbation des équipements électriques utilisant un courant nominal ≤ 75 A par phase*

IEC 60747-1, *Semiconductor devices – Part 1: General* (publiée en anglais seulement)

CEI/TR 61000-2-6, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 2: Environnement – Section 6: Evaluation des niveaux d'émission dans l'alimentation des centrales industrielles tenant compte des perturbations conduites à basse fréquence*

CEI/TR 61000-3-4, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 3-4: Limites – Limitation des émissions de courants harmoniques dans les réseaux basse tension pour les matériels ayant un courant assigné supérieur à 16 A*

CEI/TR 61000-3-5, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 3: Limites – Section 5: Limitation des fluctuations de tension et du flicker dans les réseaux basse tension pour les équipements ayant un courant appelé supérieur à 16 A*

CEI/TR 61000-3-6, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 3-6: Limits – Assessment of emission limits for the connection of distorting installations to MV, HV and EHV power systems* (publiée en anglais seulement)

CEI/TR 61000-3-7, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 3-7: Limits – Assessment of emission limits for the connection of fluctuating installations to MV, HV and EHV power systems* (publiée en anglais seulement)

CEI/TS 61000-6-5, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 6-5: Normes génériques – Immunité pour les environnements de centrales électriques et de postes*

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

CEI/TS 61287-2, *Convertisseurs de puissance embarqués sur le matériel roulant ferroviaire – Partie 2: Informations techniques supplémentaires*

CEI 61378-1, *Transformateurs de conversion – Partie 1: Transformateurs pour applications industrielles*

CEI 61378-2, *Transformateurs de conversion – Partie 2: Transformateurs pour applications CCHT*

CEI 61439-1, *Ensembles d'appareillage à basse tension – Partie 1: Règles générales*

CEI 61800-6, *Entraînements électriques de puissance à vitesse variable – Partie 6: Guide de détermination du type de régime de charge et de dimensionnement en courant correspondant*

CEI 62068-1, *Systèmes d'isolation électrique – Contraintes électriques produites par des impulsions de tension appliquées périodiquement – Partie 1: Méthode générale d'évaluation de l'endurance électrique*

IEC 62477, *Safety requirements for power semiconductor converter systems – Part 1: General*¹⁾

CEI 62589, *Applications ferroviaires – Installations fixes – Harmonisation des valeurs assignées et des essais sur les groupes convertisseurs*²⁾

Failure mechanism of the interturn insulation of low voltage electric machines fed by pulsed controlled inverters – IEEE Insulation Magazine - Septembre/Octobre 1996 – Vol. 12, N° 5

Will your motor insulation survive a new adjustable frequency drive – IEEE Industry Application Magazine – Septembre/Octobre 1997 – Vol. 33, N° 5

Using corona inception voltage for motor evaluation – IEEE Transactions on Industry Applications Magazine – Juillet/Août 1999

IEEE Std 519: 1992, IEEE Recommended practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems (en particulier les Articles 6, 7.3, 8 et 10.4).

