

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 © 2024 IEC, Geneva, Switzerland

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

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

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

Tel.: +41 22 919 02 11
info@iec.ch
www.iec.ch

About the IEC

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

About IEC publications

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

IEC publications search - webstore.iec.ch/advsearchform

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 It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

IEC Customer Service Centre - webstore.iec.ch/csc

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

IEC Products & Services Portal - products.iec.ch

Discover our powerful search engine and read freely all the publications previews, graphical symbols and the glossary. With a subscription you will always have access to up to date content tailored to your needs.

Electropedia - www.electropedia.org

The world's leading online dictionary on electrotechnology, containing more than 22 500 terminological entries in English and French, with equivalent terms in 25 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

A propos de l'IEC

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

A propos des publications IEC

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

Recherche de publications IEC -

webstore.iec.ch/advsearchform

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

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

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

IEC Products & Services Portal - products.iec.ch

Découvrez notre puissant moteur de recherche et consultez gratuitement tous les aperçus des publications, symboles graphiques et le glossaire. Avec un abonnement, vous aurez toujours accès à un contenu à jour adapté à vos besoins.

Electropedia - www.electropedia.org

Le premier dictionnaire d'électrotechnologie en ligne au monde, avec plus de 22 500 articles terminologiques en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 25 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

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

ICS 29.200, 29.045

ISBN 978-2-8322-8354-7

**Warning! Make sure that you obtained this publication from an authorized distributor.
Attention! Veuillez vous assurer que vous avez obtenu cette publication via un distributeur agréé.**

CONTENTS

FOREWORD.....	5
INTRODUCTION.....	7
1 Scope.....	8
2 Normative references	8
3 Terms and definitions	9
3.1 Semiconductor devices and combinations	9
3.2 Arms and connections.....	13
3.3 Controllability of converter arms and quadrants of operation (on DC 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	23
3.8 Cooling	25
3.9 Service conditions tolerances and electromagnetic compatibility	26
3.10 Harmonic distortion.....	28
3.11 Definitions related to insulation co-ordination.....	32
3.12 Principal letter symbols and subscripts	35
4 Operation of semiconductor power equipment and valve devices.....	38
4.1 Classification	38
4.1.1 Semiconductor converter	38
4.1.2 Semiconductor valve devices.....	39
4.2 Basic operation of semiconductor converters	39
4.2.1 Commutation	39
4.2.2 Basic calculation factors for line commutated converters	41
4.2.3 Disturbances and fault conditions	43
5 Service conditions	45
5.1 Code of identification for cooling method	45
5.2 Environmental conditions	45
5.2.1 Ambient air circulation	45
5.2.2 Normal service conditions – Temperatures	46
5.2.3 Other normal service conditions.....	46
5.2.4 Unusual service conditions	47
5.3 Characteristics of the load	47
5.4 Service condition tolerances	48
5.4.1 Steady state and short time conditions	48
5.4.2 Repetitive and non-repetitive transients.....	50
6 Power conversion equipment and assemblies.....	51
6.1 Electrical connections	51
6.2 Calculation factors	51
6.2.1 Essential variables	51
6.2.2 Losses and efficiency	56
6.2.3 Power factor	57
6.2.4 Voltage regulation	57
6.3 Electromagnetic compatibility.....	59
6.3.1 Harmonics	59
6.3.2 Other EMC aspects	60

6.4	Rated values	60
6.4.1	General	60
6.4.2	Rated output voltage	60
6.4.3	Rated current values	61
6.5	Duty classes	62
6.5.1	Principles	62
6.5.2	Selection of duty class and rated current value	63
6.5.3	Particular remarks for double converters	64
6.6	Markings	64
6.6.1	General	64
6.6.2	Rating plate	65
7	Tests for valve device assemblies and power conversion equipment	65
7.1	General	65
7.1.1	Methods of testing	65
7.1.2	Kinds of tests	66
7.1.3	Performance of tests	66
7.2	Insulation tests	67
7.2.1	General	67
7.2.2	Routine insulation tests of power conversion equipment	68
7.2.3	Additional tests	71
7.3	Functional test	71
7.3.1	Light load test and functional test	71
7.3.2	Rated current test	72
7.3.3	Over-current capability test	72
7.3.4	Measurement of the inherent voltage regulation	72
7.3.5	Measurement of ripple voltage and current	72
7.3.6	Measurement of harmonic currents	72
7.4	Losses, temperature and power factor	73
7.4.1	Power loss determination for assemblies and equipment	73
7.4.2	Temperature rise test	74
7.4.3	Power factor measurements	74
7.5	Auxiliary device and control equipment	74
7.5.1	Checking of auxiliary devices	74
7.5.2	Checking the properties of the control equipment	75
7.5.3	Checking the protective devices	75
7.6	EMC tests	75
7.7	Measurement of audible noise and additional tests	76
7.8	Tolerances	76
Annex A (normative)	Harmonics and interharmonics	78
A.1	Non-sinusoidal voltages and currents	78
A.2	Two approaches for definitions related to harmonics	78
Annex B (informative)	Electrical environment – Short-circuit ratio	79
B.1	Electrical environment specification	79
B.2	Point of coupling of the converter	80
B.2.1	Systems and installations	80
B.2.2	Short-circuit ratio of the source in the installation	81
B.2.3	Short-circuit ratio	82
Annex C (informative)	Introduction to safety standards for power conversion equipment	84

C.1	General.....	84
C.2	Brief introduction to IEC 62477 series with reference to IEC 60146 series	84
C.3	Purposes or intentions of IEC 60146 series and IEC 62477 series	84
	Bibliography.....	85
Figure 1	– Types of commutation	40
Figure 2	– Illustration of angles	41
Figure 3	– Voltage regulation	43
Figure 4	– AC voltage waveform	51
Figure B.1	– PCC, IPC, installation current ratio and R_{SI}	82
Figure B.2	– PCC, IPC, installation current ratio and R_{SC}	83
Table 1	– List of major subscripts	36
Table 2	– Symbols	36
Table 3	– Performance criteria	43
Table 4	– Cooling medium or heat transfer agent.....	45
Table 5	– Method of circulation	45
Table 6	– Limit of temperature of the cooling medium for indoor equipment	46
Table 7	– Immunity levels to frequency and voltage amplitude for stiff AC voltage connections	49
Table 8	– Immunity levels to voltage unbalance for stiff AC voltage connections	49
Table 9	– Immunity levels to voltage waveform for stiff AC voltage connections	50
Table 10	– Connections and calculation factors	54
Table 11	– Standard duty classes	62
Table 12	– Examples of load cycles as guidance for selection of duty class	63
Table 13	– Summary of tests	67
Table 14	– AC or DC test voltages for equipment directly connected to low voltage mains.....	70
Table 15	– AC or DC test voltages for equipment directly connected to high voltage mains.....	70
Table 16	– Tolerances	77
Table C.1	– Comparison on purposes or intentions between two standards	84

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 itself does not provide any attestation of conformity. Independent certification bodies provide conformity assessment services and, in some areas, access to IEC marks of conformity. IEC is not responsible for any services carried out by independent certification bodies.
- 6) All users should ensure that they have the latest edition of this publication.
- 7) No liability shall attach to IEC or its directors, employees, servants or agents including individual experts and members of its technical committees and IEC National Committees for any personal injury, property damage or other damage of any nature whatsoever, whether direct or indirect, or for costs (including legal fees) and expenses arising out of the publication, use of, or reliance upon, this IEC Publication or any other IEC Publications.
- 8) Attention is drawn to the Normative references cited in this publication. Use of the referenced publications is indispensable for the correct application of this publication.
- 9) IEC draws attention to the possibility that the implementation of this document may involve the use of (a) patent(s). IEC takes no position concerning the evidence, validity or applicability of any claimed patent rights in respect thereof. As of the date of publication of this document, IEC had not received notice of (a) patent(s), which may be required to implement this document. However, implementers are cautioned that this may not represent the latest information, which may be obtained from the patent database available at <https://patents.iec.ch>. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

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

This fifth edition cancels and replaces the fourth edition published in 2009. This fifth edition constitutes a technical revision.

This fifth edition introduces four main changes:

- a) re-edition of the whole standard according to the current directives;
- b) deletion of safety-related descriptions considering coordination with IEC 62477 series;
- c) changes of calculation methods of inductive voltage regulation;
- d) changes considering coordination with IEC 61378 series.

The text of this International Standard is based on the following documents:

Draft	Report on voting
22/374/FDIS	22/378/RVD

Full information on the voting for its approval can be found in the report on voting indicated in the above table.

The language used for the development of this International Standard is English.

This document was drafted in accordance with ISO/IEC Directives, Part 2, and developed in accordance with ISO/IEC Directives, Part 1 and ISO/IEC Directives, IEC Supplement, available at www.iec.ch/members_experts/refdocs. The main document types developed by IEC are described in greater detail at www.iec.ch/publications.

A list of all parts of the IEC 60146 series, under the general title *Semiconductor converters – General requirements and line commutated converters*, can be found on the IEC website.

The committee has decided that the contents of this document will remain unchanged until the stability date indicated on the IEC website under webstore.iec.ch in the data related to the specific document. At this date, the document will be

- reconfirmed,
- withdrawn, or
- revised.

IMPORTANT – The "colour inside" logo on the cover page of this document indicates that it contains colours which are considered to be useful for the correct understanding of its contents. Users should therefore print this document using a colour printer.

INTRODUCTION

The main purposes of the IEC 60146-1 series are as follows.

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.

IEC TR 60146-1-2, Application guidelines:

- 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.

SEMICONDUCTOR CONVERTERS – GENERAL REQUIREMENTS AND LINE COMMUTATED CONVERTERS –

Part 1-1: Specification of basic requirements

1 Scope

This part of IEC 60146 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 can 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 document is primarily intended to specify the basic requirements for converters in general and the requirements applicable to line commutated converters for conversion of AC power to DC power or vice versa. Parts of this document 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 DC motor drives) or include a combination of said characteristics (for example direct DC converters for electric rolling stock).

This document 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. Generally dedicated product standards for power converters refer to this document.

NOTE 1 This document 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 For the information on converter transformers, related to this document, see IEC 61378-1.

NOTE 3 All the terms listed in Clause 3 are not necessarily used in this document, however they are necessary to establish a common understanding in the application of semiconductor converters.

2 Normative references

The following documents are referred to in the text in such a way that some or all of their content constitutes requirements of this document. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

IEC 60050-551:1998, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 551: Power electronics*, available at www.electropedia.org

IEC 60050-551-20:2001, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 551-20: Power electronics – Harmonic analysis*, available at www.electropedia.org

IEC 60664-1:2020, *Insulation coordination for equipment within low-voltage supply systems – Part 1: Principles, requirements and tests*

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

IEC 61000-3-2:2018, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 3-2: Limits – Limits for harmonic current emissions (equipment input current ≤ 16 A per phase)*

IEC 61000-3-12:2011, *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 61000-4-7:2002, *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 61000-6-1:2016, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 6-1: Generic standards – Immunity standard for residential, commercial and light-industrial environments*

IEC 61000-6-2:2016, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 6-2: Generic standards – Immunity standard for industrial environments*

IEC 61000-6-4:2018, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 6-4: Generic standards – Emission standard for industrial environments*

IEC 61378-1:2011, *Converter transformers – Part 1: Transformers for industrial applications*

IEC 62477-1:2022, *Safety requirements for power electronic converter systems and equipment – Part 1: General*

IEC 62477-2:2018, *Safety requirements for power electronic converter systems and equipment – Part 2: Power electronic converters from 1 000 V AC or 1 500 V DC up to 36 kV AC or 54 kV DC*

3 Terms and definitions

For the purposes of this document, the terms and definitions given in IEC 60050-551, IEC 60050-551-20, IEC 60664-1 and the following apply.

ISO and IEC maintain terminology databases for use in standardization at the following addresses:

- ISO Online browsing platform: available at <https://www.iso.org/obp>
- IEC Electropedia: available at <https://www.electropedia.org>

NOTE The policy adopted is as follows:

- when an existing IEC 60050 definition needs amplification or additional information, the title, the reference and the additional text are given;
- explanations and figures are given in 4.2;
- terms used in connection with converter faults are defined in IEC TR 60146-1-2.

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

[SOURCE: IEC 60050-151:2001, 151-13-63]

3.1.2**electronic power switch**
electronic switch

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

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-13-01]

3.1.3**semiconductor switch**

electronic power switch with semiconductor valve devices

Note 1 to entry: Similar terms are used for electronic switches or power controllers with specific electronic valve devices, for example thyristor controller, transistor switch.

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-13-05]

3.1.4**non-controllable valve device**
rectifier diode

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

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-14-04]

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

Note 1 to entry: Devices having only three layers but having switching characteristics similar to those of four-layer thyristors may also be called thyristors.

Note 2 to entry: 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".

[SOURCE: IEC 60050-521:2002, 521-04-61, modified – Note 2 to entry added]

3.1.6**reverse blocking triode thyristor**

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

[SOURCE: IEC 60050-521:2002, 521-04-63]

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

[SOURCE: IEC 6005-521:2002, 521-04-65]

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

[SOURCE: IEC 60050-521:2002, 521-04-67]

3.1.9

turn-off thyristor

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

Note 1 to entry: The gate turn-off thyristor (GTO) and the integrated gate commutated thyristor (IGCT) are types of turn-off thyristor.

[SOURCE: IEC 60050-521:2002, 521-04-68, modified – Note to entry added]

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

Note 1 to entry: The structure of the device intrinsically provides the capability of amplification (see IEC 60050-521:2002, 521-04-46).

Note 2 to entry: 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

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

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-14-12]

3.1.12

valve device assembly

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

Note 1 to entry: 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).

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-14-13]

3.1.13

electronic valve device

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

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-14-02, modified – Notes to entry deleted]

3.1.14

semiconductor valve device

electronic valve device which is a semiconductor device

Note 1 to entry: 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 to entry: 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.

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-14-09, modified – Notes to entry added]

3.1.15
electronic power conversion
power conversion
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

Note 1 to entry: Characteristics include, for example, voltage amplitude, number of phases and frequency, including zero frequency.

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-11-02]

3.1.16
electronic power converter
power converter
converter

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

Note 1 to entry: 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 is 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 is included in the converter, for example fans or cooling system.

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-12-01, modified, – Words "transformers and filters if necessary" removed from the definition, note to entry replaced, and figure removed]

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

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

Note 1 to entry: Examples of controlled quantity include motor speed and traction force.

3.1.19
semiconductor converter

electronic power converter with semiconductor valve devices

Note 1 to entry: 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.

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-12-42, modified – Figure removed]

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

3.1.21**power conversion system**

system consisting of a power conversion equipment and associated components for the application

Note 1 to entry: Examples of associated components include switchgear, reactors or transformers and dedicated filters.

3.2 Arms and connections**3.2.1****valve arm
arm**

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

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-15-01]

3.2.2**principal arm**

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

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-15-02, modified – Note removed]

3.2.3**auxiliary arm**

valve arm other than a principal arm

Note 1 to entry: 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.

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-15-05]

3.2.4**by-pass arm**

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

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-15-06]

3.2.5**free-wheeling arm**

by-pass arm containing only non-controllable valve devices

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-15-07]

3.2.6**turn-off arm**

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

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-15-08]

3.2.7**regenerative arm**

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

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-15-09]

3.2.8

converter connection

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

Note 1 to entry: Common practice also uses the term "topology" of the converter with the same sense.

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-15-10, modified – Note to entry added]

3.2.9

basic converter connection

electrical arrangement of principal arms in a converter

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-15-11]

3.2.10

single-way connection

<of a converter> converter connection such that the current through each of the phase terminals of the AC circuit is unidirectional

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-15-12]

3.2.11

double-way connection

<of a converter> converter connection such that the current through each of the phase terminals of the AC circuit is bidirectional

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-15-13]

3.2.12

bridge connection

double-way connection of pairs of arms such that the centre terminals are the phase terminals of the AC circuit, and that the outer terminals of like polarity are connected together and are the DC terminals

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-15-14]

3.2.13

uniform connection

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

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-15-15]

3.2.14

non-uniform connection

connection with both controllable and non-controllable principal arms

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-15-18]

3.2.15

series connection

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

[SOURCE: IEC 60050-131:2002, 131-12-75, modified – Notes deleted]

3.2.16**series connection of converters**

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

3.2.17**boost and buck connection**

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

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-15-21]

3.3 Controllability of converter arms and quadrants of operation (on DC side)**3.3.1****controllable arm**

converter arm including controllable valve device(s)

3.3.2**non-controllable arm**

converter arm including only no-controllable valve device(s)

3.3.3**quadrant of operation**

<DC side> quadrant of the voltage-current plane defined by the DC voltage polarity and the current direction

3.3.4**one-quadrant converter**

AC/DC or DC converter with one possible direction of DC power flow

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-12-34, modified – Figure deleted]

3.3.5**two-quadrant converter**

AC/DC or DC converter with two possible directions of DC power flow associated with one direction of direct current and two directions of direct voltage or vice versa

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-12-35, modified – Figure deleted]

3.3.6**four-quadrant converter**

AC/DC or DC converter with two directions of DC power flow, associated with two directions of direct voltage and two directions of direct current

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-12-36, modified – Figure deleted]

3.3.7**reversible converter****bi-directional converter**

converter in which the direction of the power flow is reversible

Note 1 to entry: The term "bi-directional converter" corresponds to common practice, and provides a better picture of the bi-directional power flow in the converter.

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-12-37, modified – Alternative term "bi-directional converter" and note to entry added]

3.3.8

single converter

current stiff reversible AC/DC converter with direct current in one direction

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-12-38, modified – Figure deleted]

3.3.9

double converter

current stiff reversible AC/DC converter with direct current in both directions

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-12-39]

3.3.10

converter section of a double converter

part of a double converter in which the main direct current when viewed from the DC terminals always flows in the same direction

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-12-40]

3.3.11

phase control

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

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-16-23]

3.3.12

triggering

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

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-16-61]

3.4 Commutation, quenching and commutation circuitry

3.4.1

commutation

<in an electronic power converter> 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

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-16-01]

3.4.2

quenching

termination of current flow in an arm without commutation

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-16-19]

3.4.3

direct commutation

commutation between two principal arms without transfer through any auxiliary arms

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-16-09]

3.4.4**indirect commutation**

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

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-16-10]

3.4.5**external commutation**

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

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-16-11]

3.4.6**line commutation**

external commutation where the commutating voltage is supplied by the line

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-16-12]

3.4.7**load commutation**

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

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-16-13]

3.4.8**machine commutation**

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

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-16-14]

3.4.9**resonant load commutation**

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

3.4.10**self-commutation**

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

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-16-15]

3.4.11**capacitor commutation**

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

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-16-17]

3.4.12**inductively coupled capacitor commutation**

method of capacitor commutation in which the capacitor circuit is inductively coupled to the commutation circuit

3.4.13**valve device commutation**

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

Note 1 to entry: Simultaneously the next electronic valve device to conduct is turned on.

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-16-16]

3.4.14**valve device quenching**

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

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-16-20]

3.4.15**external quenching**

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

Note 1 to entry: External quenching occurs in line-commutated converters under discontinuous conduction operation.

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-16-21, modified – Words "electronic valve device" replaced with "device", and note to entry added]

3.5 Commutation characteristics**3.5.1****commutation circuit**

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

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-16-03]

3.5.2**commutation voltage**

voltage which causes the current to commute

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-16-02]

3.5.3**commutation inductance**

resulting inductance in the commutation circuit

Note 1 to entry: For line or machine commutated converters, the commutation reactance is the impedance of the commutation inductance at the fundamental frequency.

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-16-07, modified – Note to entry added]

3.5.4**commutation interval**

time interval in which commutating arms are carrying principal current simultaneously

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-16-04]

3.5.5**angle of overlap**

μ

commutation interval expressed in angular measure

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-16-05, modified – Symbol μ added]

3.5.6

commutation notch

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

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-16-06]

3.5.7

commutation repetitive transient

voltage oscillation associated with the commutation notch

3.5.8

commutating group

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

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-16-08]

3.5.9

commutation number

q

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

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-17-03, modified – Symbol q added]

3.5.10

pulse number

p

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

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-17-01, modified – Symbol p added]

3.5.11

trigger delay angle

α

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

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-16-33, modified – Symbol α added]

3.5.12

trigger advance angle

β

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

Note 1 to entry: With line, machine or load commutated converters the reference instant is the zero crossing instant of the commutating voltage.

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-16-34, symbol β added]

3.5.13 inherent delay angle

 α_p

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

Note 1 to entry: Multiple overlap occurs in line commutated converters at high angles of overlap.

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-16-35, modified – Symbol α_p added]

3.5.14 extinction angle

 γ

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

3.5.15 hold-off interval

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

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-16-45]

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

Note 1 to entry: The quantity may describe electrical, thermal, mechanical, or environmental properties.

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

Note 3 to entry: The nominal value of a system (for example nominal voltage – IEC 60050-601:1985, 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 to entry: 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 to entry: 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.

[SOURCE: IEC 60050-151:2001, 151-16-08, modified – Notes to entry added]

3.6.2 rated frequency

 f_N

specified frequency on the AC side of a converter

3.6.3 rated voltage on the line side

 U_{LN}

specified RMS value of the voltage between conductors on the line side of the converter

Note 1 to entry: 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

 U_{vN}

RMS 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

Note 1 to entry: 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

 I_{LN}

maximum RMS value of the current on the line side of the converter under rated conditions

Note 1 to entry: The rated current on the line side 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 to entry: 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 to entry: The rated line current includes currents supplied to the auxiliary circuits of the converter. It also takes into account the effect of DC current ripple and circulating current, if any.

3.6.6 rated current on the valve side

 I_{vN}

maximum RMS value of the current on the valve side of the converter under rated conditions

Note 1 to entry: The rated current on the valve side 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 to entry: 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 to entry: For single phase equipment, the basis of calculation should be specified.

3.6.7 rated apparent power on the line side

 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

3.6.8 rated direct voltage

 U_{dN}

mean value, at rated DC current, specified by the manufacturer, of the direct voltage between the DC terminals of the assembly or equipment

3.6.9 rated direct current

 I_{dN}

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

Note 1 to entry: 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

 I_{dMN}

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

Note 1 to entry: The rated continuous direct current of an assembly is very often essentially higher than the rated direct current of the corresponding complete equipment. It is a maximum value.

Note 2 to entry: 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

Note 1 to entry: 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

Note 1 to entry: 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

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

Note 1 to entry: The characteristics of the associated maximum direct current I_{dSMN} are parts of the definition of the short-time duty. For details, see 6.4.3.2.

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

Note 1 to entry: 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

rated direct current of the assembly or converter, specified as the RMS value of the load current evaluated over the period of the load duty cycle

Note 1 to entry: The duty class should be specified as a sequence of current values together with their durations. "repetitive load duty" is also known as "periodic duty". See 6.4.3.2 c).

3.6.16 rated DC power

product of the rated direct voltage and the rated direct current

Note 1 to entry: The measured DC power may differ from the rated DC 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}

theoretical no-load direct voltage of an AC/DC converter assuming no reduction by phase control, no threshold voltages of electronic valve devices, and no voltage rise at small loads

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-17-15, modified – Symbol U_{di} added]

3.7.2

controlled ideal no-load direct voltage

$U_{di\alpha}$

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

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-17-16, modified – Symbol $U_{di\alpha}$ added]

3.7.3

conventional no-load direct voltage

U_{d0}

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

Note 1 to entry: U_{di} is equal to the sum of U_{d0} and the no-load voltage drop in the assembly.

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-17-17, modified – Symbol U_{d0} and note to entry added]

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

Note 1 to entry: $U_{di\alpha}$ is equal to the sum of $U_{d0\alpha}$ and the no-load voltage drop in the assembly.

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-17-18, modified – Symbol $U_{d0\alpha}$ and note to entry added.]

3.7.5

real no-load direct voltage

U_{d00}

actual mean direct voltage at zero direct current

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-17-19, modified – Symbol U_{d00} added]

3.7.6

direct voltage regulation

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

Note 1 to entry: If voltage stabilizing means are used, refer also to 3.7.9.

Note 2 to entry: The nature of the DC 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.

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-17-21, modified – Notes to entry added]

3.7.7

inherent direct voltage regulation

direct voltage regulation excluding the effect of the AC system impedance

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-17-22]

3.7.8

total direct voltage regulation

direct voltage regulation including the effect of the AC system impedance

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-17-23]

3.7.9

output voltage tolerance band

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

3.7.10

transition current

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

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-17-20 modified – “commutation” replaced with “commutating”]

3.7.11

conversion factor

ratio of the fundamental output power or DC output power to the fundamental input power or DC input power

Note 1 to entry: The fundamental power (IEC 60050-551:1998, 551-17-08) is the active power determined by the fundamental components of voltage and current.

Note 2 to entry: For the purposes of this definition, the DC power is the product of the mean value of the voltage and mean value of the current.

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-17-10, modified – Notes to entry added]

3.7.12

power efficiency

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

Note 1 to entry: In the conversion factor, the power contained in the AC components of the current and voltage on the DC side is not taken into account. In the power efficiency, the power contained in these AC components of the current and voltage on the DC side is included in the DC power. Therefore, for AC to DC 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., while the maximum power efficiency is 1,0 p.u.

Note 2 to entry: The conversion factor may be correctly obtained only by measurement of the fundamental component of power on the AC side and zero-frequency components of voltage and current on the DC side. The power efficiency may be correctly obtained either by measurement of root-mean-square values of AC power and DC power or by calculation or measurement of internal losses.

Note 3 to entry: The active power (mean value of the power) on the AC side, and the mean value of the power on the DC side are to be considered.

3.7.13 power factor

λ

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

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

Note 1 to entry: Under sinusoidal conditions, the power factor is the absolute value of the active factor.

[SOURCE: IEC 60050-131:2002, 131-11-46, modified – Symbol λ added]

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

$$\cos \varphi_1 = \frac{P_1}{S_1}$$

Note 1 to entry: For definition on the displacement angle, see IEC 60050-131:2002, 131-11-48.

3.7.15 deformation factor

v

ratio of the total power factor λ to the displacement factor $\cos \varphi_1$

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

Note 1 to entry: Under sinusoidal voltage condition, the deformation factor is equal to the fundamental factor. See 3.10.14, Note 2 to entry.

3.8 Cooling

3.8.1 cooling medium

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

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

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

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

**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

**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)

**3.8.7
mixed cooling**

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

Note 1 to entry: 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

Note 1 to entry: 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

**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

Note 1 to entry: 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

**3.8.12
temperature of heat transfer agent**

heat transfer agent temperature measured at a point to be specified by the supplier

3.9 Service conditions tolerances and electromagnetic compatibility**3.9.1
electromagnetic compatibility
EMC**

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

[SOURCE: IEC 60050-161:2018, 161-01-07]

3.9.2**electromagnetic emission
emission**

phenomenon by which electromagnetic energy emanates from a source

[SOURCE: IEC 60050-161:2019, 161-01-08, modified – An alternative term “emission” added]

3.9.3**emission level**

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

[SOURCE: IEC 60050-161:1990, 161-03-11, modified – Domain "disturbing source" replaced with "converter", and words "particular device, equipment or system" replaced with "converter, operated within specified conditions and measured in a specified way"]

3.9.4**electromagnetic disturbance**

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

[SOURCE: IEC 60050-161:2018, 161-01-05, modified – Notes to entry deleted]

3.9.5**electromagnetic disturbance level**

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

[SOURCE: IEC 60050-161:1990, 161-03-29]

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

Note 1 to entry: 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

[SOURCE: IEC 60050-161:1990, 161-01-20]

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

Note 1 to entry: This definition is specific to the converter. For general concept of immunity level, it is found in IEC 60050-161:1990, 161-03-14.

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

Note 1 to entry: R_{SC} refers to a given point of the network, for specified operating conditions and specified network configuration.

Note 2 to entry: 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.

3.10 Harmonic distortion

NOTE Equations in the harmonic definitions below use the symbol Q to represent a quantity. When these equations are used in dedicated applications, Q is replaced by the actual symbol for the quantity, for example U for voltage, I for current. In the other parts of this document, Q is the symbol used for reactive power (see Table 2). Explanations supporting these definitions are given in Annex A.

3.10.1 point of common coupling PCC

point on a public power network, electrically nearest to a particular load, at which other loads are, or could be, connected

[SOURCE: IEC 61000-2-4:2002, 3.1.6]

3.10.2 in-plant point of coupling IPC

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

Note 1 to entry: The IPC is usually the point for which electromagnetic compatibility is to be considered.

[SOURCE: IEC 61000-2-4:2002, 3.1.7]

3.10.3 fundamental frequency

frequency of the fundamental component

[SOURCE: IEC 60050-551:2001, 551-20-03]

3.10.4 fundamental component fundamental

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

Note 1 to entry: For practical analysis, an approximation of the periodicity may be necessary.

[SOURCE: IEC 60050-551:2001, 551-20-01]

3.10.5 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 to entry: If it is clearly stated in a context that the reference fundamental component is used, the word "reference" may be omitted, but this document does not recommend this practice.

Note 2 to entry: For practical analysis, an approximation of the periodicity may be necessary.

Note 3 to entry: In power electronics, often the component having the frequency of the AC supply system or of the converter output quantities is chosen as reference fundamental component.

[SOURCE: IEC 60050-551:2001, 551-20-02]

3.10.6 **reference fundamental frequency** frequency of the reference fundamental component

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

[SOURCE: IEC 60050-551:2001, 551-20-04]

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

Note 1 to entry: The ratio of the harmonic frequency to the fundamental frequency, or to the reference fundamental frequency, is named "harmonic order" (recommended notation: h).

[SOURCE: IEC 60050-551:2001, 551-20-05, modified – Note to entry added]

3.10.8 **harmonic component** sinusoidal component of a periodic quantity having a harmonic frequency

Note 1 to entry: For brevity, such a component may be referred to simply as a harmonic.

Note 2 to entry: For practical analysis, an approximation of the periodicity may be necessary.

Note 3 to entry: The value is normally expressed as an RMS value.

[SOURCE: IEC 60050-551:2001, 551-20-07, modified – Notes 1 and 3 to entry added]

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

Note 1 to entry: 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 to entry: In the case where $m < 1$, the term "sub-harmonic frequency" may also be used (see IEC 60050-551:2001, 551-20-10).

[SOURCE: IEC 60050-551:2001, 551-20-06, modified – Notes to entry added]

3.10.10 **interharmonic component** sinusoidal component of a periodic quantity having an interharmonic frequency

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

Note 2 to entry: For practical analysis, an approximation of the periodicity may be necessary.

Note 3 to entry: The value is normally expressed as an RMS value.

Note 4 to entry: 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).

[SOURCE: IEC 60050-551:2001, 551-20-08, modified – Notes 1, 3 and 4 to entry added]

3.10.11

harmonic content

sum of the harmonic components of a periodic quantity

Note 1 to entry: The harmonic content is a time function.

Note 2 to entry: For practical analysis, an approximation of the periodicity may be necessary.

Note 3 to entry: 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 to entry: The RMS value of the distortion content is

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

where

Q represents either current or voltage;

h is the harmonic order;

H is 50 for the purpose of this document. 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.

[SOURCE: IEC 60050-551:2001, 551-20-12, modified – Note 4 to entry added]

3.10.12

total harmonic ratio

total harmonic distortion

THD

ratio of the RMS value of the harmonic content to the RMS value of the fundamental component or the reference fundamental component of an alternating quantity

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

where

Q , h , and H are the same as listed in 3.10.11;

Q_1 is the RMS value of the fundamental component.

Note 1 to entry: The harmonic 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.

Note 2 to entry: The total harmonic ratio may be restricted to a certain harmonic order (recommended notation: H), 50 for the purpose of this document.

[SOURCE: IEC 60050-551:2001, 551-20-13, modified – Recommended notation and value added in Note 2 to entry]

3.10.13**total distortion content**

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

Note 1 to entry: The total distortion content includes harmonic components and interharmonic components if any.

Note 2 to entry: 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 to entry: The total distortion content is a time function.

Note 4 to entry: An alternating quantity (symbol Q) is a periodic quantity with zero DC component.

Note 5 to entry: The RMS value of the distortion content is

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

where Q_1 is noted in 3.10.12.

[SOURCE: IEC 60050-551:2001, 551-20-11, modified – Symbol added in Note 4 to entry. Note 5 to entry added]

3.10.14**total distortion ratio****TDR**

ratio of the RMS value of the total distortion content to the RMS value of the fundamental component or the reference fundamental component of an alternating quantity

$$D_R = \frac{D_C}{Q_1} = \frac{\sqrt{Q^2 - Q_1^2}}{Q_1}$$

Note 1 to entry: 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.

[SOURCE: IEC 60050-551:2001, 551-20-14, modified – Abbreviated term "TDR" and formula in Note 1 to entry added. Note 2 to entry deleted]

3.10.15**total distortion factor****TDF**

ratio of the RMS value of the total distortion content to the RMS value of an alternating quantity

$$D_F = \frac{D_C}{Q} = \frac{\sqrt{Q^2 - Q_1^2}}{Q}$$

Note 1 to entry: 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.

Note 2 to entry: The ratio between TDF and TDR equals the ratio between the RMS value of the fundamental component and the total RMS value. It is the fundamental factor (IEC 60050-161:1990, 161-02-22):

$$f_F = \frac{D_F}{D_R} = \frac{Q_1}{Q} \leq 1$$

[SOURCE: IEC 60050-551:2001, 551-20-16, modified – Abbreviated term "TDF", formula in Note 1 to entry, and Note 2 to entry added]

3.10.16**individual harmonic ratio****IHR**

ratio of any harmonic component to the fundamental

Note 1 to entry: In IEC 60050-161:1990, 161-02-20, the individual harmonic ratio is named "*n*th harmonic ratio". IHR 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 to entry: The value of the individual harmonic ratio is $Q_{\text{IHR}} = \frac{Q_h}{Q_1}$.

3.10.17**partial weighted harmonic ratio****PWHR**

ratio of the RMS value of a selected group of higher order harmonics, weighted with the harmonic order *h*, to the RMS value of the fundamental

$$Q_{\text{PWHR}} = \sqrt{\sum_{h=14}^{h=40} h \times \left(\frac{Q_h}{Q_1}\right)^2}$$

Note 1 to entry: 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 to entry: The similar concept for the harmonic current is shown in IEC 61000-3-12:2011, 3.2.

3.11 Definitions related to insulation co-ordination**3.11.1****electrical circuit
circuit**

<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

Note 1 to entry: 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

3.11.3**equipotentiality**

state when conductive parts are at a substantially equal electric potential

[SOURCE: IEC 60050-195:2021, 195-01-09]

3.11.4**equipotential bonding**

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

[SOURCE: IEC 60050-195:2021, 195-01-10, modified – Definition reformulated]

3.11.5
equipotential bonding system
EBS

interconnection of conductive parts providing equipotential bonding between those parts

[SOURCE: IEC 60050-195:2021, 195-02-22]

3.11.6
protective equipotential bonding system
PEBS

equipotential bonding system providing protective equipotential bonding

[SOURCE: IEC 60050-195:2021, 195-02-23]

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

Note 1 to entry: The working voltage can be DC or AC. Both the RMS 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

3.11.9
rated insulation voltage

RMS 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

Note 1 to entry: 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 to entry: 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 to entry: 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 RMS value is the determining value.

Note 4 to entry: 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 RMS value of the working voltage, whichever is the higher.

[SOURCE: IEC 60664-1:2020, 3.1.18, modified – Symbol U_i deleted. Words "value of the RMS withstand voltage" replaced with "RMS voltage value". Note 1 to entry clarified, and Notes 2 to 4 to entry added]

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

Note 1 to entry: The rated impulse voltage depends either on the result of the insulation coordination 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

Note 1 to entry: 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 hazardous live parts to provide basic protection against electric shock

[SOURCE: IEC 60050-826:2004, 826-12-14, modified – The definition has been reformulated]

3.11.13**supplementary insulation**

independent insulation applied in addition to basic insulation for fault protection

Note 1 to entry: Basic insulation and supplementary insulation are separate, each designed for basic protection against electric shock.

[SOURCE: IEC 60664-1: 2020, 3.1.31, modified – The note to entry has been added]

3.11.14**double insulation**

insulation comprising both basic insulation and supplementary insulation

[SOURCE: IEC 60050-195:2021, 195-06-08]

3.11.15**reinforced insulation**

single insulation of hazardous live parts which provides a degree of protection against electric shock equivalent to double insulation

Note 1 to entry: Reinforced insulation may comprise several layers which cannot be tested separately as basic insulation or supplementary insulation.

[SOURCE: IEC 60664-1:2020, 3.1.33]

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)

3.11.17**electrically protective screening
protective screening**

separation of electric circuits and/or conductors from hazardous live parts by an electrically protective screen connected to the protective equipotential bonding system and intended to provide protection against electric shock

[SOURCE: IEC 60050-195:2021, 195-06-18, modified – The word "electrically" has been added to "protective screening", and the term "protective shielding" has been deleted]

3.11.18**extra low voltage circuit****ELV circuit**

circuit the voltage of which does not exceed 50 V AC and 120 V DC or the value specified in the relevant product standard

Note 1 to entry: In this document, the voltage range is defined as above for the voltage tests in 7.2.2.2. For general concept of extra-low voltage, it is found in IEC 60050-195:2021, 195-05-24.

3.11.19**protective extra low voltage circuit****PELV circuit**

electrical circuit with the following characteristics:

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

Note 1 to entry: In this document, the PELV circuit is defined as above for the voltage tests in 7.2.2.2. For general concept of PELV system, it is found in IEC 60050-195:2021, 195-06-29.

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

electrical circuit with the following characteristics:

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

Note 1 to entry: In this document, the SELV circuit is defined as above for the voltage tests in 7.2.2. For general concept of SELV system, it is found in IEC 60050-195:2021, 195-06-28.

3.12 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	Reference to Clause 3 Terms and definitions
d_{xIN}	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	3.6.2
g	Number of sets of commutating groups between which I_{dN} is divided	3.6.8
h	Order of harmonic	3.10.6
I_d	Direct current (any defined value)	-
I_{dN}	Rated direct current	3.6.9
I_{dMN}	Rated continuous direct current (maximum value)	3.6.10
I_{dRMN}	Intermittent peak maximum direct current	3.6.12
I_{dSMN}	Peak maximum direct current	3.6.11
I_L	RMS current on line side (of converter or transformer if included)	-
I_{LN}	Rated value of I_L	3.6.5
I_{1LN}	RMS value of the fundamental component of I_{LN}	-
I_{hLN}	RMS value of harmonic order h of I_{LN}	-
I_{vN}	Rated value of current on valve side of transformer	3.6.6
p	Pulse number	3.5.10

Symbol	Quantity	Reference to Clause 3 Terms and definitions
P	Active power	-
P_{LN}	Active power on line side at rated load	-
q	Commutation number	3.5.9
Q_{1LN}	Reactive power on line side at rated load	-
R_{SC}	Relative short-circuit power	3.9.9
s	Number of series connected commutating groups	-
S_{com}	Short-circuit power calculated at the AC 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 the line side	3.6.7
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	3.7.3
$U_{d0\alpha}$	Value of U_{d0} with trigger delay angle α	3.7.4
U_{d00}	Real no-load direct voltage	3.7.5
U_{di}	Ideal no-load direct voltage	3.7.1
$U_{di\alpha}$	Controlled ideal no-load direct voltage	3.7.2
U_{dN}	Rated direct voltage	3.6.8
U_{dxN}	Total inductive direct voltage regulation at rated direct current	-
U_{hL}	RMS 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	3.6.3
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	3.6.4
X_{tN}	Inductive voltage drop of the transformer in per unit	-
α	Trigger delay angle	3.5.11
α_p	Inherent delay angle	3.5.13
β	Trigger advance angle	3.5.12
γ	Extinction angle	3.5.14

Symbol	Quantity	Reference to Clause 3 Terms and definitions
δ	Number of commutating groups commutating simultaneously per primary	-
λ	Power factor	3.7.13
μ	Angle of overlap (commutation angle)	3.5.5
ν	Deformation factor	3.7.15
φ_1	Displacement angle of the fundamental component of I_L	3.7.14

4 Operation of semiconductor power equipment and valve devices

4.1 Classification

4.1.1 Semiconductor converter

Semiconductor converters are classified as below.

a) Type of conversion and switching

- 1) AC to DC conversion (rectifier, identified as (power) rectification in IEC 60050-551:1998, 551-11-06);
- 2) DC to AC conversion (inverter, identified as (power) inversion in IEC 60050-551:1998, 551-11-07);
- 3) DC to DC conversion (direct or indirect DC converter, identified as DC (power) conversion in IEC 60050-551:1998, 551-11-09);
- 4) AC to AC conversion (direct or indirect AC converter, identified as AC (power) conversion in IEC 60050-551:1998, 551-11-08);
- 5) switching (periodic or non-periodic).

NOTE 1 Other similar terms are used, e.g. "DC/DC conversion" for DC conversion or "AC/AC converter" for AC converter.

b) Purpose of conversion

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

- 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 can 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 DC system

Converters connected to at least one DC 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 DC side is smoothed. The predominant internal impedance of a current stiff converter is high, while the predominant internal impedance of a voltage stiff converter is low. A thyristor converter is generally a current stiff converter.

For a converter connecting an AC system to a DC system, rectification implies a power flow from the AC to the DC 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 are 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), integrated gate-commutated thyristors (IGCT), power transistor, insulated gate bipolar transistor (IGBT)). 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 have to 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.