1) A l'étude

2) En préparation

Index des définitions

Termes	VEI	Paragraphe	
A			
angle d'avance de l'ordre d'amorçage β	551-16-34	3.5.12	[df 1]
angle d'empiètement μ	551-16-05	3.5.5	[df 2]
angle de retard de l'ordre d'amorçage α	551-16-33	3.5.11	[df 3]
angle de retard propre α_p	551-16-35	3.5.13	[df 4]
angle d'extinction γ		3.5.14	[df 5]
B			
bloc de valves	551-14-12	3.1.11	[df 6]
bras auxiliaire	551-15-05	3.2.3	[df 7]
bras commandé		3.3.1	[df 8]
bras de retour	551-15-09	3.2.7	[df 9]
bras de roue libre	551-15-07	3.2.5	[df 10]
bras de shuntage	551-15-06	3.2.4	[df 11]
bras de (valve)	551-15-01	3.2.1	[df 12]
bras d'extinction	551-15-08	3.2.6	[df 13]
bras non commandé		3.3.2	[df 14]
bras principal	551-15-02	3.2.2	[df 15]
C			
catégorie de surtension		3.11.11	[df 16]
circuit TBT (très basse tension)	826-12-30, MOD	3.11.18	[df 17]
chute de tension continue	551-17-21	3.7.6	[df 18]
chute propre de tension intrinsèque	551-17-22	3.7.7	[df 19]
chute totale de tension continue	551-17-23	3.7.8	[df 20]
circuit de commutation	551-16-03	3.5.1	[df 21]
circuit (électrique) (d'un équipement)		3.11.1	[df 22]
circuit TBTP (très basse tension de protection)	826-12-32, MOD	3.11.19	[df 23]
circuit TBTS (très basse tension de sécurité)	826-12-31, MOD	3.11.20	[df 24]
classe de tension déterminante		3.11.8	[df 25]
commande d'amorçage	551-16-61	3.3.12	[df 26]
commande de phase	551-16-23	3.3.11	[df 27]
commutation	551-16-01	3.4.1	[df 28]
commutation autonome	551-16-15	3.4.10	[df 29]
commutation capacitive à couplage inductif		3.4.12	[df 30]
commutation directe	551-16-09	3.4.3	[df 31]
commutation externe	551-16-11	3.4.5	[df 32]
commutation indirecte	551-16-10	3.4.4	[df 33]
commutation par condensateur	551-16-17	3.4.11	[df 34]
commutation par extinction forcée	551-16-16	3.4.13	[df 35]
commutation par la charge	551-16-13	3.4.7	[df 36]
commutation par la charge résonante		3.4.9	[df 37]
commutation par le réseau	551-16-12	3.4.6	[df 38]
commutation par machine	551-16-14	3.4.8	[df 39]
compatibilité électromagnétique (CEM)	161-01-07	3.9.1	[df 40]
composante fondamentale – (fondamental)	551-20-01	3.10.3	[df 41]
composante fondamentale de référence	551-20-02	3.10.4	[df 42]
composante harmonique	551-20-07	3.10.7	[df 43]
composante interharmonique	551-20-08	3.10.9	[df 44]

(refroidissement naturel) – convection -----	3.8.5	[df 45]
conversion (électronique) (de puissance)-----551-11-02	3.1.15	[df 46]
convertisseur à deux quadrants -----551-12-35	3.3.5	[df 47]
convertisseur à quatre quadrants-----551-12-36	3.3.6	[df 48]
convertisseur à semiconducteurs -----551-12-42	3.1.19	[df 49]
convertisseur à un quadrant -----551-12-34	3.3.4	[df 50]
convertisseur à semiconducteurs -----551-12-42	3.1.19	[df 51]
(convertisseur réversible) – convertisseur bidirectionnel-----551-12-37	3.3.7	[df 52]
convertisseur double -----551-12-39	3.3.9	[df 53]
convertisseur (électronique) (de puissance) ----- 551-12-01, MOD	3.1.16	[df 54]
convertisseur réversible – (convertisseur bidirectionnel) -----551-12-37	3.3.7	[df 55]
convertisseur simple -----551-12-38	3.3.8	[df 56]
courant assigné côté réseau (pour les convertisseurs et leurs transformateurs) I_{LN} -----	3.6.5	[df 57]
courant assigné côté valve (pour les convertisseurs et leurs transformateurs) I_{VN} -----	3.6.6	[df 58]
courant assigné pour le service de charge de pointe (service temporaire) --	3.6.13	[df 59]
courant assigné pour service continu avec surcharges de crête -----	3.6.14	[df 60]
courant assigné pour un service de charge répétitive (service périodique)--	3.6.15	[df 61]
courant critique -----551-17-20	3.7.10	[df 62]
courant continu assigné I_{dN} -----	3.6.9	[df 63]
courant continu maximal de crête I_{dSMN} -----	3.6.11	[df 64]
courant continu maximal de crête intermittent I_{dRMN} -----	3.6.12	[df 65]
courant continu permanent assigné (valeur maximale) I_{dMN} -----	3.6.10	[df 66]

D

(valve non commandable) – diode de redressement -----551-14-04	3.1.4	[df 67]
dispositif à semiconducteur -----151-13-63	3.1.1	[df 68]
dispositif de commande – (dispositif à gâchette)-----	3.1.17	[df 69]
(rapport harmonique total) – distorsion harmonique totale (<i>THD</i>)-551-20-13	3.10.11	[df 70]
double isolation ----- 826-03-19, MOD	3.11.14	[df 71]