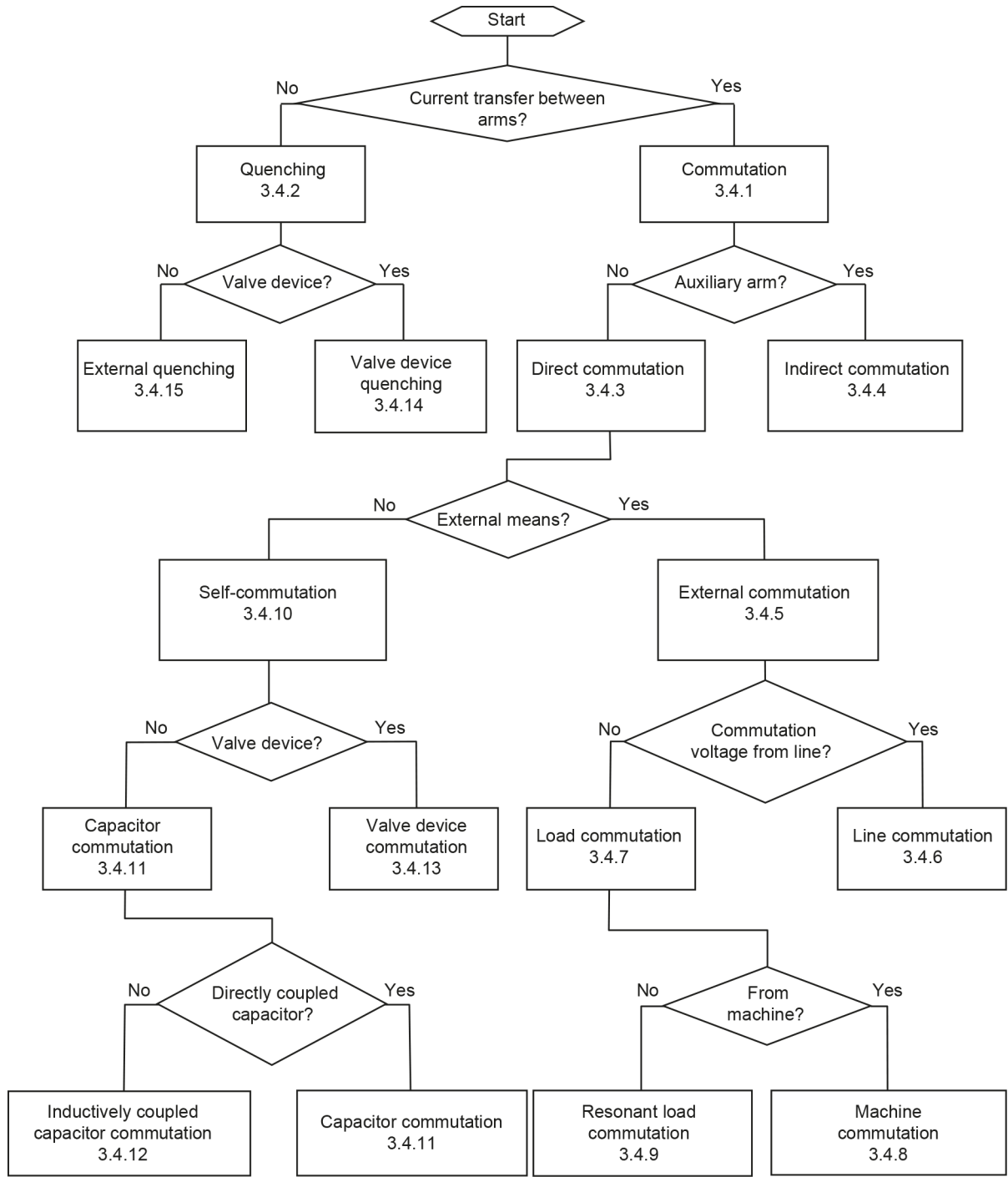
4.2 Basic operation of semiconductor converters

4.2.1 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

Figure 1 – Types of commutation

The commutation is characterized by the waveforms of voltage and current and by angles (see 3.5.5, 3.5.11, 3.5.12, 3.5.14). 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. Figure 2 a) and Figure 2 b) are examples for $p = 3$ and $p = 6$, respectively.

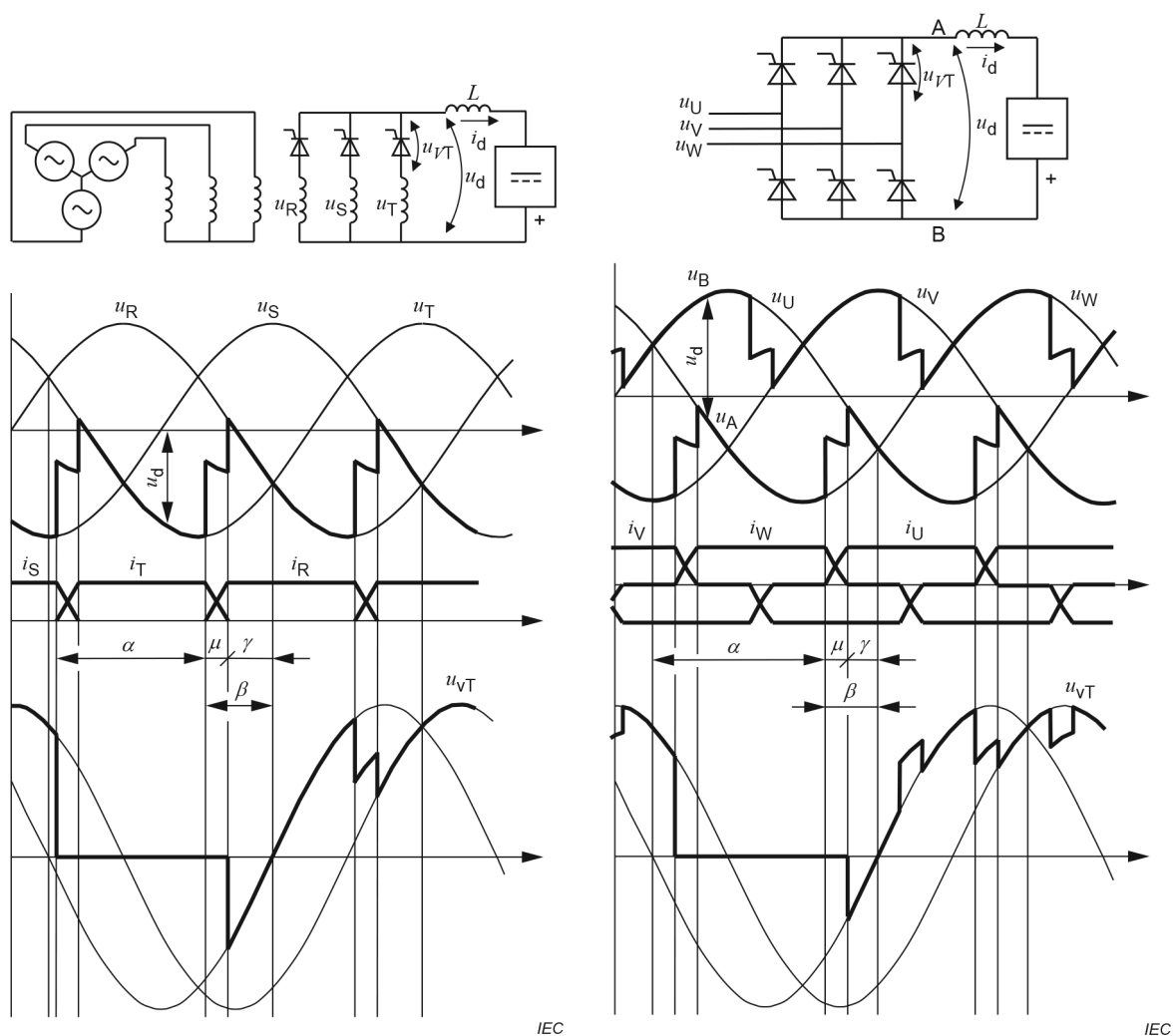


Figure 2 a) – Three phase star connection converter

Figure 2 b) – Three phase bridge converter

Figure 2 – Illustration of angles

4.2.2 Basic calculation factors for line commutated converters

4.2.2.1 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 Formula (1):

$$U_{di} = U_{v0} \times \sqrt{2} \times \frac{p}{\pi} \times \sin \frac{\pi}{p} \tag{1}$$

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:

$$U_{di\alpha} = U_{di} \times \cos \alpha \quad (2)$$

2) If the converter load is purely resistive

For $0 \leq \alpha \leq \frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{p}$:

$$U_{di\alpha} = U_{di} \times \cos \alpha \quad (3)$$

For $\frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{p} \leq \alpha \leq \frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{p}$:

$$U_{di\alpha} = U_{di} \times \frac{1 - \sin(\alpha - \pi/p)}{2 \sin(\pi/p)} \quad (4)$$

b) Non-uniform connection (half controllable)

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

4.2.2.2 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 DC voltage only depends on the DC 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. Two examples where this transition between voltage characteristics occurs are

- back e.m.f. loads in which the inductance of the DC circuit cannot maintain direct current over the entire period, and
- in the case of interphase transformer connection, when the direct current decreases below the critical value at which the interphase transformer becomes ineffective.

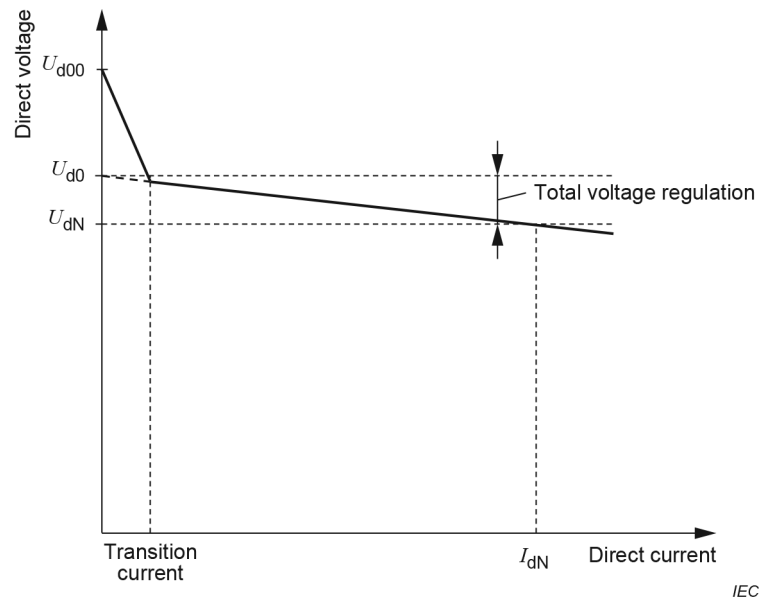


Figure 3 – Voltage regulation

4.2.3 Disturbances and fault conditions

4.2.3.1 Immunity level 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 is 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 1 Automatic resumption of service needs consideration of 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.

4.2.3.2 Disturbances and compatibility

For electromagnetic compatibility (EMC), the semiconductor converters shall comply with IEC 61000-6-1, IEC 61000-6-2 and IEC 61000-6-4 in general unless relevant product standards are provided. EMC standards for semiconductor converters are provided to some products as listed below:

- IEC 61204-3 for low-voltage switch mode power supplies;
- IEC 61800-3 for adjustable speed electrical power drive systems;
- IEC 62040-2 for uninterruptible power systems (UPS);
- IEC 62310-2 for static transfer systems (STS).

NOTE 1 This document 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 are distinguished between system-borne low-frequency disturbances and converter-generated disturbances.

a) System borne disturbances

Disturbances attributable to a number of causes external to the converter, 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 interharmonic 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 can 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 RMS value between consecutive steady-states.

NOTE 4 The listed disturbances are possibly produced by the converter under consideration or by other converters and the actual level changes 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 is possibly 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 letter 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 letter indicates the circulation method (refer to Table 5).

EXAMPLE 1 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 2 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 3 For direct cooling: AN/AF, converter with natural direct air cooling and possibilities for forced direct air cooling.

EXAMPLE 4 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 is 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 supplier’s 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) Altitude

Not higher than 1 000 m

c) 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).

d) 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 can 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;
- 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 DC 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; however, if the converter improves the disturbance values, the disturbance levels shall exclude the corresponding effects of the converter.

For different AC or DC connections, different immunity classes or special immunity levels may be specified. If no immunity class is specified, class B in Table 7 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 5.4 correspond to the practice established, before the publication of the IEC 61000-2 series setting up the compatibility levels.

NOTE 1 While the IEC 60146 series 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 can 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 61000-2-4:2002 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 61000-2-4:2002 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 61000-2-4:2002 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 for frequency and voltage amplitude, Table 8 for voltage unbalance and Table 9 for voltage waveform. Compatibility levels defined in IEC 61000-2-4:2002 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 AC voltage connections

Disturbance	Applicable values of IEC 61000-2-4:2002	Immunity class			Performance criteria ^a
		A	B	C	
Frequency tolerance					
Range (%)		±2	B2 = ±2 ^b B1 = ±1	±1	F
Rate of change (%/s)	–	±2	±1	±1	F
Voltage amplitude tolerance					
a) Steady state $\Delta U/U_N$ (%)		+10 to –10	+10 to –10	+10 to –5	F
Compatibility levels IEC 61000-2-4:2002 ^c	Table 1	+10 to –15	±10	±8	
b) Short time (0,5 to 30 cycles) up to rated values					
– Rectifier operation only (%)	–	±15	+15 to –10	+15 to –10	T
– Inverter operation (%)	–	±15	+15 to –10	+15 to –7,5	T
For overload conditions, other limits shall be specified separately.					
NOTE 1 Compatibility levels defined in IEC 61000-2-4:2002 are shown in italics for reference.					
NOTE 2 A decrease in frequency is assumed not to coincide with an increase in line voltage and vice versa.					
NOTE 3 Short-time AC voltage variations are not expected to occur more frequently than once every 2 h.					
^a For definition of the code, refer to Table 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.					
^b The compatibility level for industrial networks class 2, according to IEC 61000-2-4:2002, is ±1 %.					
^c Electromagnetic environment classes 3, 2, 1.					

Table 8 – Immunity levels to voltage unbalance for stiff AC voltage connections

Disturbance	Applicable values of IEC 61000-2-4:2002	Immunity class			Performance criteria ^a
		A	B	C	
Voltage unbalance factor U_{neg}/U_{pos}					
a) Steady state (%)		5	5	2	F
Compatibility levels IEC 61000-2-4:2002 ^b (over any 10 min)	Table 1	3	2	2	
b) Short time					
– Rectifier operation only (%)	–	8	5	3	T
– Inverter operation (%)	–	5	5	2	T
NOTE 1 Compatibility levels defined in IEC 61000-2-4:2002 are shown in italics for reference.					
NOTE 2 The higher values specified for short time can lead to, for example, excessive ripple on the DC side and uncharacteristic harmonics on the AC side.					
NOTE 3 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 Electromagnetic environment classes 3, 2, 1.					

Table 9 – Immunity levels to voltage waveform for stiff AC voltage connections

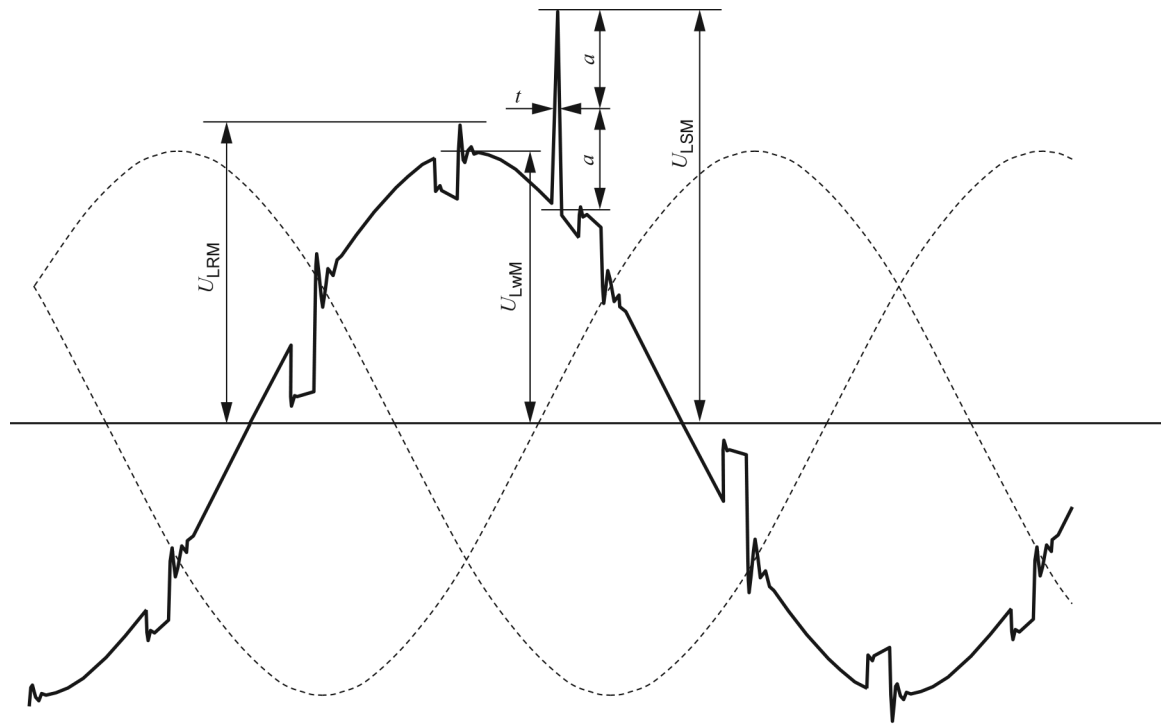
Disturbance	Applicable values of IEC 61000-2-4:2002	Immunity class			Performance criteria ^a
		A	B	C	
Voltage waveform					
a) total harmonic distortion THD (%)		25	10	5	F
Compatibility levels IEC 61000-2-4:2002 ^b	Table 5	10	8	5	
b) individual harmonic distortion					
steady-state odd (%)		8	6	3	F
even (%)		2	2	1	F
Compatibility levels IEC 61000-2-4:2002 ^b					
– order 5 (%)	Table 2	8	6	3	
– other odd orders excluding multiples of 3	Table 2	See IEC 61000-2-4:2002 Class 3	See IEC 61000-2-4:2002 Class 2	See IEC 61000-2-4:2002 Class 1	
– multiples of 3	Table 3				
– even orders	Table 4				
c) commutation notches (steady state)					
– amplitude (% of U_{LWM})	–	100	40	20	T
– area (% of $U_{LWM} \times$ degree)	–	625	250	125	T
NOTE 1 Compatibility levels defined in IEC 61000-2-4:2002 are shown in italics for reference.					
NOTE 2 The area of a notch is approximately constant for a given DC current and R_{SC} . The width and depth vary with the trigger delay angle (α).					
NOTE 3 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 Electromagnetic environment classes 3, 2, 1.					

5.4.2 Repetitive and non-repetitive transients

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

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

Item e) describes the duration of the non-repetitive transient voltage denoted by U_{LSM} in Figure 4. The duration is defined by the parameters "a" and "t" in the waveform. "a" shows 50 % of the amplitude of the non-repetitive voltage above the "sine wave", the sinusoidal part in the waveform. "t" is the width of the non-repetitive transient measured at "a" from the sinusoidal part as shown in Figure 4.



IEC

Figure 4 – AC voltage waveform

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

6 Power conversion equipment and assemblies

6.1 Electrical connections

a) 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 Clause 6:

- 1) converters without transformer;
- 2) 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 star (Y) and delta (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 60146-1-2:2019, 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 gives the line side fundamental to dc current factor I_{1L}/I_d .
- 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 parameter for inductive voltage regulation (see Formula (10)).
- 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 transformer guaranteed losses.
- Column 17 gives the transformer guaranteed short-circuit impedance.

a) Voltage ratios

The voltage ratios are:

$$\frac{U_{di}}{U_{v0}} \quad (6)$$

$$\frac{U_{iM}}{U_{di}} \quad (7)$$

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

b) Line side current factor

The line side current factor is the quotient of the RMS value I'_L of the current on the line side of the converter 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:

$$\frac{U_L}{U_{v0}} = 1 \quad (8)$$

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:

$$I_L = I'_L \times \frac{U_{V0}}{U_L} \quad (9)$$

c) Nominal inductive voltage regulation

The nominal inductive voltage regulation may be calculated from the value of X_t by means of Formula (10):

$$d_{xtN} = \frac{\delta \times q \times s}{2 \times \pi \times g} \times X_t \times \frac{I_{dN}}{U_{di}} \quad (10)$$

where

g is the number of sets of commutating groups between which I_{dN} is divided;

I_{dN} is the rated direct current;

q is the commutation number;

s is the number of commutating groups in series;

U_{di} is the ideal no-load direct voltage;

δ is the number of commutating groups commutating simultaneously per primary.

The parameter below used in Formula (10) is listed in Table 10, column 12.

$$\frac{\delta \times q \times s}{g} \quad (11)$$

X_t is the transformer commutating reactance measured according to IEC 61378-1:2011, 7.2.

U_{di} is calculated from U_{V0} with the parameter of Table 10, column 10. In case of the 6-pulse converter, $U_{di} = \frac{3\sqrt{2}}{\pi} U_{V0}$.

For details, see IEC TR 60146-1-2:2019, 4.7.2.4.

d) Transformer losses and short-circuit impedance

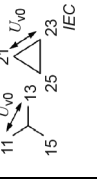
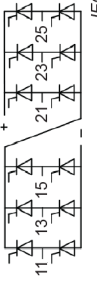
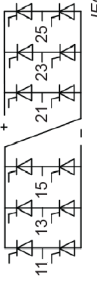
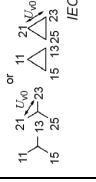
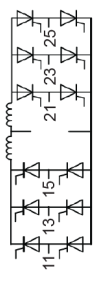
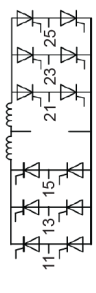
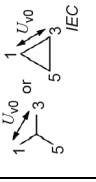
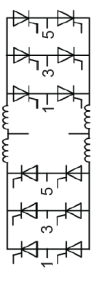
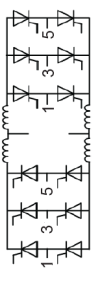
Table 10 gives the transformer guaranteed losses and the transformer guaranteed short-circuit impedance. For details, see IEC TR 60146-1-2:2019, 4.4.7 and 4.4.8, respectively. They are originally defined in the IEC 61378 series, the converter transformer standards.

e) 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 DC 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 fundamental current factor I'_{1L} / I_d	Line side current factor I'_L / I_d	Valve side current factor I_v / I_d	$\frac{U_{di}}{U_{V0}}$	$\frac{U_{IM}}{U_{di}}$	$\frac{\delta q/s}{g}$	Terminals to be short-circuited for short-circuit measurement ^d			Transformer guaranteed short-circuit impedance ^d	
	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	$0,450 \left(\frac{\sqrt{2}}{\pi} \right)$	$3,14 (\pi)$	2	-	-	-	-	-
Single converter, uniform double-way connections																
7				2	2	-	1	1	$0,900 \left(\frac{2\sqrt{2}}{\pi} \right)$	$1,57 \left(\frac{\pi}{2} \right)$	4	-	-	-	-	-
8				6	3	$\frac{\sqrt{6}}{\pi} (\approx 0,78)$	$0,816 \left(\frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} \right)$	0,816	$1,35 \left(\frac{3\sqrt{2}}{\pi} \right)$	$1,05 \left(\frac{\pi}{3} \right)$	6	1-3-5	-	-	P_A	e_{XA}
9				12	3	$\frac{\sqrt{6}}{\pi} (\approx 0,78)$	$0,789 \left(\frac{1+\sqrt{3}}{2\sqrt{3}} \right)$	0,408	$1,35 \left(\frac{3\sqrt{2}}{\pi} \right)$	$1,05 \left(\frac{\pi}{3} \right)$	3	11-13-15	21-23-25	11-13-15 and 21-23-25	P_C	e_{XA} and e_{XB}

No.	Transformer connection		Converter connection	p ^a	q ^a	Line side fundamental current factor ^{b,d} I'₁L / I _d	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}	∂q _s / g	Terminals to be short-circuited for short-circuit measurement ^d			Transformer guaranteed load losses ^e	Transformer guaranteed short-circuit impedance ^d
	Line side	Valve side										A	B	C		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
12				12	3	$2 \times \sqrt{6} / \pi$ (≈ 1,559)	$1,577 \left(\frac{1 + \sqrt{3}}{\sqrt{3}} \right)$	0,816 $\left(\frac{2}{\sqrt{3}} \right)$	2,70 $\left(\frac{6\sqrt{2}}{\pi} \right)$	0,524 $\left(\frac{\pi}{6} \right)$	12	11-13-15	21-23-25	11-13-15 and 21-23-25	P _C	ε _{xA} and ε _{xB}
18				See connection no. 8												
19				See connection no. 8												
For other connections, see IEC TR 60146-1-2.																
<p>a Refer to Table 1.</p> <p>b Refer to transformer primary.</p> <p>c Refer to transformer secondary.</p> <p>d The symbols ε_{xA} and ε_{xB} in column 17 show the transformer guaranteed short circuit impedance. ε_{xA} is the inductive short-circuit impedance obtained by the short-circuit measurement A in column 13. ε_{xB} is that obtained by the short-circuit measurement B in column 14. Refer to 4.4.8 of IEC TR 60146-1-2:2019.</p> <p>e IEC 61378-1:2011, Table 1, does not contain the information for the lines 1 and 7. Then, the cells which are not given relevant values are filled with hyphen "-". When the values are necessary, refer to the textbooks for the converter theory. Some information can be obtained from IEC TR 60146-1-2:2019, Annex C.</p>																

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 AC and DC 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.

NOTE The loss evaluation by calculation can be applied for the large converters which practically cannot be tested in the factory or in the laboratory. The loss calculation is performed in such cases based on the actual loss measurement of the assemblies or on the authorized calculation procedures in relevant product standards. A typical example is the HVDC converter, of which loss determination is specified in IEC 61803.

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, 6.2.2.2 and 6.2.2.3 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 is calculated in general. 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:

$$\text{Active power} \quad P = U_d \times I_d \quad (12)$$

$$\text{Fundamental apparent power} \quad S_1 = U_{di} \times I_d \quad (13)$$

$$\text{Displacement factor} \quad \cos \varphi_1 = P/S_1 \quad (14)$$

$$\text{Fundamental reactive power} \quad Q_1 = \sqrt{S_1^2 - P^2} \quad (15)$$

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 Formula (16) using losses in components P_r .

$$U_{dr} = \frac{P_r}{I_{dN}} \quad (16)$$

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

b) Inductive direct voltage regulation

The inductive voltage regulation including the effects from the reactances of the supply source and the feeder cable or line is calculated as below based on Formula (10).

$$d_{xtN} = \frac{\delta \times q \times s}{2 \times \pi \times g} \times X_{sum} \times \frac{I_{dN}}{I_{di}} \quad (17)$$

where

$X_{sum} = X_t + X'_L + X'_C$, the sum of the reactances below:

X_t is the commutation reactance of the converter transformer seen from the valve side;

$X'_L = \left(\frac{U_{v0}}{U_L}\right)^2 \times X_L$ is the reactance of the cable or the line seen from the valve side through the converter transformer;

$X'_C = \left(\frac{U_{v0}}{U_L}\right)^2 \times X_C$ is the reactance of the supply source seen from the valve side through the converter transformer.

For other symbols and parameters in Formula (17), refer to the explanations for Formula (10). For details, see IEC TR 60146-1-2:2019, 5.1.3.

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 star (Y) and the other from a delta (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 DC 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 General

In this document, the power frequency is taken as the fundamental frequency of the harmonics. For details, see Annex B.

6.3.1.2 Order of harmonics in line current and voltage

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

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

$$h = kp \pm 1 \quad k = \text{integer } (1\dots n) \quad (18)$$

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

$$f_h = h \times f_1 \quad (19)$$

subject to the mains frequency variations.

NOTE 1 Due to small errors in star (Y) and delta (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 can 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 can 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.

6.3.1.3 Amplification of harmonic currents on the line side

Power capacitors may be used for power factor compensation both of AC 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.

6.3.1.4 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:

$$f_{h,dc} = k \times p \times f_1 \quad k = \text{integer } (1\dots n) \quad (20)$$

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 DC output filter is added.

As a result of the harmonic content of the voltage on the DC side, the DC 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 line commutated 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 4.2.3.2, all aspects of electromagnetic compatibility (EMC) for certain semiconductor converters are discussed in dedicated standards.

The purchaser should 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 can have an influence on the actual electromagnetic compatibility (EMC) requirements.

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, should be in accordance with any instructions provided by the supplier and also publications by IEC TC 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 emission requirements applicable to equipment intended for use in residential environments, such as those specified in IEC 61000-6-3. Emission limits are given in the dedicated product EMC standards, see 4.2.3.2. Where no product EMC standard exists, the equipment should comply with the product family standard CISPR 11 or the relevant generic emission standard, such as IEC 61000-6-4 or IEC 61000-6-8.

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.

It is noted that this document will not take precedence over a specific product standard. Namely, considering the fact that the load characteristics vary application by application, requirements for a product shall be specified by its appropriate product standards where applicable. For example, requirements for adjustable speed motor drives in applications such as rolling mills, paper mills, mining hoists, etc. are given in IEC 61800-2 and IEC TR 61800-6.

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 needs to be designed for a maximum direct voltage higher than the rated direct voltage (for example, in the case of field excitation of DC 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, AC line voltage variation compensation. This can 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 AC systems subject to heavy fluctuations, with the recommendation 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 60050-151:2001, 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 may 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 may 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 RMS 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

6.5 is described assuming the line commutated converter applications, listed in Table 12, as examples where the loads have cyclic variation patterns.

It is noted that this document will not take precedence over a specific product standard. Then, in case where the load of a product has different characteristics from those assumed, appropriate product standards shall be applied.

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 is found in Table 11, the duty shall be specified based on the agreement between purchaser and supplier. The rated current may be the RMS 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 p.u. continuously 1,50 p.u. 1 min
III	1,00 p.u. continuously 1,50 p.u. 2 min 2,00 p.u. 10 s
IV	1,00 p.u. continuously 1,25 p.u. 2 h 2,00 p.u. 10 s
V	1,00 p.u. continuously 1,50 p.u. 2 h 2,00 p.u. 1 min
VI	1,00 p.u. continuously 1,50 p.u. 2 h 3,00 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.

The load conditions specified in Table 12 are less onerous than the rated current values specified in Table 12. 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 and corresponding current values 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	

Duty class	Most typical applications	Assumed typical load conditions for the duty class Load current in relation to the rated direct current																				
V	Medium traction substation and mining $I_d = 1,5$ p.u. (2 h)	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>I_d (p.u.)</th> <th>T (min)</th> <th>$I_{d,rms}$ (p.u.)^a</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0 h to 2 h</td> <td>1,3</td> <td>10</td> <td>1,36</td> </tr> <tr> <td>2 h to 10 h</td> <td>0,8</td> <td>15</td> <td>0,94</td> </tr> <tr> <td>10 h to 12 h</td> <td>1,3</td> <td>10</td> <td>1,36</td> </tr> <tr> <td>12 h to 24 h</td> <td>0,7</td> <td>30</td> <td>0,79</td> </tr> </tbody> </table>		I_d (p.u.)	T (min)	$I_{d,rms}$ (p.u.) ^a	0 h to 2 h	1,3	10	1,36	2 h to 10 h	0,8	15	0,94	10 h to 12 h	1,3	10	1,36	12 h to 24 h	0,7	30	0,79
	I_d (p.u.)	T (min)	$I_{d,rms}$ (p.u.) ^a																			
0 h to 2 h	1,3	10	1,36																			
2 h to 10 h	0,8	15	0,94																			
10 h to 12 h	1,3	10	1,36																			
12 h to 24 h	0,7	30	0,79																			
VI	Heavy traction substation $I_d = 1,5$ p.u. (2 h)	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>I_d (p.u.)</th> <th>T (min)</th> <th>$I_{d,rms}$ (p.u.)^a</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0 h to 2 h</td> <td>1,2</td> <td>5</td> <td>1,50</td> </tr> <tr> <td>2 h to 10 h</td> <td>0,8</td> <td>6</td> <td>1,26</td> </tr> <tr> <td>10 h to 12 h</td> <td>1,2</td> <td>5</td> <td>1,50</td> </tr> <tr> <td>12 h to 24 h</td> <td>0,7</td> <td>20</td> <td>0,93</td> </tr> </tbody> </table>		I_d (p.u.)	T (min)	$I_{d,rms}$ (p.u.) ^a	0 h to 2 h	1,2	5	1,50	2 h to 10 h	0,8	6	1,26	10 h to 12 h	1,2	5	1,50	12 h to 24 h	0,7	20	0,93
	I_d (p.u.)	T (min)	$I_{d,rms}$ (p.u.) ^a																			
0 h to 2 h	1,2	5	1,50																			
2 h to 10 h	0,8	6	1,26																			
10 h to 12 h	1,2	5	1,50																			
12 h to 24 h	0,7	20	0,93																			

^a $I_{d,rms}$ is the RMS 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 is different. For converter section of a double converter, see 3.3.10.

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 TR 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
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.

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 "DC";
- 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 "DC";
- 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 RMS short-circuit current of the power source;
- 16) the reference of this document.

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 document 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 document and/or those specified separately.

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 document 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 equipment 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 AC supply and test voltages shall be at rated frequency except for the insulation test voltage which may be DC or in the frequency range introduced in 7.2.2.3.

When the purchaser or their representative desires to witness factory tests, they 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:

- AC or DC voltage test to cover the impact of temporary 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 IEC 62477-1 or IEC 62477-2, unless the relevant product standards are provided.

The selection of routine tests and the corresponding test voltages shall be based on the requirement from IEC 62477-1 or IEC 62477-2, unless the relevant product standards are provided.

7.2.2 introduces the routine insulation tests. If any inconsistency is found with the IEC 62477 series, then the requirements in IEC 62477-1 or IEC 62477-2 shall take precedence.

For the relationship between the IEC 60146 series and the IEC 62477 series, see Annex B.

7.2.2 Routine insulation tests of power conversion equipment

7.2.2.1 AC or DC voltage test

If possible, an AC or DC 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 cover routine testing of basic, supplementary, double and reinforced insulation in addition to type testing of basic insulation (see definitions 3.11.12, 3.11.13, 3.11.14 and 3.11.15).

NOTE The withstand voltage of double or reinforced insulation is higher than 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.

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 DC 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 AC or DC 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 AC or DC 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.

Either the adjacent circuit or the PELV or SELV circuit may be earthed for this test.

NOTE 1 It is described above to test basic insulation between PELV and SELV circuits. For test of functional insulation between adjacent PELV or adjacent SELV circuits, see 7.2.2.1, third paragraph.

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 AC or DC voltage test

The voltage test shall be performed with a sinusoidal voltage of which frequency is in the range from 45 Hz to 65 Hz. If the circuit contains capacitors, the test may be performed with a DC voltage of a value equal to the peak value of the specified AC 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 the specified duration.

For the detailed requirements of the test procedures and test circuits, refer to IEC 61180:2016, Clauses 5 and 6.

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

7.2.2.4 Test voltages

AC or DC test voltages for equipment directly connected to low voltage mains are given in Table 14.

In Table 14, with U being the rated insulation voltage, for U between 0 V and 1 000 V, the AC test voltage equals $(U + 1\,200)$ V and the DC test voltage equals $\sqrt{2} \frac{3\sqrt{2}}{\pi} \times (U + 1\,200)$ V.

Table 14 – AC or DC test voltages for equipment directly connected to low voltage mains

Rated insulation voltage V (see 3.11.9)	Test voltages V	
	AC (RMS)	DC
≤ 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
Interpolation is permitted.		

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

For the test voltages in Table 15, the explanations are given below.

With U being the rated insulation voltage, for U between 1 000 V and 7 200 V, the AC test voltage equals $(2,7 \times U + 300)$ V and the DC test voltage equals $\sqrt{2} \frac{3\sqrt{2}}{\pi} \times (2,7 \times U + 300)$ V.

For U between 7 200 V and 36 000 V, the AC test voltage equals $(1,8 \times U + 7 200)$ V and the DC test voltage equals $\sqrt{2} \frac{3\sqrt{2}}{\pi} \times (1,8 \times U + 7 200)$ V.

Table 15 – AC or DC test voltages for equipment directly connected to high voltage mains

Rated insulation voltage V (see 3.11.9)	Test voltages V	
	AC (RMS)	DC
> 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
Interpolation is permitted.		

For equipment not directly connected to the mains, the AC test voltages are given in IEC 62477-1:2022, Table 29. Unless otherwise specified, the test voltage shall be agreed between purchaser and supplier. The principle should be to define AC test voltage with an RMS 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 DC 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 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.

7.2.3 Additional tests

7.2.3.1 Insulation resistance

One minute after the AC or DC 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 M Ω 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 specified in this document 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 AC line without a converter transformer, an impulse test may be performed in addition to the AC or DC 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 DC 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 AC 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 DC 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 AC voltage, superposed AC current, noise voltage or noise current on the DC side, if necessary, shall be specified separately.

NOTE DC ripple and AC unbalance of input or output of the equipment are noted in measurement.

7.3.6 Measurement of harmonic currents

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

Harmonic emission may be determined by either:

- direct measurement, or
- calculation by validated simulation.

For converters included in low voltage equipment of rated input current greater than 16 A and less than 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 AC rated current, or shall be agreed for higher values of rated current. In the latter case, it may be agreed to perform the measurement on the test premises of the manufacturer under defined conditions (example short-circuit on the DC side), or once installed at the customer site.

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, and
- 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 document.

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 may 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 may 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 AC power and DC 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 measurement shall be in accordance with the converter transformer standard IEC 61378:2011.

NOTE It is possible the transformer losses need to be corrected considering its temperature characteristics.

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 $\cos \varphi_1$ (see 3.7.14) in accordance with 6.2.3.

7.5 Auxiliary device and control equipment

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 may 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 National regulations relating to the prevention of radio interference are likely to restrict the ability to perform certain immunity tests outside an EMC shielded room.

NOTE 2 Effective immunity tests usually include tests on auxiliary and control ports as well as on the main power port.

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. The separate specification may be constituted by national regulations.

NOTE 3 The disturbances from a complete equipment can differ from the disturbances produced by functional units. For example, the radio-frequency disturbances produced by a variable speed drive system including converter and motor are very different to the disturbances produced by a converter on its own.

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 can 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

Subclause	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 shall be the stricter of the values below ^a 1) value corresponding to +0,2 p.u. of the losses 2) –0,002 p.u. (-0,2 %) Namely, efficiency shall be at least $[x - 0,2]$ %, where x is the guaranteed value.
7.4.3	Calculated displacement factor	$-0,2 \times (1 - \cos \varphi_1)$
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	$\pm 0,1 U_{dN}$
<p>^a With the readings of loss measurements: P for the output power and P_L for the losses, the first criterion provides a condition to the tolerance of the losses ΔP_L.</p> $\Delta P_L < 0,2 P_L$ <p>The efficiency η is given by</p> $\eta = P / (P + P_L)$ <p>The tolerance for the efficiency $\Delta \eta$, corresponding to the tolerance ΔP_L is approximately given by</p> $\Delta \eta = [(P_L + \Delta P_L) / (P + P_L + \Delta P_L)] - [(P_L) / (P + P_L)] \approx [\Delta P_L / P]$ <p>Therefore, the second criterion for the efficiency tolerance provides the other condition to ΔP_L.</p> $\Delta P_L \approx [\Delta \eta \times P] < 0,002 P$ <p>In summary, for efficiency calculation, tolerance of the losses ΔP_L complies with the stricter of the following two conditions:</p> $\Delta P_L < 0,2 P_L$ $\Delta P_L < 0,002 P$ <p>For information, the first criterion implies the efficiency tolerance as approximately $0,2 P_L / P$.</p> <p>^b For equipment provided with automatic control of an output quantity, the tolerance on the controlled quantity shall be specified.</p>		

Annex A (normative)

Harmonics and interharmonics

A.1 Non-sinusoidal voltages and currents

The line-side current of a line commutated converter is usually similar to a train of trapezoids as shown in Figure 2. The repetition frequency of the current waveshape is equal to the frequency of the line voltage for commutation. The line voltage for commutation can be distorted such as is shown in Figure 4 unless appropriate countermeasures are taken. The repetition frequency of the distorted voltage waveshape is also equal to the frequency of the line voltage for commutation.

Thus, the current waveshape and the voltage waveshape include the harmonic components, the frequency of which are integer multiples of the frequency of the line voltage for commutation as indicated by Formula (19).

However, when the harmonics are measured in real installations, harmonic components with non-integer multiple of the fundamental frequency can be observed. They are called interharmonics. For harmonic measurement, refer to IEC 61000-4-7.

A.2 Two approaches for definitions related to harmonics

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" (IEC 61000-2-2:2002, 3.2.1, and IEC 61000-2-4:2002, 3.2.1).

For the purposes of this document, 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.

The definition above is practically reasonable as described below.

In many cases, the line commutated converters are connected to the mains power supply. The commutation voltage is fed by the mains. The frequency of the commutation voltage is the power frequency of the mains. In cases where the line commutated converters provide the power to the loads or to the machines, the frequency of the commutation voltage is determined by the converter. In these cases, the frequency of the commutation voltage is also the power frequency of the feeding lines to the loads or to the machines. As explained in Clause A.1, the frequencies of the harmonic components are the integer multiple of the commutation voltage. Thus, the frequencies of the harmonic components are integer multiple of the power frequency.

The second approach defines the harmonic components as the result of the Fourier analysis; frequencies are therefore a consequence (IEC 60050-551:1998, 551-20-01 and 551-20-02). However, this approach is not superior to the first approach from practical viewpoint.

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 TC 77 and its subcommittees. All EMC considerations are developed in dedicated standards as mentioned in 4.2.3.2. 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 is not possibly available. In such case, the approach below is taken for example.

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.

Where agreement is necessary with the purchaser to finalize the requirements, the above information is 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 TS 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 TR 61000-3-6: distorting loads in MV and HV power systems.

NOTE 1 IEC 61000-3-2, IEC TS 61000-3-4 and IEC 61000-3-12 apply only to equipment intended to be connected to public low voltage AC distribution systems. This is stated in the scopes of these standards.

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 TS 61000-3-5: low-voltage equipment with input current greater than 75 A;
- IEC 61000-3-11: low-voltage equipment with input current ≤ 75 A (restricted conditions of use);
- IEC TR 61000-3-7: fluctuating loads in MV and HV power systems.

NOTE 2 IEC 61000-3-3, IEC TS 61000-3-5 and IEC 61000-3-11 apply only to equipment intended to be connected to public low voltage AC distribution systems. This is stated in the scopes of these standards.

Guidance for different applications is also provided in the dedicated EMC product standards (see 4.2.3.2).

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 document, 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 point of coupling. The harmonic operating characteristics of the converter depend on the network characteristics at the point of coupling.

For a given installation, the agreed power S_{ST} defines the equivalent reference current I_{TN} (total RMS value):

$$S_{ST} = U_N \times I_{TN} \times \sqrt{3} \quad (\text{B.1})$$

where

U_N is the nominal (or declared) line-to-line voltage at the PCC;

I_{TN} is the reference current.

NOTE 1 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 2 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_A (in-plant point of coupling) defines the equivalent reference current I_{TNA} (total RMS value) for the part A of the installation fed from IPC_A :

$$S_{ITA} = U_N \times I_{TNA} \times \sqrt{3} \quad (\text{B.2})$$

where

U_N is the rated line-to-line voltage at the IPC_A .

NOTE 3 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_{SCA} defined at the IPC_A . This is the responsibility of those in charge of internal power distribution.

B.2.2 Short-circuit ratio of the source in the installation

R_{SI} is the ratio of the short-circuit power of the source at a defined point of coupling to the rated apparent power of the installation, or of a part of the installation, supplied from this point of coupling (see Figure B.1):

$$R_{SIA} = S_{SCA} / S_{ITA} = I_{SCA} / I_{TNA} \quad (B.3)$$

The subscript "A" indicates the considered part of the installation.

NOTE 1 3.9.9 defines 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 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.

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 in-plant point of coupling (IPC_A) of the part of the installation to its rated current.

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 2 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.