E

écran de protection -----	3.11.17	[df 72]
émission (électromagnétique) -----161-01-08	3.9.2	[df 73]
encoche de commutation -----551-16-06	3.5.6	[df 74]
ensemble de valves -----551-14-13	3.1.12	[df 75]
équipement de commande d'un système -----	3.1.18	[df 76]
équipement de conversion de puissance (PCE)-----	3.1.20	[df 77]
équipotentialité -----195-01-09	3.11.3	[df 78]
extinction externe -----551-16-21	3.4.15	[df 79]
extinction par valve -----551-16-20	3.4.14	[df 80]
extinction sans commutation -----551-16-19	3.4.2	[df 81]

F

facteur de conversion -----551-17-10	3.7.11	[df 82]
facteur de déformation ν -----	3.7.15	[df 83]
facteur de puissance λ -----131-11-46	3.7.13	[df 84]
(facteur de puissance de l'onde fondamentale) –		
facteur de déphasage tension-courant $\cos \varphi_1$ ----- 131-11-48 (<i>basis</i>)	3.7.14	[df 85]
facteur de puissance de l'onde fondamentale –		
(facteur de déphasage tension-courant) $\cos \varphi_1$ ----- 131-11-48 (<i>basis</i>)	3.7.14	[df 86]
facteur total de distorsion (<i>TDF</i>) -----551-20-16	3.10.14	[df 87]
fluide réfrigérant -----	3.8.2	[df 88]
(composante fondamentale) – fondamental -----551-20-01	3.10.3	[df 89]

fréquence assignée (pour les convertisseurs et leurs transformateurs) f_N	-----	3.6.2	[df 90]
fréquence fondamentale	-----551-20-03	3.10.2	[df 91]
fréquence fondamentale de référence	-----551-20-04	3.10.5	[df 92]
fréquence harmonique	-----551-20-05	3.10.6	[df 93]
fréquence interharmonique	-----551-20-06	3.10.8	[df 94]

G

groupe commutant	-----551-16-08	3.5.8	[df 95]
(thyristor blocable) – GTO	-----521-04-68	3.1.9	[df 96]

I

immunité à une perturbation	-----161-01-20	3.9.7	[df 97]
indice de commutation q	-----551-17-03	3.5.9	[df 98]
indice de pulsation p	-----551-17-01	3.5.10	[df 99]
inductance de commutation	-----551-16-07	3.5.3	[df 100]
interrupteur à semiconducteurs	-----551-13-05	3.1.3	[df 101]
interrupteur électronique (de puissance)	-----551-13-01	3.1.2	[df 102]
intervalle de commutation	-----551-16-04	3.5.4	[df 103]
intervalle de suppression	-----551-16-45	3.5.15	[df 104]
isolation principale	-----195-02-23, MOD	3.11.12	[df 105]
isolation renforcée	-----	3.11.15	[df 106]
isolation supplémentaire	-----	3.11.13	[df 107]

L

liaison équipotentielle	-----195-01-10	3.11.4	[df 108]
-------------------------	----------------	--------	----------

M

milieu de refroidissement	-----	3.8.1	[df 109]
montage à double voie (d'un convertisseur)	-----551-15-13	3.2.11	[df 110]
montage à simple voie (d'un convertisseur)	-----551-15-12	3.2.10	[df 111]
montage de base d'un convertisseur	-----551-15-11	3.2.9	[df 112]
montage de convertisseur	-----551-15-10	3.2.8	[df 113]
montage en pont	-----551-15-14	3.2.12	[df 114]
montage en série	-----131-12-75	3.2.15	[df 115]
montage en série de convertisseurs	-----551-04-30, MOD	3.2.16	[df 116]
montage hétérogène, montage mixte	-----551-15-18	3.2.14	[df 117]
montage homogène	-----551-15-15	3.2.13	[df 118]
montage survolteur/dévolteur	-----551-15-21	3.2.17	[df 119]

N

niveau d'émission d'un convertisseur	-----161-03-11, MOD	3.9.3	[df 120]
niveau de perturbation électromagnétique	-----161-03-29	3.9.5	[df 121]
niveau de référence de la perturbation produite par un convertisseur	-----	3.9.6	[df 122]
niveau d'immunité d'un convertisseur	-----161-03-14, MOD	3.9.8	[df 123]