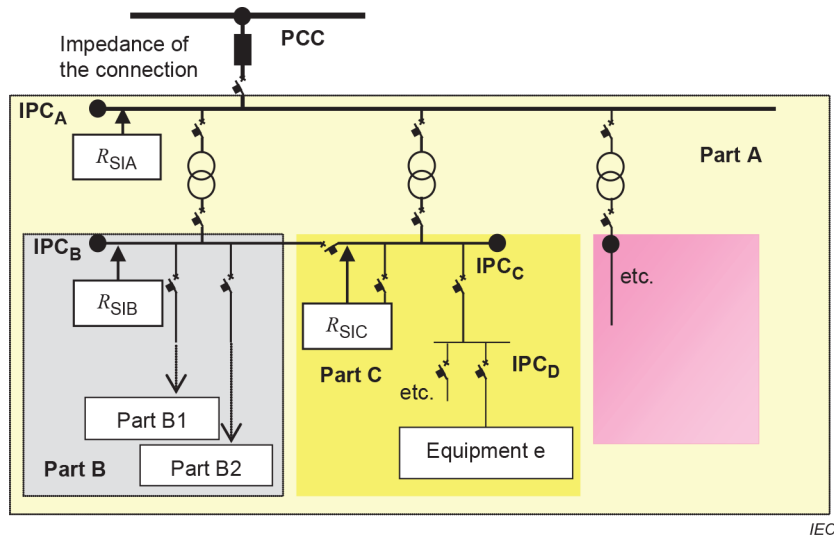


Figure B.1 – PCC, IPC, installation current ratio and R_{SI}

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 TS 61000-3-4 or IEC 61000-3-12):

$$R_{SC} = S_{SC} / S_{Ne} = I_{SC} / I_{LNe} \tag{B.4}$$

NOTE 1 With the example of Figure B.2, R_{SC} can be expressed as a function of the relevant R_{SI} . The piece of equipment (e) is fed from a bus bar (IPC_D), 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:

$$R_{S1e} = S_{SCD} / S_{ITe} = I_{SCD} / I_{LNe} = (I_{SCD} / I_{SC}) \times (I_{SC} / I_{LNe}) = (S_{SCD} / S_{SC}) \times (R_{SCe}) \tag{B.5}$$

or

$$R_{SCe} = (S_{SC} / S_{SCD}) \times R_{S1e} \tag{B.6}$$

This definition is suitable, in the application of IEC TS 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.

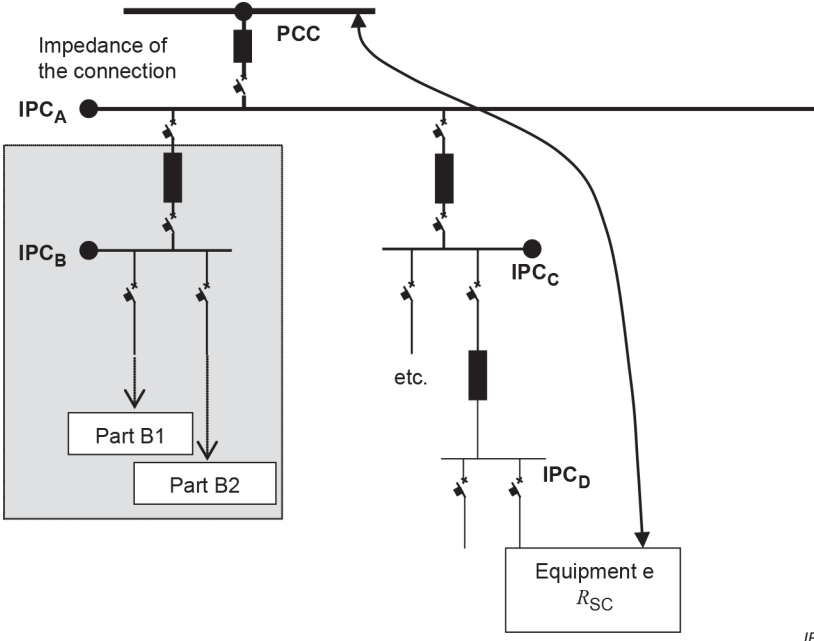


Figure B.2 – PCC, IPC, installation current ratio and R_{SC}

NOTE 2 IEC TR 61000-2-6:1995, Clause A.2, gives another definition of R_{SC} for rectifiers referring to the DC current.

Annex C (informative)

Introduction to safety standards for power conversion equipment

C.1 General

Annex C briefly introduces the safety standards of the IEC 62477 series for power electronics converter systems (PECS) and equipment. Annex C also clarifies that this edition of IEC 60146-1-1 was revised considering good coordination with the IEC 62477 series.

NOTE PECS is defined in IEC 62477-1. Annex C interprets PCE as equivalent to power conversion equipment.

C.2 Brief introduction to IEC 62477 series with reference to IEC 60146 series

IEC 62477-1 and IEC 62477-2 cover the safety requirements for the power conversion equipment while the IEC 60146-1-1 and IEC TR 60146-1-2 mainly cover the basic performance requirement. The IEC 62477 series is in the same position as the IEC 60146 series, which can be applied to the converters not covered by product standards.

C.3 Purposes or intentions of IEC 60146 series and IEC 62477 series

The purposes or intentions of the standards are listed in Table C.1. Some additional explanations are added in parentheses in Table C.1 for making the differences clear between two series.

From Table C.1, it is pointed out that the IEC 60146 series focus on basic requirements to operations and performances of the power conversion equipment while the IEC 62477 series focus on the safety requirements.

Table C.1 – Comparison on purposes or intentions between two standards

IEC 60146-1-1	IEC 62477-1
To establish basic terms and definitions (for operations and performance of the line-commutated converters)	To establish common terminology for safety aspects relating to PECS
To specify basic performance requirements	To establish minimum requirements for the coordination of safety aspects of interrelated parts within PECS
To specify test requirements (for basic operations and performances) of the line commutated converters	To establish common basis for minimum safety requirements for the PEC portion of products that contain PEC
To specify service conditions which influences the basis of ratings	To specify requirements to reduce safety risks during use and operation and during service and maintenance where specifically stated

The requirements related to safety were deleted from this revision of IEC 60146-1-1. This edition of IEC 60146-1-1 refers to the IEC 62477 series for relevant guidance on safety.

Careful consideration has been made for test requirements during revision of IEC 60146-1-1. The test requirements related to safety have been deleted and now IEC 60146-1-1 only includes the test requirement for basic operations and performances of the power electronics converter.

IEC 60146-1-1 also considers that the power electronics products covered by this edition comply with fundamental IEC standards like IEC 60364-1 or IEC 60529.

Bibliography

IEC 60050-131, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 131: Circuit theory*, available at www.electropedia.org

IEC 60050-151, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 151: Electrical and magnetic devices*, available at www.electropedia.org

IEC 60050-161, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 161: Electromagnetic compatibility*, available at www.electropedia.org

IEC 60050-195, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 195: Earthing and protection against electric shock*, available at www.electropedia.org

IEC 60050-321, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 321: Instrument transformers*, available at www.electropedia.org

IEC 60050-441, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 441: Switchgear, controlgear and fuses*, available at www.electropedia.org

IEC 60050-521, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 521: Semiconductor devices and integrated circuits*, available at www.electropedia.org

IEC 60050-601, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 601: Generation, transmission and distribution of electricity – General*, available at www.electropedia.org

IEC 60050-826, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 826: Electrical installations*, available at www.electropedia.org

IEC 60071-1, *Insulation co-ordination – Part 1: Definitions, principles and rules*

IEC 60071-2, *Insulation co-ordination – Part 2: Application guidelines*

IEC 60076-1, *Power transformers – Part 1: General*

IEC TR 60146-1-2:2019, *Semiconductor converters – General requirements and line commutated converters – Part 1-2: Application guidelines*

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

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 TR 60664-2-1, *Insulation coordination for equipment within low-voltage systems – Part 2-1: Application guide – Explanation of the application of the IEC 60664 series, dimensioning examples and dielectric testing*

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 TR 60725, *Consideration of reference impedances and public supply network impedances for use in determining the disturbance characteristics of electrical equipment having a rated current ≤ 75 A per phase*

IEC 60747-1, *Semiconductor devices – Part 1: General*

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 TR 61000-2-6:1995, *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 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 TS 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 TS 61000-3-5, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 3-5: Limits – Limitation of voltage fluctuations and flicker in low-voltage power supply systems for equipment with rated current greater than 75 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 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 61000-6-3:2020, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 6-3: Generic standards – Emission standard for equipment in residential environments*

IEC 61000-6-5, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 6-5: Generic standards – Immunity for equipment used in power station and substation environment*

IEC 61000-6-8, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 6-8: Generic standards – Emission standard for professional equipment in commercial and light-industrial locations*

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

IEC 61204-3:2016, *Low-voltage switch mode power supplies – Part 3: Electromagnetic compatibility (EMC)*

IEC 61287-1, *Railway applications – Power converters installed on board rolling stock – Part 1: Characteristics and test methods*

IEC TS 61287-2, *Power converters installed on board railway rolling stock – Part 2: Additional technical information*

IEC 61439-1, *Low-voltage switchgear and controlgear assemblies – Part 1: General rules*

IEC 61800-3:2022, *Adjustable speed electrical power drive systems – Part 3: EMC requirements and specific test methods for PDS and machine tools*

IEC TR 61800-6, *Adjustable speed electrical power drive systems – Part 6: Guide for determination of types of load duty and corresponding current ratings*

IEC 61803:2020, *Determination of power losses in high-voltage direct current (HVDC) converter stations with line-commutated converters*

IEC 62040-2:2016, *Uninterruptible power systems (UPS) – Part 2: Electromagnetic compatibility (EMC) requirements*

IEC 62068, *Electrical insulating materials and systems – General method of evaluation of electrical endurance under repetitive voltage impulses*

IEC 62310-2:2006, *Static transfer systems (STS) – Part 2: Electromagnetic compatibility (EMC) requirements*

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

IEC/IEEE 60076-57-129, *Power transformers – Part 57-129: Transformers for HVDC applications*

IEEE 519, *IEEE Recommended practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems*

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

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	91
INTRODUCTION.....	93
1 Domaine d'application	94
2 Références normatives	94
3 Termes et définitions	96
3.1 Dispositifs à semiconducteurs et combinaisons.....	96
3.2 Bras et connexions	100
3.3 Commandabilité des bras de convertisseurs et quadrants de fonctionnement (côté courant continu)	102
3.4 Commutation, extinction et circuits de commutation	103
3.5 Caractéristiques de commutation	105
3.6 Valeurs assignées.....	108
3.7 Tensions, courants et facteurs spécifiques.....	111
3.8 Refroidissement.....	114
3.9 Tolérances relatives aux conditions de service et compatibilité électromagnétique	115
3.10 Distorsion harmonique	116
3.11 Définitions relatives à la coordination de l'isolement	122
3.12 Principaux symboles littéraux et indices	125
4 Fonctionnement des équipements de conversion à semiconducteurs et des valves	127
4.1 Classification	127
4.1.1 Convertisseur à semiconducteurs	127
4.1.2 Valves à semiconducteurs	129
4.2 Fonctionnement de base des convertisseurs à semiconducteurs.....	129
4.2.1 Commutation	129
4.2.2 Facteurs de calcul de base pour les convertisseurs commutés par le réseau	131
4.2.3 Perturbations et conditions de panne	133
5 Conditions de service	135
5.1 Code d'identification du mode de refroidissement	135
5.2 Conditions d'environnement.....	136
5.2.1 Circulation de l'air ambiant	136
5.2.2 Conditions de service normales – Températures.....	136
5.2.3 Autres conditions de service normales.....	136
5.2.4 Conditions de service non usuelles.....	137
5.3 Caractéristiques de charge	137
5.4 Tolérances relatives aux conditions de service	138
5.4.1 Conditions de service en régime permanent et temporaire.....	138
5.4.2 Transitoires répétitifs et non répétitifs.....	141
6 Équipements et ensembles de conversion de puissance.....	142
6.1 Raccordements électriques	142
6.2 Facteurs de calcul.....	142
6.2.1 Variables essentielles	142
6.2.2 Pertes et rendement	147
6.2.3 Facteur de puissance	148
6.2.4 Variation de tension.....	149
6.3 Compatibilité électromagnétique	150

6.3.1	Harmoniques	150
6.3.2	Autres aspects de la CEM	151
6.4	Valeurs assignées.....	152
6.4.1	Généralités	152
6.4.2	Valeur assignée de la tension de sortie	152
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 pour les convertisseurs doubles.....	157
6.6	Marquages.....	157
6.6.1	Généralités	157
6.6.2	Plaque signalétique	157
7	Essais des ensembles de valves et des équipements de conversion de puissance	158
7.1	Généralités	158
7.1.1	Méthodes d'essai.....	158
7.1.2	Nature des essais	159
7.1.3	Exécution des essais	159
7.2	Essais d'isolement	160
7.2.1	Généralités	160
7.2.2	Essais individuels de série portant sur l'isolement des équipements de conversion de puissance	161
7.2.3	Essais supplémentaires	164
7.3	Essai de fonctionnement.....	165
7.3.1	Essai à faible charge et essai de fonctionnement.....	165
7.3.2	Essai au courant assigné.....	165
7.3.3	Essai d'aptitude aux surcharges	166
7.3.4	Mesure de la régulation de tension propre	166
7.3.5	Mesure de la tension et du courant d'ondulation	166
7.3.6	Mesure des courants harmoniques	166
7.4	Pertes, température et facteur de puissance	167
7.4.1	Détermination des pertes de puissance dans les ensembles et les équipements	167
7.4.2	Essai d'échauffement	168
7.4.3	Mesures du facteur de puissance	168
7.5	Dispositifs auxiliaires et équipement de commande	168
7.5.1	Vérification des dispositifs auxiliaires	168
7.5.2	Vérification des propriétés de l'équipement de commande.....	169
7.5.3	Vérification des dispositifs de protection	169
7.6	Essais de CEM	169
7.7	Mesure du bruit audible et essais supplémentaires	170
7.8	Tolérances.....	170
Annexe A (normative)	Harmoniques et interharmoniques	172
A.1	Tensions et courants non sinusoïdaux	172
A.2	Deux approches pour les définitions relatives aux harmoniques.....	172
Annexe B (informative)	Environnement électrique – Rapport de court-circuit.....	173
B.1	Spécification de l'environnement électrique	173
B.2	Point de raccordement du convertisseur	174
B.2.1	Systèmes et installations	174

B.2.2	Rapport de court-circuit de la source dans l'installation	175
B.2.3	Rapport de court-circuit	176
Annexe C (informative)	Introduction aux normes de sécurité relatives aux équipements de conversion de puissance	178
C.1	Généralités	178
C.2	Brève introduction au positionnement de la série IEC 62477 par rapport à la série IEC 60146	178
C.3	Finalités ou objectifs de la série IEC 60146 et de la série IEC 62477	178
Bibliographie	180
Figure 1	– Types de commutations	130
Figure 2	– Exemples d'angles	131
Figure 3	– Variation de tension	133
Figure 4	– Forme d'onde de tension alternative	141
Figure B.1	– PCC, IPC, rapports de courant de l'installation et R_{SI}	176
Figure B.2	– PCC, IPC, rapports de courant de l'installation et R_{SC}	177
Tableau 1	– Liste des principaux indices.....	125
Tableau 2	– Symboles	126
Tableau 3	– Critères de performances	133
Tableau 4	– Milieu de refroidissement ou fluide réfrigérant	135
Tableau 5	– Mode de circulation	135
Tableau 6	– Limite de température du milieu de refroidissement applicable aux équipements en intérieur	136
Tableau 7	– Niveaux d'immunité en fonction de la fréquence et de l'amplitude de tension pour les connexions à tension alternative rigide.....	139
Tableau 8	– Niveaux d'immunité en fonction du déséquilibre de tension pour les connexions à tension alternative rigide	140
Tableau 9	– Niveaux d'immunité en fonction de la forme d'onde de tension pour les connexions à tension alternative rigide	140
Tableau 10	– Montages et facteurs de calcul	145
Tableau 11	– Classes de service normales	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 alternatives ou continues applicables aux équipements directement raccordés au réseau basse tension.....	163
Tableau 15	– Tensions d'essai alternatives ou continues applicables aux équipements directement raccordés au réseau haute tension	164
Tableau 16	– Tolérances	171
Tableau C.1	– Comparaison des finalités ou objectifs entre deux normes	178

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

L'IEC 60146-1-1 a été établie par le comité d'études 22 de l'IEC: Systèmes et équipements électroniques de puissance. Il s'agit d'une Norme internationale.

Cette cinquième édition annule et remplace la quatrième édition parue en 2009. Cette cinquième édition constitue une révision technique.

Cette cinquième édition introduit quatre modifications principales:

- a) réédition de l'ensemble de la norme conformément aux directives en vigueur;
- b) suppression des descriptions relatives à la sécurité, pour prendre en compte la coordination avec la série IEC 62477;
- c) modifications des méthodes de calcul de la variation inductive de tension;
- d) modifications pour prendre en compte la coordination avec la série IEC 61378.

Le texte de cette Norme internationale est issu des documents suivants:

Projet	Rapport de vote
22/374/FDIS	22/378/RVD

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

La langue employée pour l'élaboration de cette Norme internationale est l'anglais.

Ce document a été rédigé selon les Directives ISO/IEC, Partie 2, il a été développé selon les Directives ISO/IEC, Partie 1 et les Directives ISO/IEC, Supplément IEC, disponibles sous www.iec.ch/members_experts/refdocs. Les principaux types de documents développés par l'IEC sont décrits plus en détail sous www.iec.ch/publications.

Une liste de toutes les parties de la série IEC 60146, publiées sous le titre général *Convertisseurs à semiconducteurs – Exigences générales et convertisseurs commutés par le réseau*, se trouve sur le site Web de l'IEC.

Le comité a décidé que le contenu de ce document ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site Web de l'IEC sous webstore.iec.ch dans les données relatives au document recherché. À cette date, le document sera

- reconduit,
- supprimé, ou
- révisé.

IMPORTANT – Le logo "colour inside" qui se trouve sur la page de couverture de ce document indique qu'elle contient des couleurs qui sont considérées comme utiles à une bonne compréhension de son contenu. Les utilisateurs devraient, par conséquent, imprimer cette publication en utilisant une imprimante couleur.

INTRODUCTION

Les principaux objectifs de la série IEC 60146-1 sont les suivants.

IEC 60146-1-1, Spécification des exigences de base:

- stipuler les termes de base et leurs définitions;
- spécifier les conditions de service qui ont une influence sur le dimensionnement;
- spécifier les exigences d'essai applicables aux convertisseurs et ensembles électroniques de puissance, ainsi qu'aux convertisseurs normaux (pour les convertisseurs spéciaux, voir l'IEC TR 60146-1-2);
- spécifier les exigences de fonctionnement de base;
- fournir les exigences d'emploi applicables aux convertisseurs de puissance à semiconducteurs.

IEC TR 60146-1-2, Lignes directrices d'application:

- apporter des informations supplémentaires relatives aux conditions d'essai et aux composants (par exemple: valves à semiconducteurs), lorsque ces informations sont exigées pour leur utilisation dans les convertisseurs de puissance à semiconducteurs, pour compléter ou modifier les normes existantes;
- fournir les références utiles, les coefficients de calcul, les formules et les diagrammes utilisés dans la pratique des convertisseurs de puissance.

CONVERTISSEURS À SEMICONDUCTEURS – EXIGENCES GÉNÉRALES ET CONVERTISSEURS COMMUTÉS PAR LE RÉSEAU –

Partie 1-1: Spécification des exigences de base

1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 60146 spécifie les exigences relatives aux caractéristiques de fonctionnement de tous les convertisseurs de puissance à semiconducteurs, ainsi que des commutateurs de puissance à semiconducteurs utilisant des valves électroniques, commandables et/ou non commandables.

Les valves électroniques comprennent principalement des dispositifs à semiconducteurs, non commandables (c'est-à-dire des diodes de redressement) ou commandables (c'est-à-dire des thyristors, triacs, thyristors blocables 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 présumés être utilisés en mode commuté.

Le présent document est prévu en premier lieu pour spécifier les exigences de base applicables aux convertisseurs en général, ainsi que les exigences applicables aux convertisseurs commutés par le réseau, pour la conversion de puissance alternative en puissance continue ou vice versa. Certaines parties du présent document s'appliquent également à d'autres types de convertisseurs électroniques de puissance, sous réserve qu'il n'existe pas de normes de produit 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 à courant continu), voire englobent diverses propriétés spécifiques (par exemple convertisseurs directs en courant continu pour matériel roulant à traction électrique).

Le présent document s'applique à tous les convertisseurs de puissance non couverts par une norme de produit spécifique, ou si ladite norme ne couvre pas des caractéristiques particulières. Généralement, les normes de produit spécifiques aux convertisseurs de puissance font référence au présent document.

NOTE 1 Le présent document n'est pas destiné à définir des exigences de CEM. Il couvre tous les phénomènes et introduit par conséquent des références aux normes spécifiques applicables conformément à leur domaine d'application.

NOTE 2 Pour les informations relatives aux transformateurs de conversion, relatives au présent document, voir l'IEC 61378-1.

NOTE 3 Tous les termes cités dans l'Article 3 ne sont pas nécessairement utilisés dans le présent document. Ils sont toutefois nécessaires pour établir une compréhension commune de l'application des convertisseurs à semiconducteurs.

2 Références normatives

Les documents suivants sont cités dans le texte de sorte qu'ils constituent, pour tout ou partie de leur contenu, des exigences 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).

IEC 60050-551:1998, *Vocabulaire Électrotechnique International – Partie 551: Électronique de puissance*, disponible à l'adresse www.electropedia.org

IEC 60050-551-20:2001, *Vocabulaire Électrotechnique International – Partie 551-20: Électronique de puissance – Analyse harmonique*, disponible à l'adresse www.electropedia.org

IEC 60664-1:2020, *Coordination de l'isolement des matériels dans les réseaux d'énergie électrique à basse tension – Partie 1: Principes, exigences et essais*

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

IEC 61000-3-2:2018, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 3-2: Limites – Limites pour les émissions de courant harmonique (courant appelé par les appareils ≤ 16 A par phase)*

IEC 61000-3-12:2011, *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*

IEC 61000-4-7:2002, *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*

IEC 61000-6-1:2016, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 6-1: Normes génériques – Norme d'immunité pour les environnements résidentiels, commerciaux et de l'industrie légère*

IEC 61000-6-2:2016, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 6-2: Normes génériques – Norme d'immunité pour les environnements industriels*

IEC 61000-6-4:2018, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 6-4: Normes génériques – Norme sur l'émission pour les environnements industriels*

IEC 61378-1:2011, *Transformateurs de conversion – Partie 1: Transformateurs pour applications industrielles*

IEC 62477-1:2022, *Exigences de sécurité applicables aux systèmes et matériels électroniques de conversion de puissance – Partie 1: Généralités*

IEC 62477-2:2018, *Exigences de sécurité applicables aux systèmes et matériels électroniques de conversion de puissance – Partie 2: Convertisseurs électroniques de puissance entre 1 000 V en courant alternatif ou 1 500 V en courant continu et 36 kV en courant alternatif ou 54 kV en courant continu*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et les définitions de l'IEC 60050-551, l'IEC 60050-551-20, l'IEC 60664-1 ainsi que les suivants s'appliquent.

L'ISO et l'IEC tiennent à jour des bases de données terminologiques destinées à être utilisées en normalisation, consultables aux adresses suivantes:

- ISO Online browsing platform: disponible à l'adresse <https://www.iso.org/obp>
- IEC Electropedia: disponible à l'adresse <https://www.electropedia.org>

NOTE La méthode adoptée est la suivante:

- lorsqu'une définition existante de l'IEC 60050 nécessite de plus amples précisions ou des informations supplémentaires, le titre, la référence et le texte ajouté sont fournis;
- des explications et des figures sont fournies en 4.2;
- les termes associés aux défauts et défaillances de convertisseurs sont définis dans l'IEC TR 60146-1-2.

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

[SOURCE: IEC 60050-151:2001, 151-13-63]

3.1.2

interrupteur électronique de puissance

interrupteur électronique

ensemble fonctionnel comprenant au moins une valve électronique commandable, assurant la commande (ouverture et fermeture) électronique d'un circuit de puissance

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-13-01]

3.1.3

interrupteur à semiconducteurs

interrupteur électronique de puissance comportant des valves électroniques à semiconducteurs

Note 1 à l'article: 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.

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-13-05]

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

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-14-04]

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

Note 1 à l'article: 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 à l'article: 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".

[SOURCE: IEC 60050-521:2002, 521-04-61, modifié – La Note 2 à l'article a été ajoutée]

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

[SOURCE: IEC 60050-521:2002, 521-04-63]

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

[SOURCE: IEC 6005-521:2002, 521-04-65]

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 principale

[SOURCE: IEC 60050-521:2002, 521-04-67]

3.1.9

thyristor blocable

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

Note 1 à l'article: Le thyristor à blocage par la gâchette (GTO, Gate Turn-Off thyristor) et le thyristor intégré commuté par la gâchette (IGCT, Integrated Gate-Commutated Thyristor) sont des types de thyristors blocables.

[SOURCE: IEC 60050-521:2002, 521-04-68, modifié – La Note à l'article a été ajoutée]

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 base ou à la borne de gâchette

Note 1 à l'article: La structure intrinsèque du dispositif est capable de fournir une amplification (voir l'IEC 60050-521:2002, 521-04-46).

Note 2 à l'article: Différentes techniques de transistors de puissance sont utilisées telles que les transistors bipolaires, transistors bipolaires à grille isolée (IGBT, Insulated Gate Bipolar Transistor), transistors à effet de champ métal-oxyde-semiconducteurs (MOSFET, Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor), 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

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-14-12]

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 1 à l'article: Des termes similaires sont utilisés pour des blocs ou des ensembles 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).

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-14-13]

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

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-14-02, modifié – Les Notes à l'article ont été supprimées]

3.1.14**valve à semiconducteurs**

valve électronique constituée d'un dispositif à semiconducteurs

Note 1 à l'article: Exemples typiques de valves à semiconducteurs: thyristors, diodes de redressement, transistors bipolaires, transistors à effet de champ métal-oxyde-semiconducteurs (MOSFET) et transistors bipolaires à grille isolée (IGBT).

Note 2 à l'article: Plusieurs valves à semiconducteurs 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 à semiconducteurs séparées.

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-14-09, modifié – Les Notes à l'article ont été ajoutées]

3.1.15**conversion électronique de puissance****conversion de puissance****conversion**

changement d'une ou de plusieurs caractéristiques d'un système électrique de puissance essentiellement sans perte de puissance notable, au moyen de valves électroniques

Note 1 à l'article: Ces caractéristiques sont par exemple, l'amplitude de tension, le nombre de phases et la fréquence, y compris la fréquence nulle.

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-11-02]

3.1.16**convertisseur électronique de puissance
convertisseur de puissance
convertisseur**

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

Note 1 à l'article: Les transformateurs et les filtres de conversion associés au réseau interfaçant en matière de caractéristiques électriques sont exclus du convertisseur proprement dit. Ces dispositifs font partie intégrante du système. Tout dispositif nécessaire au bon fonctionnement du convertisseur à proprement parler est intégré au convertisseur, par exemple les filtres utilisés pour limiter le rapport du/dt appliqué aux valves, les suppresseurs de surtensions, etc. Tout accessoire nécessaire pour le bon fonctionnement du convertisseur à proprement parler est intégré au convertisseur, par exemple ventilateurs ou système de refroidissement.

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-12-01, modifié – L'expression "de transformateurs et de filtres si nécessaire" a été supprimée de la définition, la Note à l'article a été remplacée et la figure a été supprimée]

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 valves 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

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

Note 1 à l'article: La vitesse d'un moteur et la force de traction constituent des exemples de grandeur contrôlée.

3.1.19**convertisseur à semiconducteurs**

convertisseur électronique de puissance comportant des valves électroniques à semiconducteurs

Note 1 à l'article: 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.

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-12-42, modifié – La figure a été supprimée]

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 spécifiques à l'application, et où ces éléments ne peuvent pas être séparés physiquement sans empêcher le convertisseur de fonctionner

Note 1 à l'article: L'abréviation "PCE" est dérivée du terme anglais développé correspondant "Power Conversion Equipment".

3.1.21**système de conversion de puissance**

système comprenant un équipement de conversion de puissance et des composants associés nécessaires à l'application

Note 1 à l'article: L'appareillage de commutation, les bobines d'inductance ou les transformateurs et les filtres spécifiques constituent des exemples de composants associés.

3.2 Bras et connexions

3.2.1

bras de valve

bras

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

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-15-01]

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

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-15-02, modifié – La Note à l'article a été supprimée]

3.2.3

bras auxiliaire

bras de valve autre qu'un bras principal

Note 1 à l'article: Quelquefois un bras auxiliaire remplit temporairement plusieurs des fonctions suivantes: bras de shuntage, bras de roue libre, bras d'extinction ou bras de retour.

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-15-05]

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

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-15-06]

3.2.5

bras de roue libre

bras de shuntage ne contenant que des valves non commandables

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-15-07]

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

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-15-08]

3.2.7

bras de retour

bras de valve destiné à transférer une partie de la puissance de la charge vers la source

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-15-09]

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

Note 1 à l'article: La pratique courante utilise également le terme "topologie" du convertisseur avec la même signification.

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-15-10, modifié – La Note à l'article a été ajoutée]

3.2.9**montage de base d'un convertisseur**

disposition électrique des bras principaux d'un convertisseur

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-15-11]

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

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-15-12]

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

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-15-13]

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 reliées ensemble et sont les bornes à courant continu

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-15-14]

3.2.13**montage homogène**

montage dont les bras principaux sont ou bien tous commandables ou bien tous non commandables

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-15-15]

3.2.14**montage hétérogène****montage mixte**

montage constitué par des bras principaux en partie commandables et en partie non commandables

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-15-18]

3.2.15**montage en série**

montage de plusieurs bipôles de façon qu'ils forment un seul chemin

[SOURCE: IEC 60050-131:2002, 131-12-75, modifié – Les Notes à l'article ont été supprimées]

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

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

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-15-21]

3.3 Commandabilité des bras de convertisseurs et quadrants de fonctionnement (côté courant continu)**3.3.1****bras commandable**

bras de convertisseur comprenant une ou plusieurs valves commandables

3.3.2**bras non commandable**

bras de convertisseur ne comprenant que des valves non commandables

3.3.3**quadrant de fonctionnement**

<côté courant continu> quadrant du plan tension/courant défini par la polarité de la tension continue et le sens du courant

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

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-12-34, modifié – La figure a été supprimée]

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

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-12-35, modifié – La figure a été supprimée]

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

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-12-36, modifié – La figure a été supprimée]

3.3.7

convertisseur réversible convertisseur bidirectionnel

convertisseur dans lequel le sens de circulation de la puissance peut être inversé

Note 1 à l'article: Le terme "convertisseur bidirectionnel" correspond à la pratique courante, et fournit une meilleure description du sens de circulation du courant bidirectionnel dans le convertisseur.

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-12-37, modifié – Le terme en variante "convertisseur bidirectionnel" et la Note à l'article ont été ajoutés]

3.3.8

convertisseur simple

convertisseur réversible alternatif/continu unidirectionnel pour le courant continu

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-12-38, modifié – La figure a été supprimée]

3.3.9

convertisseur double

convertisseur réversible alternatif/continu bidirectionnel pour le courant continu

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-12-39]

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

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-12-40]

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

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-16-23]

3.3.12

commande d'amorçage

commande qui provoque l'amorçage d'une valve à accrochage ou d'un bras composé de telles valves

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-16-61]

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

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-16-01]

3.4.2

extinction sans commutation

interruption de la conduction du courant dans un bras sans commutation

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-16-19]

3.4.3

commutation directe

commutation entre deux bras principaux, sans transfert à travers un ou plusieurs bras auxiliaires

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-16-09]

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

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-16-10]

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

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-16-11]

3.4.6

commutation par le réseau

commutation externe dans laquelle la tension de commutation est fournie par le réseau

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-16-12]

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

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-16-13]

3.4.8

commutation par machine

commutation externe dans laquelle la tension de commutation est fournie par une machine tournante

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-16-14]

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

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

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-16-15]

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

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-16-17]

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

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 1 à l'article: La valve suivante est amorcée simultanément.

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-16-16]

3.4.14**extinction par valve**

méthode d'extinction sans commutation dans laquelle l'extinction est produite par la valve électronique elle-même

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-16-20]

3.4.15**extinction externe**

méthode d'extinction sans commutation dans laquelle l'extinction résulte de causes externes à la valve

Note 1 à l'article: Dans les convertisseurs commutés par le réseau, l'extinction externe se produit en régime de conduction discontinue.

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-16-21, modifié – L'expression "valve électronique" a été remplacée par "valve" et la Note à l'article a été ajoutée]

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

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-16-03]

3.5.2

tension de commutation

tension qui provoque la commutation de courant

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-16-02]

3.5.3

inductance de commutation

inductance totale comprise dans le circuit de commutation

Note 1 à l'article: Pour les convertisseurs commutés par le réseau ou par machine, la réactance de commutation est l'impédance de l'inductance de commutation à la fréquence fondamentale.

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-16-07, modifié – La Note à l'article a été ajoutée]

3.5.4

intervalle de commutation

intervalle de temps au cours duquel les bras commutants conduisent simultanément le courant principal

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-16-04]

3.5.5

angle d'empiètement

μ

durée de la commutation exprimée en mesure angulaire

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-16-05, modifié – Le symbole μ a été ajouté]

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

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-16-06]

3.5.7

transitoire répétitif de commutation

oscillation de tension associée à l'encoche de commutation

3.5.8

groupe commutant

groupe de bras principaux qui commutent cycliquement entre eux sans commutation intermédiaire du courant vers d'autres bras principaux

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-16-08]

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

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-17-03, modifié – Le symbole q a été ajouté]

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

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-17-01, modifié – Le symbole p a été ajouté]

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 1 à l'article: 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.

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-16-33, modifié – Le symbole α a été ajouté]

3.5.11**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 1 à l'article: 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.

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-16-34, modifié – Le symbole β a été ajouté]

3.5.12**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

Note 1 à l'article: L'empiètement multiple se produit sur des convertisseurs à commutation par le réseau, pour des valeurs élevées de l'angle d'empiètement.

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-16-35, modifié – Le symbole α_p a été ajouté]

3.5.13**angle d'extinction** γ

durée, exprimée en mesure angulaire, entre l'instant d'extinction du courant de bras et l'instant où il est exigé que le bras supporte un front raide de montée de la tension

3.5.14**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

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-16-45]

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

Note 1 à l'article: La grandeur peut décrire des propriétés électriques, thermiques, mécaniques ou environnementales.

Note 2 à l'article: 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 à l'article: La valeur nominale d'un réseau (par exemple tension nominale, IEC 60050-601:1985, 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 à l'article: À la différence de nombreux autres composants électriques, les dispositifs à semiconducteurs peuvent être détruits même pour un temps très court de fonctionnement si des valeurs maximales assignées sont dépassées.

Note 5 à l'article: 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.

[SOURCE: IEC 60050-151:2001, 151-16-08, modifié – Les Notes à l'article ont été ajoutées]

3.6.2

fréquence assignée

f_N

fréquence spécifiée du côté courant alternatif du convertisseur

3.6.3

tension assignée côté réseau

U_{LN}

valeur efficace spécifiée de la tension entre les conducteurs côté réseau du convertisseur

Note 1 à l'article: 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

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

Note 1 à l'article: 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

 I_{LN}

valeur efficace maximale du courant du convertisseur côté réseau dans les conditions assignées

Note 1 à l'article: Le courant assigné côté réseau 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 à l'article: 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 à l'article: 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

 I_{VN}

valeur efficace maximale du courant du convertisseur côté valve dans les conditions assignées

Note 1 à l'article: Le courant assigné côté valve 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 à l'article: 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 à l'article: Il convient de spécifier la base de calcul dans le cas des équipements monophasés.

3.6.7

puissance apparente assignée côté réseau

 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

3.6.8

tension continue assignée

 U_{dN}

valeur moyenne, spécifiée par le fabricant, de la tension continue entre les bornes à courant continu de l'ensemble ou de l'équipement, pour le courant continu assigné

3.6.9

courant continu assigné

 I_{dN}

valeur moyenne du courant continu spécifiée par le fabricant pour des conditions de charge et de service déterminées

Note 1 à l'article: 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

I_{dMN}

valeur moyenne du courant continu qu'un ensemble ou un convertisseur est capable de supporter en régime permanent sans dommage et pour des conditions de service spécifiées

Note 1 à l'article: Le courant continu permanent assigné d'un ensemble est très souvent nettement plus élevé que le courant continu assigné de l'équipement complet correspondant. Il s'agit d'une valeur maximale.

Note 2 à l'article: Le courant continu permanent assigné d'un ensemble peut être limité par d'autres composants que le semiconducteur.

3.6.11 courant continu maximal de crête

I_{dSMN}

valeur moyenne du courant continu qu'un ensemble 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

Note 1 à l'article: 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 ensemble 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

Note 1 à l'article: 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

valeur moyenne du courant continu qu'un ensemble 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

Note 1 à l'article: Les caractéristiques du courant continu maximal associé I_{dSMN} participent à la définition du service temporaire. Pour plus d'informations, voir 6.4.3.2.

3.6.14 courant assigné pour service continu avec surcharges de crête

valeur moyenne du courant continu qu'un ensemble 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

Note 1 à l'article: 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

courant continu assigné de l'ensemble ou du convertisseur, spécifié comme la valeur efficace du courant de charge, calculée sur la période du cycle de charge

Note 1 à l'article: Il convient de spécifier la classe de service sous la forme d'une suite de valeurs de courants en spécifiant leurs durées. Un "service de charge répétitive" est également désigné sous l'appellation "service périodique". Voir 6.4.3.2 c).

3.6.16

puissance assignée côté courant continu

produit de la tension continue assignée et du courant continu assigné

Note 1 à l'article: Du fait de l'ondulation du courant et de la tension, la puissance mesurée côté courant continu peut différer de la puissance assignée côté courant 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

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-17-15, modifié – Le symbole U_{di} a été ajouté]

3.7.2

tension continue fictive à vide avec réglage

$U_{di\alpha}$

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

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-17-16, modifié – Le symbole $U_{di\alpha}$ a été ajouté]

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

Note 1 à l'article: U_{di} est égale à la somme de U_{d0} et de la chute de tension à vide dans l'ensemble.

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-17-17, modifié – Le symbole U_{d0} et la Note à l'article ont été ajoutés]

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)

Note 1 à l'article: $U_{di\alpha}$ est égale à la somme de $U_{d0\alpha}$ et de la chute de tension à vide dans l'ensemble.

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-17-18, modifié – Le symbole $U_{d0\alpha}$ et la Note à l'article ont été ajoutés.]

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

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

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-17-19, modifié – Le symbole U_{d00} a été ajouté]

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

Note 1 à l'article: Si l'on utilise un dispositif de régulation de tension, se reporter également à 3.7.9.

Note 2 à l'article: 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 exigée.

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-17-21, modifié – Les Notes à l'article ont été ajoutées]

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

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-17-22]

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

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-17-23]

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

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

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-17-20 modifié – Cette modification ne concerne que la version anglaise]

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

Note 1 à l'article: La puissance fondamentale (IEC 60050-551:1998, 551-17-08) constitue la puissance active déterminée par les composantes fondamentales de la tension et du courant.

Note 2 à l'article: 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.

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-17-10, modifié – Les Notes à l'article ont été ajoutées]

3.7.12 rendement

rapport de la puissance de sortie à la puissance d'entrée du convertisseur

Note 1 à l'article: Dans le facteur de conversion, la puissance des composantes alternatives du courant et de la tension côté courant continu n'est pas prise en compte. Dans le rendement, la puissance de ces composantes alternatives du courant et de la tension côté courant continu est incluse dans la puissance côté courant 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 à l'article: Le facteur de conversion ne peut être obtenu correctement que par la mesure de la composante fondamentale de la puissance côté courant alternatif et des composantes à fréquence nulle de tension et de courant côté courant continu. Le rendement peut être obtenu correctement, soit par la mesure des valeurs efficaces de la puissance côté courant continu et de la puissance côté courant alternatif, soit par le calcul ou la mesure des pertes internes.

Note 3 à l'article: Il faut tenir compte de la puissance active (valeur moyenne de la puissance) côté courant alternatif, et de la valeur moyenne de la puissance côté courant continu.

3.7.13 facteur de puissance

λ

rapport de la valeur absolue de la puissance active P à la puissance apparente S , en régime périodique

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

Note 1 à l'article: En régime sinusoïdal, le facteur de puissance est la valeur absolue du facteur de puissance active.

[SOURCE: IEC 60050-131:2002, 131-11-46, modifié – Le symbole λ a été ajouté]

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 apparente des composantes fondamentales S_1

$$\cos \varphi_1 = \frac{P_1}{S_1}$$

Note 1 à l'article: Pour la définition du déphasage tension-courant, voir l'IEC 60050-131:2002, 131-11-48.

3.7.15 facteur de déformation

v

rapport du facteur de puissance total λ sur le facteur de déphasage tension-courant $\cos \varphi_1$

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

Note 1 à l'article: Lorsque la tension est sinusoïdale, le facteur de déformation équivaut au facteur fondamental. Voir la Note 2 à l'article en 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

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

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

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

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

3.8.6

refroidissement forcé

mode de circulation du milieu de refroidissement ou du fluide réfrigérant utilisant un ou des souffleurs, ventilateurs ou pompes

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

Note 1 à l'article: 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

Note 1 à l'article: 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

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

Note 1 à l'article: 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

3.8.12**température du fluide réfrigérant**

température du fluide réfrigérant mesurée en un point qui est à définir par le fournisseur

3.9 Tolérances relatives aux conditions de service et compatibilité électromagnétique**3.9.1****compatibilité électromagnétique****CEM**

aptitude d'un équipement 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

[SOURCE: IEC 60050-161:2018, 161-01-07]

3.9.2**émission électromagnétique****émission**

processus par lequel une source fournit de l'énergie électromagnétique vers l'extérieur

[SOURCE: IEC 60050-161:2019, 161-01-08, modifié – Le terme en variante "émission" a été ajouté]

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

[SOURCE: IEC 60050-161:1990, 161-03-11, modifié – Le domaine "d'une source perturbatrice" a été remplacé par "d'un convertisseur" et l'expression "par un dispositif, un appareil ou un système particulier et mesurée d'une manière spécifiée" a été remplacée par "par un convertisseur utilisé dans des conditions déterminées et mesurée selon une méthode spécifique"]

3.9.4**perturbation électromagnétique**

phénomène électromagnétique susceptible de dégrader le fonctionnement d'un dispositif, d'un équipement ou d'un système, ou d'affecter défavorablement la matière vivante ou inerte

[SOURCE: IEC 60050-161:2018, 161-01-05, modifié – Les Notes à l'article ont été supprimées]

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

[SOURCE: IEC 60050-161:1990, 161-03-29]

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

Note 1 à l'article: 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

[SOURCE: IEC 60050-161:1990, 161-01-20]

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 exigées, à continuer de fonctionner ou à prévenir tout dommage

Note 1 à l'article: Cette définition est propre au convertisseur. Une description du concept générique de niveau d'immunité est donnée dans l'IEC 60050-161:1990, 161-03-14.

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

Note 1 à l'article: R_{SC} se rapporte à un point donné du réseau, pour des conditions spécifiées de fonctionnement et pour une configuration spécifiée du réseau.

Note 2 à l'article: La série IEC 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.

3.10 Distorsion harmonique

NOTE Les équations dans les définitions ci-dessous relatives aux distorsions harmoniques utilisent le symbole Q pour représenter une grandeur. Lorsque ces équations sont utilisées dans des applications spécifiques, Q est remplacé par le symbole réel de la grandeur, par exemple U pour la tension, I pour l'intensité. Dans les autres parties du présent document, 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

point de couplage commun

PCC

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

Note 1 à l'article: L'abréviation "PCC" est dérivée du terme anglais développé correspondant "Point of Common Coupling".