P

partie d'un circuit	-----	3.11.2	[df 124]
PC, PCC, IPC	-----	3.10.1	[df 125]
perturbation électromagnétique	-----161-01-05	3.9.4	[df 126]
plage de tolérances de la tension de sortie	-----	3.7.9	[df 127]
puissance apparente assignée côté réseau (pour les convertisseurs et leurs transformateurs) S_{LN}	-----	3.6.7	[df 128]
puissance assignée côté courant continu	-----	3.6.16	[df 129]
puissance de court-circuit relative R_{SC}	-----	3.9.9	[df 130]

Q

quadrant de fonctionnement (côté continu)	-----	3.3.3	[df 131]
---	-------	-------	----------

R

rapport harmonique individuel (<i>IHR</i>)	-----	3.10.15	[df 132]
rapport harmonique pondéré partiel (<i>PWHR</i>)	-----	3.10.16	[df 133]
rapport harmonique total – (distorsion harmonique totale) (<i>THD</i>)	-----551-20-13	3.10.11	[df 134]
rapport total de distorsion (<i>TDR</i>)	-----551-20-14	3.10.13	[df 135]
refroidissement direct	-----	3.8.3	[df 136]
refroidissement forcé	-----	3.8.6	[df 137]
refroidissement indirect	-----	3.8.4	[df 138]
refroidissement mixte	-----	3.8.7	[df 139]
refroidissement naturel – (convection)	-----	3.8.5	[df 140]
rendement	-----	3.7.12	[df 141]
réseau équipotentiel (EBS)	-----195-02-22	3.11.5	[df 142]
réseau équipotentiel de protection (PEBS)	-----195-02-23	3.11.6	[df 143]
résidu harmonique	-----551-20-12	3.10.10	[df 144]
résidu total de distorsion	-----551-20-11	3.10.12	[df 145]

S

section convertisseur d'un convertisseur double	-----551-12-40	3.3.10	[df 146]
séparation de protection	-----	3.11.16	[df 147]
système de conversion de puissance	-----	3.1.21	[df 148]

T

température de l'air ambiant	----- 441-11-13, MOD	3.8.9	[df 149]
température d'équilibre	-----	3.8.8	[df 150]
température du fluide réfrigérant	-----	3.8.12	[df 151]
température du milieu de refroidissement pour refroidissement par air et par gaz	-----	3.8.10	[df 152]
température du milieu de refroidissement pour refroidissement par liquide	-----	3.8.11	[df 153]
tension assignée côté valve du transformateur (pour les convertisseurs et leurs transformateurs) U_{vN}	-----	3.6.4	[df 154]
tension assignée du côté réseau (pour les convertisseurs et leurs transformateurs) U_{LN}	-----	3.6.3	[df 155]
tension continue assignée U_{dN}	-----	3.6.8	[df 156]
tension continue conventionnelle à vide U_{d0}	-----551-17-17	3.7.3	[df 157]
tension continue conventionnelle à vide avec réglage $U_{d0\alpha}$	-----551-17-18	3.7.4	[df 158]
tension continue fictive à vide U_{di}	-----551-17-15	3.7.1	[df 159]
tension continue fictive à vide avec réglage $U_{di\alpha}$	-----551-17-16	3.7.2	[df 160]
tension continue réelle à vide U_{d00}	-----551-17-19	3.7.5	[df 161]
tension de choc assignée	-----	3.11.10	[df 162]
tension de commutation	-----551-16-02	3.5.2	[df 163]

tension de service	-----	3.11.7	[df 164]
tension d'isolement assignée	-----	3.11.9	[df 165]
transistor de puissance	-----	3.1.10	[df 166]
transitoire répétitif de commutation	-----	3.5.7	[df 167]
(thyristor triode bidirectionnel) – triac	-----521-04-67	3.1.8	[df 168]
thyristor	-----521-04-61	3.1.5	[df 169]
thyristor blocable – (GTO)	-----521-04-68	3.1.9	[df 170]
thyristor triode bidirectionnel – (triac)	----- 521-04-67, MOD	3.1.8	[df 171]
thyristor triode bloqué en inverse	-----521-04-63	3.1.6	[df 172]
thyristor triode passant en inverse	-----521-04-65	3.1.7	[df 173]

V

valeur assignée	-----551-16-08	3.6.1	[df 174]
valve à semiconducteurs	-----551-14-09	3.1.14	[df 175]
valve électronique	-----551-14-02	3.1.13	[df 176]
valve non commandable – (diode de redressement)	-----551-14-04	3.1.4	[df 177]

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