[SOURCE: IEC 61000-2-4:2002, 3.1.6]

3.10.2

point de couplage interne IPC

point électriquement le plus proche d'une charge particulière, situé sur un réseau non public de distribution d'énergie ou à l'intérieur d'une installation, auquel d'autres charges sont ou pourraient être raccordées

Note 1 à l'article: Usuellement l'IPC est le point auquel on étudie la compatibilité électromagnétique.

Note 2 à l'article: L'abréviation "IPC" est dérivée du terme anglais développé correspondant "In-plant Point of Coupling".

[SOURCE: IEC 61000-2-4:2002, 3.1.7]

3.10.3

fréquence fondamentale

fréquence de la composante fondamentale

[SOURCE: IEC 60050-551:2001, 551-20-03]

3.10.4

composante fondamentale fondamental

<d'une série de Fourier> 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 1 à l'article: Pour l'analyse pratique, il peut être nécessaire de procéder à une approximation de la périodicité.

[SOURCE: IEC 60050-551:2001, 551-20-01]

3.10.5

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 à l'article: 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 ce document ne recommande pas cet usage.

Note 2 à l'article: Pour l'analyse pratique, il peut être nécessaire de procéder à une approximation de la périodicité.

Note 3 à l'article: 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.

[SOURCE: IEC 60050-551:2001, 551-20-02]

3.10.6

fréquence fondamentale de référence

fréquence de la composante fondamentale de référence

Note 1 à l'article: 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 ce document ne recommande pas cet usage.

[SOURCE: IEC 60050-551:2001, 551-20-04]

3.10.7

fréquence harmonique

fréquence qui est un multiple entier supérieur à 1 de la fréquence fondamentale, ou de la fréquence fondamentale de référence

Note 1 à l'article: Le rapport de la fréquence harmonique à la fréquence fondamentale, ou à la fréquence fondamentale de référence, est appelé rang harmonique (notation recommandée: h).

[SOURCE: IEC 60050-551:2001, 551-20-05, modifié – La Note à l'article a été ajoutée]

3.10.8

composante harmonique

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

Note 1 à l'article: Par souci de concision, cette composante peut simplement être désignée comme un harmonique.

Note 2 à l'article: Pour l'analyse pratique, il peut être nécessaire de procéder à une approximation de la périodicité.

Note 3 à l'article: La valeur est normalement exprimée comme une valeur efficace.

[SOURCE: IEC 60050-551:2001, 551-20-07, modifié – Les Notes 1 et 3 à l'article ont été ajoutées]

3.10.9

fréquence interharmonique

fréquence qui est un multiple non entier de la fréquence fondamentale de référence

Note 1 à l'article: 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 à l'article: Lorsque $m < 1$, le terme "fréquence sous-harmonique" peut également être employé (voir l'IEC 60050-551:2001, 551-20-10).

[SOURCE: IEC 60050-551:2001, 551-20-06, modifié – Les Notes à l'article ont été ajoutées]

3.10.10

composante interharmonique

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

Note 1 à l'article: Par souci de concision, cette composante peut simplement être désignée comme un interharmonique.

Note 2 à l'article: Pour l'analyse pratique, il peut être nécessaire de procéder à une approximation de la périodicité.

Note 3 à l'article: La valeur est normalement exprimée comme une valeur efficace.

Note 4 à l'article: Comme indiqué dans l'IEC 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 donc 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).

[SOURCE: IEC 60050-551:2001, 551-20-08, modifié – Les Notes 1, 3 et 4 à l'article ont été ajoutées]

3.10.11**résidu harmonique**

somme des composantes harmoniques d'une grandeur périodique

Note 1 à l'article: Le résidu harmonique est une fonction du temps.

Note 2 à l'article: Pour l'analyse pratique, il peut être nécessaire de procéder à une approximation de la périodicité.

Note 3 à l'article: Le résidu harmonique dépend du choix de la composante fondamentale. En cas d'ambiguïté dans le contexte on indique de quelle composante il s'agit.

Note 4 à l'article: La valeur efficace du résidu de distorsion est:

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

où

Q représente le courant ou la tension;

h est le rang harmonique;

H est égal à 50 pour les besoins du présent document. 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 l'IEC 61000-2-2 et à l'IEC 61000-2-4.

[SOURCE: IEC 60050-551:2001, 551-20-12, modifié – La Note 4 à l'article a été ajoutée]

3.10.12**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

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

où

$Q, h, \text{ et } H$ sont identiques aux valeurs énumérées en 3.10.11;

Q_1 désigne la valeur efficace de la composante fondamentale.

Note 1 à l'article: Le rapport harmonique dépend du choix de la composante fondamentale. En cas d'ambiguïté dans le contexte on indique de quelle composante il s'agit.

Note 2 à l'article: Le rapport harmonique total peut faire l'objet d'une approximation à un certain rang (notation recommandée: H), à savoir 50 pour les besoins du présent document.

Note 3 à l'article: L'abréviation "THD" est dérivée du terme anglais développé correspondant "Total Harmonic Distortion".

[SOURCE: IEC 60050-551:2001, 551-20-13, modifié – La notation recommandée et une valeur ont été ajoutées à la Note 2 à l'article]

3.10.13**résidu total de distorsion**

grandeur obtenue en soustrayant d'une grandeur alternative sa composante fondamentale ou sa composante fondamentale de référence

Note 1 à l'article: Le résidu total de distorsion comporte les composantes harmoniques et, s'il y en a, les composantes interharmoniques.

Note 2 à l'article: Le résidu total de distorsion dépend du choix de la composante fondamentale. En cas d'ambiguïté dans le contexte on indique de quelle composante il s'agit.

Note 3 à l'article: Le résidu total de distorsion est une fonction du temps.

Note 4 à l'article: Une grandeur alternative (symbole Q) est une grandeur périodique dont la composante continue est nulle.

Note 5 à l'article: La valeur efficace du résidu de distorsion est:

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

où Q_1 est détaillé en 3.10.12.

[SOURCE: IEC 60050-551:2001, 551-20-11, modifié – Un symbole a été ajouté à la Note 4 à l'article. La Note 5 à l'article a été ajoutée]

3.10.14**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

$$D_R = \frac{D_C}{Q_1} = \frac{\sqrt{Q^2 - Q_1^2}}{Q_1}$$

Note 1 à l'article: Le rapport total de distorsion dépend du choix de la composante fondamentale. En cas d'ambiguïté dans le contexte on indique de quelle composante il s'agit.

Note 2 à l'article: L'abréviation "TDR" est dérivée du terme anglais développé correspondant "Total Distortion Ratio".

[SOURCE: IEC 60050-551:2001, 551-20-14, modifié – L'abréviation "TDR" et la formule dans la Note 1 à l'article ont été ajoutées. La Note 2 à l'article a été supprimée]

3.10.15**facteur total de distorsion****TDF**

rapport de la valeur efficace du résidu total de distorsion à la valeur efficace d'une grandeur alternative

$$D_F = \frac{D_C}{Q} = \frac{\sqrt{Q^2 - Q_1^2}}{Q}$$

Note 1 à l'article: Le facteur total de distorsion dépend du choix de la composante fondamentale. En cas d'ambiguïté dans le contexte on indique de quelle composante il s'agit.

Note 2 à l'article: Le rapport entre TDF et TDR équivaut au rapport de la valeur efficace de la composante fondamentale sur la valeur efficace totale. Il s'agit du taux de fondamental défini dans l'IEC 60050-161:1990, 161-02-22.

Note 3 à l'article: L'abréviation "TDF" est dérivée du terme anglais développé correspondant "Total Distortion Factor".

$$f_F = \frac{D_F}{D_R} = \frac{Q_1}{Q} \leq 1$$

[SOURCE: IEC 60050-551:2001, 551-20-16, modifié – L'abréviation "TDF", la formule dans la Note 1 à l'article et la Note 2 à l'article ont été ajoutées]

3.10.16**rapport harmonique individuel****IHR**

rapport entre une composante harmonique et la valeur du fondamental

Note 1 à l'article: Dans l'IEC 60050-161:1990, 161-02-20, le rapport harmonique individuel est nommé le "taux du $n^{\text{ième}}$ harmonique". IHR 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 à l'article: La valeur du rapport harmonique individuel est $Q_{IHR} = \frac{Q_h}{Q_1}$

Note 3 à l'article: L'abréviation "IHR" est dérivée du terme anglais développé correspondant "Individual Harmonic Ratio".

3.10.17**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

$$Q_{PWHR} = \sqrt{\sum_{h=14}^{h=40} h \times \left(\frac{Q_h}{Q_1}\right)^2}$$

Note 1 à l'article: 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 à l'article: Un concept similaire concernant le courant harmonique est donné dans l'IEC 61000-3-12:2011, 3.2.

Note 3 à l'article: L'abréviation "PWR" est dérivée du terme anglais développé correspondant "Partial Weighted Harmonic Ratio".

3.11 Définitions relatives à la coordination de l'isolement

3.11.1

circuit électrique circuit

<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

Note 1 à l'article: 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

3.11.3

équipotentialité

état de parties conductrices ayant un potentiel électrique sensiblement égal

[SOURCE: IEC 60050-195:2021, 195-01-09]

3.11.4

liaison équipotentielle

mise en œuvre de liaisons électriques entre parties conductrices pour réaliser l'équipotentialité

[SOURCE: IEC 60050-195:2021, 195-01-10, modifié – La définition a été reformulée]

3.11.5

réseau équipotentiel

EBS

interconnexion de parties conductrices, permettant d'assurer une liaison équipotentielle entre ces parties

Note 1 à l'article: L'abréviation "EBS" est dérivée du terme anglais développé correspondant "Equipotential Bonding System".

[SOURCE: IEC 60050-195:2021, 195-02-22]

3.11.6

réseau équipotentiel de protection

PEBS

réseau équipotentiel assurant une liaison équipotentielle de protection

Note 1 à l'article: L'abréviation "PEBS" est dérivée du terme anglais développé correspondant "Protective Equipotential Bonding System".

[SOURCE: IEC 60050-195:2021, 195-02-23]

3.11.7

tension de service

tension de calcul dans un circuit ou tension d'isolement, dans les conditions d'alimentation assignées (sans tolérances) et dans les conditions de service les plus défavorables

Note 1 à l'article: La tension de service peut être en courant continu ou en courant alternatif. 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

3.11.9

tension d'isolement assignée

valeur de tension efficace assignée par le fabricant à l'équipement ou à une partie de ce dernier, qui caractérise la capacité de résistance (à long terme) spécifiée de son isolation

Note 1 à l'article: 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 à l'article: 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 à l'article: 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 à l'article: 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.

[SOURCE: IEC 60664-1:2020, 3.1.18, modifié – Le symbole U_i a été supprimé. L'expression "valeur de la tension de tenue efficace" a été remplacée par "valeur de tension efficace". La Note 1 à l'article a été clarifiée, et les Notes 2 à 4 à l'article ont été ajoutées]

3.11.10

tension de choc assignée

amplitude de choc utilisée comme référence pour la définition d'un circuit et pour les essais relatifs aux caractéristiques d'isolement d'un circuit

Note 1 à l'article: La tension de choc 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

Note 1 à l'article: L'IEC 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 dangereuses pour assurer une protection principale contre les chocs électriques

[SOURCE: IEC 60050-826:2004, 826-12-14, modifié – La définition a été reformulée]

3.11.13

isolation supplémentaire

isolation indépendante prévue, en plus de l'isolation principale, en tant que protection en cas de défaut

Note 1 à l'article: L'isolation principale et l'isolation supplémentaire sont distinctes, chacune étant destinée à assurer une protection principale contre les chocs électriques.

[SOURCE: IEC 60664-1: 2020, 3.1.31, modifié – La Note à l'article a été ajoutée]

3.11.14**isolation double**

isolation comprenant à la fois une isolation principale et une isolation supplémentaire

[SOURCE: IEC 60050-195:2021, 195-06-08]

3.11.15**isolation renforcée**

isolation des parties actives dangereuses assurant un degré de protection contre les chocs électriques équivalent à celui d'une double isolation

Note 1 à l'article: L'isolation renforcée peut comporter plusieurs couches qui ne peuvent pas être soumises à l'essai séparément en tant qu'isolation principale ou isolation supplémentaire.

[SOURCE: IEC 60664-1:2020, 3.1.33]

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)

3.11.17**protection électrique par écran****protection par écran**

séparation de circuits électriques et/ou de conducteurs par rapport aux parties actives dangereuses par un écran de protection électrique relié au réseau équipotentiel de protection et destiné à fournir une protection contre les chocs électriques

[SOURCE: IEC 60050-195:2021, 195-06-18, modifié – L'adjectif "électrique" a été ajouté à "protection par écran"; en langue anglaise, le terme "protective shielding" a été supprimé]

3.11.18**circuit circuit TBTtrès basse tension**

circuit dont la tension ne dépasse pas 50 V en courant alternatif et 120 V en courant continu ou la valeur spécifiée dans la norme de produit correspondante

Note 1 à l'article: Dans le présent document, la définition ci-dessus de la plage de tensions s'applique pour les essais de tension donnés en 7.2.2.2. Pour une description du concept générique de très basse tension, voir l'IEC 60050-195:2021, 195-05-24.

3.11.19**circuit de circuit TBTPtrès basse tension de protection**

circuit électrique dont les caractéristiques sont les suivantes:

- la tension ne dépasse pas la valeur de la très basse tension;
- il existe une séparation de protection entre les circuits autres que les circuits TBTP ou TBTS;
- il existe des dispositions pour procéder à la mise à la terre du circuit TBTP, ou de ses parties conductrices accessibles, ou de ces deux éléments à la fois

Note 1 à l'article: Dans le présent document, la définition ci-dessus de circuit TBTP s'applique pour les essais de tension donnés en 7.2.2.2. Pour une description du concept générique de très basse tension de protection, voir l'IEC 60050-195:2021, 195-06-29.

3.11.20**circuit de très basse tension de sécurité****circuit TBTS**

circuit électrique dont les caractéristiques sont les suivantes:

- la tension ne dépasse pas la valeur de la très basse tension;
- il existe une séparation de protection entre les circuits autres que les circuits TBTS ou TBTP;
- il n'existe aucune disposition pour procéder à la mise à la terre du circuit TBTS, ou de ses parties conductrices accessibles;
- il existe une isolation principale du circuit TBTS contre la terre et contre les circuits TBTP

Note 1 à l'article: Dans le présent document, la définition ci-dessus de circuit TBTS s'applique pour les essais de tension donnés en 7.2.2. Pour une description du concept générique de très basse tension de sécurité, voir l'IEC 60050-195:2021, 195-06-28.

3.12 Principaux symboles littéraux et indices

Les principaux symboles littéraux et indices sont donnés dans le Tableau 1 et le Tableau 2.

Tableau 1 – Liste des principaux indices

Indice	Signification
0 (zéro)	À vide
C	De commutation
D	Courant ou tension continus
F	Dépendant de la fréquence
H	Relatif à l'harmonique de rang h
I	Idéal
L	Se rapportant au réseau ou à la source
M	Valeur maximale
M	Relatif à l'interharmonique de rang m
Min.	Valeur minimale
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 valve
X	Inductif
α	Valeur réglée (obtenue par variation d'angle de retard)

Tableau 2 – Symboles

Symbole	Grandeur	Référence à l'Article 3 Termes et définitions
d_{xtN}	Variation inductive de tension continue due au transformateur de conversion, rapportée à U_{di}	-
e_{xN}	Composante inductive de la tension de court-circuit relative du transformateur de conversion correspondant à I_{LN}	-
f_N	Fréquence assignée	3.6.2
g	Nombre d'ensembles de groupes commutants entre lesquels se partage I_{dN}	3.6.8
h	Rang des harmoniques	3.10.6
I_d	Courant continu (toute valeur définie)	-
I_{dN}	Courant continu assigné	3.6.9
I_{dMN}	Courant continu permanent assigné (valeur maximale)	3.6.10
I_{dRMN}	Courant continu maximal de crête intermittent	3.6.12
I_{dSMN}	Courant continu maximal de crête	3.6.11
I_L	Valeur efficace du courant côté réseau (du convertisseur ou du transformateur s'il existe)	-
I_{LN}	Valeur assignée de I_L	3.6.5
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 valve du transformateur	3.6.6
p	Indice de pulsation	3.5.10
P	Puissance active	-
P_{LN}	Puissance active, côté réseau, à la charge assignée	-
q	Indice de commutation	3.5.9
Q_{1LN}	Puissance réactive, côté réseau, à la charge assignée	-
R_{SC}	Puissance de court-circuit relative	3.9.9
s	Nombre de groupes commutants montés en série	-
S_{com}	Puissance de court-circuit calculée aux bornes en courant alternatif 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	3.6.7
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	3.7.3
$U_{d0\alpha}$	Valeur de U_{d0} avec angle de retard de commande α	3.7.4
U_{d00}	Tension continue réelle à vide	3.7.5
U_{di}	Tension continue fictive à vide	3.7.1
$U_{di\alpha}$	Tension continue fictive à vide avec réglage	3.7.2

Symbole	Grandeur	Référence à l'Article 3 Termes et définitions
U_{dN}	Tension continue assignée	3.6.8
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	3.6.3
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	3.6.4
X_{tN}	Variation inductive de tension du transformateur, par unité	-
α	Angle de retard de l'ordre d'amorçage	3.5.11
α_p	Angle de retard propre	3.5.13
β	Angle d'avance de l'ordre d'amorçage	3.5.12
γ	Angle d'extinction	3.5.14
δ	Nombre de groupes commutant simultanément, par primaire	-
λ	Facteur de puissance	3.7.13
μ	Angle d'empiètement (angle de commutation)	3.5.5
ν	Facteur de déformation	3.7.15
φ_1	Déphasage tension-courant de la composante fondamentale de I_L	3.7.14

4 Fonctionnement des équipements de conversion à semiconducteurs et des valves

4.1 Classification

4.1.1 Convertisseur à semiconducteurs

Les convertisseurs à semiconducteurs sont 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 l'IEC 60050-551:1998, 551-11-06);
- 2) conversion de continu en alternatif (onduleur, identifié comme fonctionnement onduleur dans l'IEC 60050-551:1998, 551-11-07);

- 3) conversion de continu en continu (convertisseur de courant continu direct ou indirect, identifié comme conversion (de puissance) de courant continu dans l'IEC 60050-551:1998, 551-11-09);
- 4) conversion d'alternatif en alternatif (convertisseur de courant alternatif direct ou indirect, identifié comme conversion (de puissance) de courant alternatif dans l'IEC 60050-551:1998, 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 les suivantes:

- 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 semiconducteurs 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 blocages 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 blocages 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 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. L'impédance interne prédominante d'un convertisseur rigide de courant est élevée, tandis que l'impédance interne prédominante d'un convertisseur rigide de tension est faible. 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 courant alternatif vers le côté courant continu, 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 le sens de circulation de la 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 sont 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). L'appellation courante de ce type de valve est "valve à commutation directe";
- c) valves à dispositif d'ouverture et de fermeture dans le sens direct commandable (thyristor blocable (GTO), thyristor intégré commuté par la gâchette (IGCT), transistor de puissance, transistor bipolaire à grille isolée (IGBT)). L'appellation courante de ce type de valve est "valve commutée";
- 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 blocables 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 leur blocage s'effectue 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.

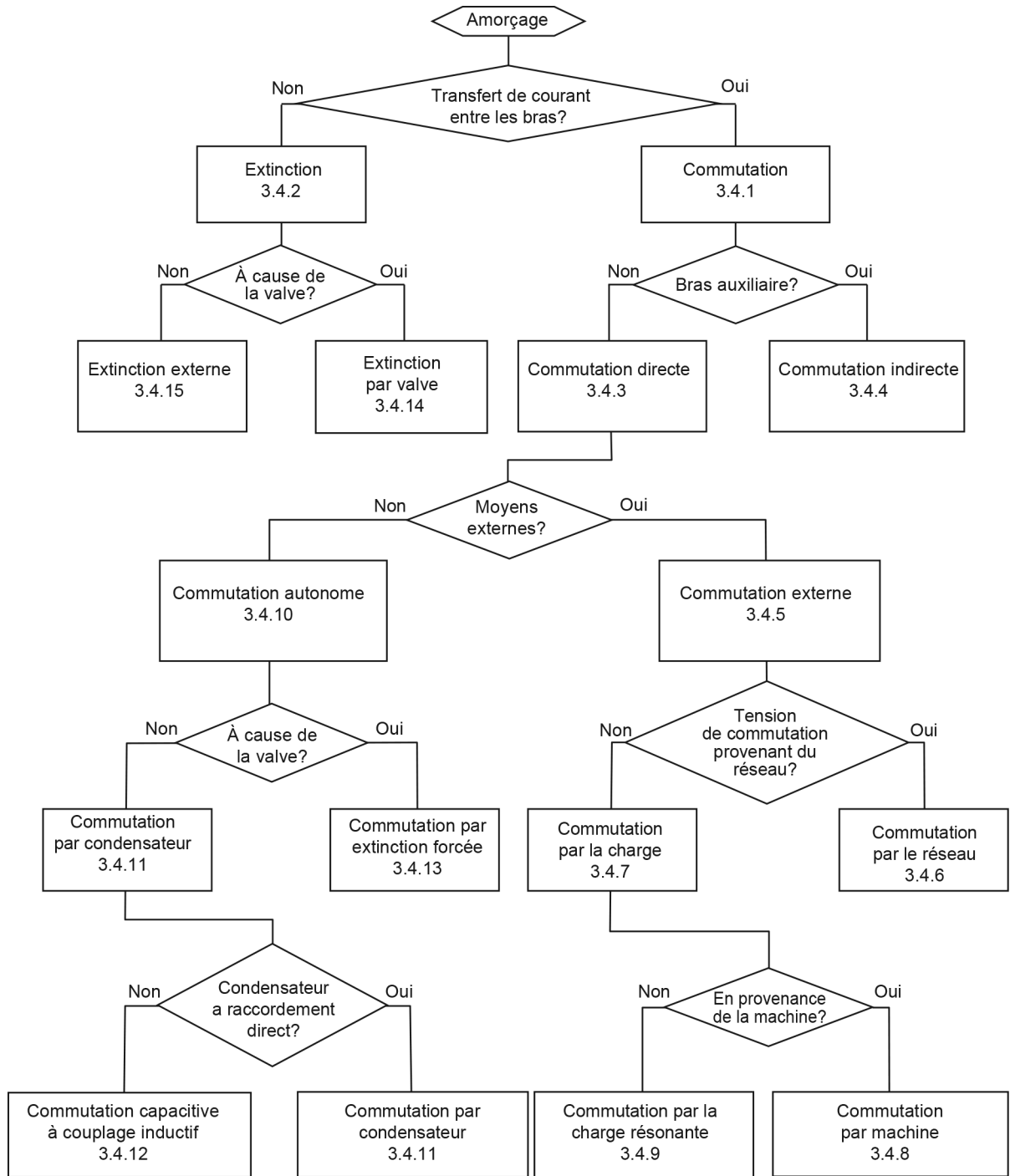
4.2 Fonctionnement de base des convertisseurs à semiconducteurs

4.2.1 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.



IEC

Figure 1 – Types de commutations

La commutation est caractérisée par les formes d'onde de la tension et du courant, ainsi que par les angles (voir 3.5.5, 3.5.11, 3.5.12, 3.5.14). La Figure 2 représente ces angles par un cas simple de commutation des tensions à partir du réseau. La courbe du haut représente la tension redressée et la courbe du bas représente une tension anode/cathode. La Figure 2 a) et la Figure 2 b) sont des exemples pour $p = 3$ et $p = 6$, respectivement.

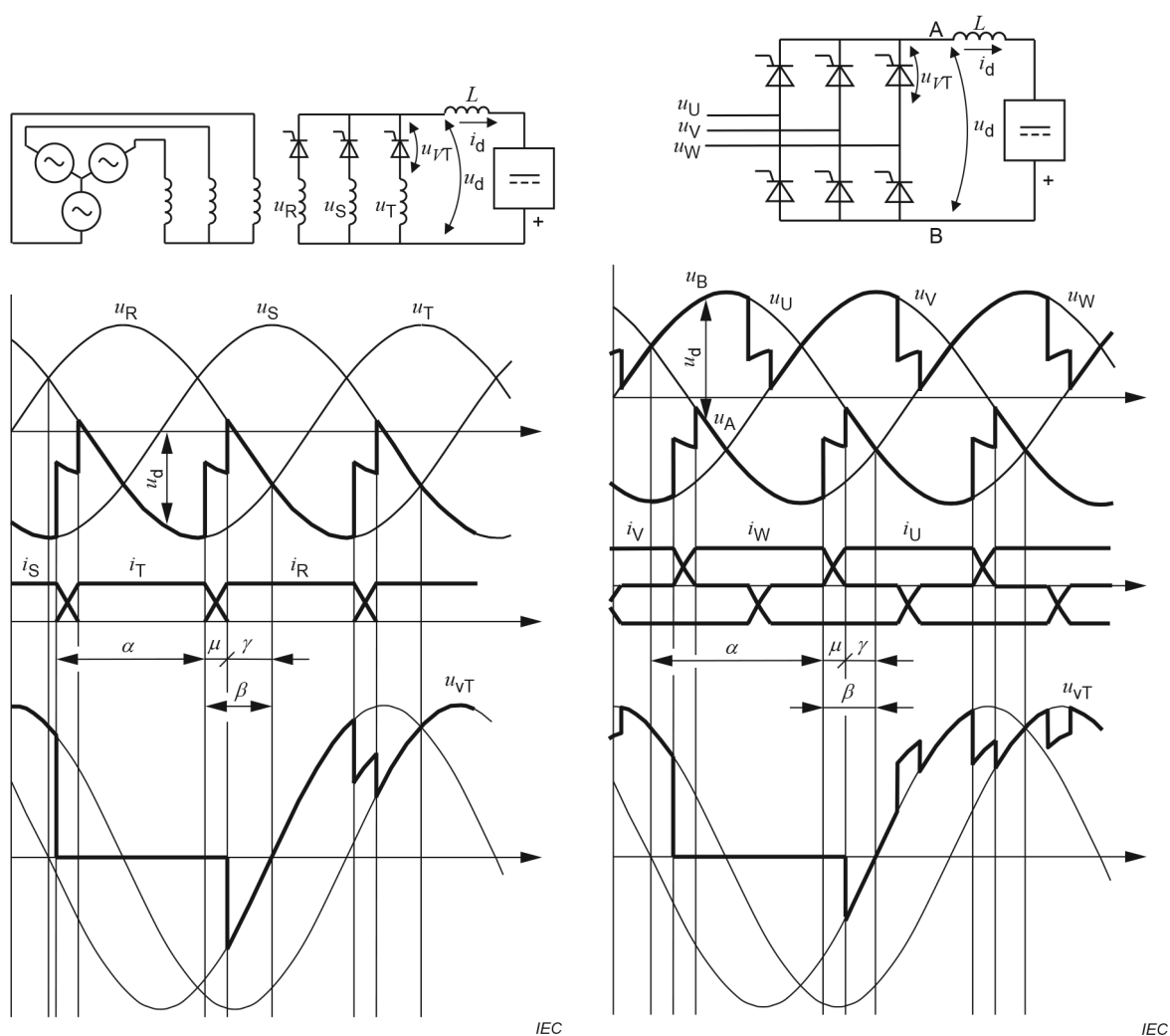


Figure 2 a) – Convertisseur à montage en étoile triphasé

Figure 2 b) – Convertisseur à pont triphasé

Figure 2 – Exemples d'angles

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

4.2.2.1 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 (1):

$$U_{di} = U_{v0} \times \sqrt{2} \times \frac{p}{\pi} \times \sin \frac{\pi}{p} \quad (1)$$

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 réglages:

$$U_{di\alpha} = U_{di} \times \cos \alpha \quad (2)$$

2) Si la charge du convertisseur est purement résistive

Pour $0 \leq \alpha \leq \frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{p}$:

$$U_{di\alpha} = U_{di} \times \cos \alpha \quad (3)$$

Pour $\frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{p} \leq \alpha \leq \frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{p}$:

$$U_{di\alpha} = U_{di} \times \frac{1 - \sin(\alpha - \pi/p)}{2 \sin(\pi/p)} \quad (4)$$

b) Montage hétérogène (commandable pour moitié)

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

4.2.2.2 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 représenté à la Figure 3. Deux exemples de cette valeur de courant critique entre les caractéristiques de tension sont les suivants

- 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, et
- dans le cas d'un montage avec transformateur interphase, étant donné que la valeur du courant continu diminue en dessous de la valeur critique à laquelle le transformateur interphase devient inefficace.

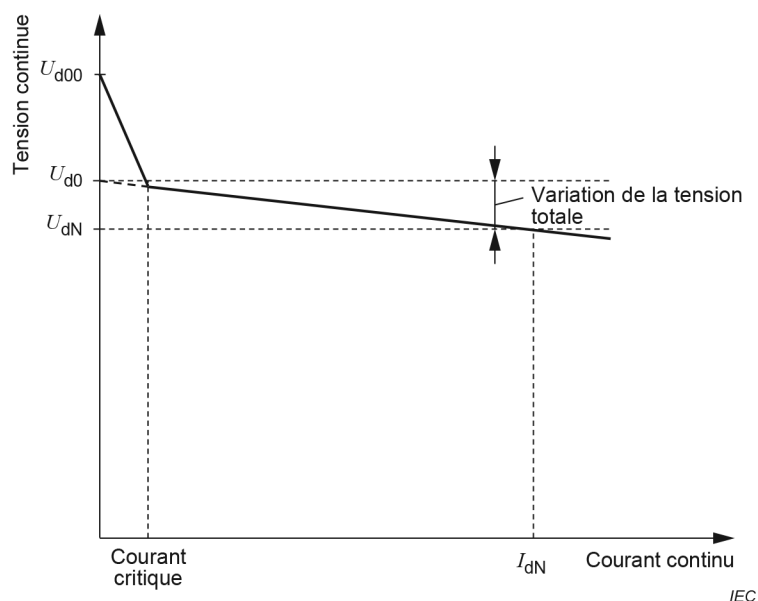


Figure 3 – Variation de tension

4.2.3 Perturbations et conditions de panne

4.2.3.1 Niveau d'immunité d'un convertisseur

Lorsqu'une perturbation de toute origine n'excède pas le niveau d'immunité spécifié (voir par exemple Tableau 7, Tableau 8 et Tableau 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 (pour "Tripping")	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 ledit 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 (exigeant une intervention extérieure pour le redémarrage, le réarmement manuel d'un disjoncteur, le changement d'un fusible, etc.).

NOTE 1 La remise en service automatique nécessite de prendre 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.

4.2.3.2 Perturbations et compatibilité

Pour la compatibilité électromagnétique (CEM), les convertisseurs à semiconducteurs doivent, de manière générale, satisfaire à l'IEC 61000-6-1, l'IEC 61000-6-2 et l'IEC 61000-6-4, sauf si des normes de produit pertinentes sont fournies. Des normes de CEM relatives aux convertisseurs à semiconducteurs sont fournies pour certains produits, comme énuméré ci-après:

- IEC 61204-3 pour les alimentations à découpage basse tension;
- IEC 61800-3 pour les entraînements électriques de puissance à vitesse variable;
- IEC 62040-2 pour les alimentations sans interruption (UPS, Uninterruptible Power System);
- IEC 62310-2 pour les systèmes de transfert statique (STS).

NOTE 1 Le présent document n'est pas destiné à définir des exigences de CEM. Il couvre tous les phénomènes et introduit par conséquent des références aux normes spécifiques applicables conformément à leur domaine d'application.

Les phénomènes par conduction différencient d'une part les perturbations basse fréquence véhiculées par le réseau, d'autre part les perturbations produites par le convertisseur à proprement parler.

a) Perturbations véhiculées par le réseau

Perturbations pouvant être attribuées à un certain nombre de causes externes au convertisseur, 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 entre phases;
- déséquilibre de tension quasi permanent, à spécifier sous la forme du rapport de la composante inverse à la composante directe;
- variation de fréquence et déphasage;
- signaux de contrôle d'ondulation;
- composantes harmoniques et interharmoniques de tension ou de courant.

b) Perturbations produites par le convertisseur

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 matière 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 matière de largeur, profondeur et surface;
- transitoires répétitifs de commutation, à définir comme impulsions brèves en matière d'énergie, de valeur de crête, de vitesse ascensionnelle, etc.;
- transitoires non répétitifs pouvant provenir de l'appel de courant du transformateur, de l'élimination 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 régimes établis consécutifs.

NOTE 4 Les perturbations énumérées ci-dessus sont potentiellement produites par le convertisseur considéré ou par d'autres convertisseurs et leur ampleur réelle varie selon l'impédance du réseau, au point où elles sont évaluées.

NOTE 5 Pour de plus amples informations, se reporter à l'IEC 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 est potentiellement atténué à un niveau tel, que ce sont les variations 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 1 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 2 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 3 Pour le refroidissement direct: AN/AF, convertisseur à refroidissement par circulation d'air direct naturelle et possibilité de refroidissement par circulation d'air direct forcée.

EXEMPLE 4 Pour le 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, un moyen d'extraction de la chaleur dissipée dans le local doit être prévu, qui est alors considéré comme un échangeur intermédiaire entre l'équipement et l'air extérieur.

Pour des ensembles montés en coffret ou en armoire, le fluide ambiant utilisé pour lesdits ensembles (air à l'intérieur du coffret ou de l'armoire) est à considérer 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 est à spécifier 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

	Valeur minimale	Valeur maximale
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 normaux sont destinés aux cas où aucune condensation ne peut se produire. Le cas de condensation effective doit être considéré comme des conditions de service non usuelles (voir 5.2.4).

b) Altitude

Moins de 1 000 m

c) Teneur de l'air en poussière et en particules solides pour les équipements en intérieur

Les équipements normaux sont destinés à être utilisés avec de l'air pur (IEC 60664-1, niveau de pollution 1). Les autres conditions éventuelles sont à spécifier par le client comme étant des conditions de service non usuelles (voir 5.2.4).

d) 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 non usuelles

Les conditions de service sont présumées être celles qui sont indiquées comme conditions de service normales. La liste ci-après donne des exemples de conditions de service non usuelles qui doivent faire l'objet d'un accord particulier 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;
- 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 non usuelles 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 assignées sont valables:

- charge résistive (W);
- charge fortement inductive (L);
- charge de type moteur (M);
- charge de batterie (B);
- charge capacitive (C);
- charge régénératrice (G).

Réciproquement, le client doit spécifier le type et les caractéristiques de la charge pour l'application considérée.

Exemples de charge exigeant une spécification détaillée:

- charge inductive exigeant 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 exigent 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 en courant alternatif ou en courant continu. Si aucune classe d'immunité n'est spécifiée, il doit être présumé que la classe B du Tableau 7 s'applique.

Pour les tensions rigides de connexion, les conditions de service électrique se réfèrent à l'IEC 61000-2-4. Il est également tenu compte de l'IEC 61000-2-2.

Se reporter également à l'IEC 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 en 5.4 correspondent à la pratique établie avant la publication de la série IEC 61000-2 fixant les niveaux de compatibilité.

NOTE 1 Alors que la série IEC 60146 établit des classes d'immunité allant d'un niveau d'immunité maximal à un niveau d'immunité minimal (immunité décroissante A, B, C), l'IEC 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 fabricant 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 l'IEC 61000-2-4:2002, à l'exclusion des inflexions et des interruptions temporaires (qui ne sont pas admissibles avec la plupart des convertisseurs), et aux niveaux d'immunité supplémentaires définis dans le Tableau 7, le Tableau 8 et le Tableau 9.

Classe d'immunité B Les niveaux d'immunité de classe B s'appliquent aux niveaux de compatibilité de classe 2 de l'IEC 61000-2-4:2002, à l'exclusion des inflexions et des interruptions temporaires (qui ne sont pas admissibles avec la plupart des convertisseurs), et aux niveaux d'immunité supplémentaires définis dans le Tableau 7, le Tableau 8 et le Tableau 9.

Classe d'immunité C Les niveaux d'immunité de classe C s'appliquent aux niveaux de compatibilité de classe 1 de l'IEC 61000-2-4:2002, à l'exclusion des inflexions temporaires (qui ne sont pas admissibles avec la plupart des convertisseurs), et aux niveaux d'immunité supplémentaires définis dans le Tableau 7, le Tableau 8 et le Tableau 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 l'IEC 61000-2-4:2002 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 alternative rigide

Perturbation	Valeurs applicables de l'IEC 61000-2-4:2002	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 $\Delta U/U_N$ (%)		+10 à –10	+10 à –10	+10 à –5	F
Niveaux de compatibilité de l'IEC 61000-2-4:2002 ^c	Tableau 1	+10 à –15	±10	±8	
b) Courte durée (de 0,5 cycle à 30 cycles) jusqu'aux valeurs assignées					
– Redressement uniquement (%)	–	±15	+15 à –10	+15 à –10	T
– Ondulation (%)	–	±15	+15 à –10	+15 à –7,5	T
Pour les conditions de surcharge, d'autres limites doivent être spécifiées séparément.					
NOTE 1 Les niveaux de compatibilité définis dans l'IEC 61000-2-4:2002 figurent également en caractères italiques pour référence.					
NOTE 2 Une baisse de fréquence est présumée ne pas coïncider avec une élévation de la tension réseau et vice versa.					
NOTE 3 Les variations de tension alternative temporaires ne sont pas susceptibles de se produire plus d'une fois toutes les 2 h.					
^a Pour la définition du code, se reporter au Tableau 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 exige l'utilisation de moyens spéciaux de commande.					
^b Le niveau de compatibilité pour les réseaux industriels de classe 2, selon l'IEC 61000-2-4:2002, est de ±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 alternative rigide

Perturbation	Valeurs applicables de l'IEC 61000-2-4:2002	Classe d'immunité			Critères de performance ^a
		A	B	C	
Facteur de déséquilibre de tension U_{neg}/U_{pos}					
a) Régime permanent (%)	Tableau 1	5	5	2	F
Niveaux de compatibilité de l'IEC 61000-2-4:2002 ^b (sur une quelconque plage de 10 min)		3	2	2	
b) Temporaire					
– Redressement uniquement (%)	–	8	5	3	T
– Ondulation (%)	–	5	5	2	T
NOTE 1 Les niveaux de compatibilité définis dans l'IEC 61000-2-4:2002 figurent également en caractères italiques pour référence.					
NOTE 2 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 3 Les déséquilibres de tension temporaires ne sont pas susceptibles de se produire plus d'une fois toutes les 2 h.					
^a Pour la définition du code, se reporter 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 alternative rigide

Perturbation	Valeurs applicables de l'IEC 61000-2-4:2002	Classe d'immunité			Critères de performance ^a
		A	B	C	
Forme d'onde de tension					
a) taux de distorsion harmonique total (THD) (%)	Tableau 5	25	10	5	F
Niveaux de compatibilité de l'IEC 61000-2-4:2002 ^b		10	8	5	
b) distorsion harmonique individuelle					
régime permanent impair (%)		8	6	3	F
pair (%)		2	2	1	F
Niveaux de compatibilité de l'IEC 61000-2-4:2002 ^b					
– rang 5 (%)	Tableau 2	8	6	3	
– autres rangs impairs à l'exclusion des multiples de 3	Tableau 2	Voir la classe 3 de l'IEC 61000-2-4:2002	Voir la classe 2 de l'IEC 61000-2-4:2002	Voir la classe 1 de l'IEC 61000-2-4:2002	
– multiples de 3	Tableau 3				
– rangs pairs	Tableau 4				
c) encoches de commutation (régime permanent)					
– amplitude (% de U_{LWM})	–	100	40	20	T
– surface (% de U_{LWM} × degré)	–	625	250	125	T

NOTE 1 Les niveaux de compatibilité définis dans l'IEC 61000-2-4:2002 figurent également en caractères italiques pour référence.

NOTE 2 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 3 Si plusieurs convertisseurs sont raccordés aux mêmes bornes de transformateur de conversion, il est présumé 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.

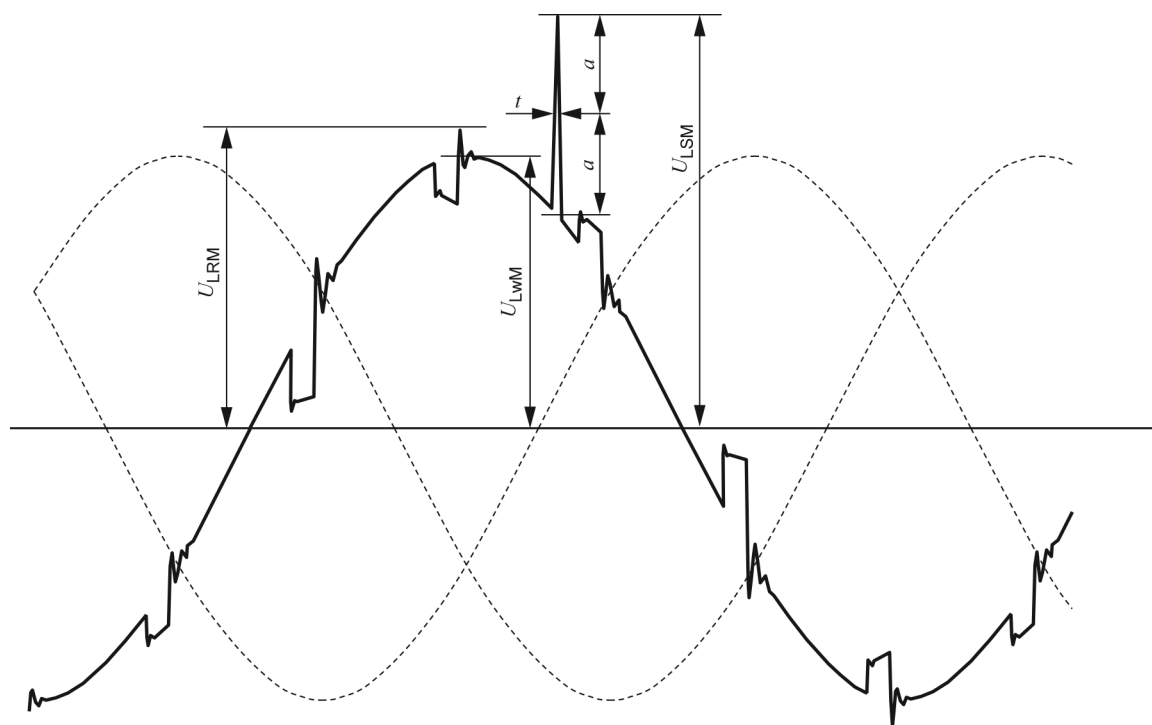
^b Classes d'environnement électromagnétique 3, 2, 1.

5.4.2 Transitoires répétitifs et non répétitifs

Les formes d'onde types en transitoires répétitifs et non répétitifs sont représentées à la Figure 4. Les caractéristiques suivantes doivent être spécifiées dans toute la mesure du possible:

- énergie transitoire disponible aux bornes du convertisseur (J);
- temps de montée (de 0,1 p.u. à 0,9 p.u. de la valeur de crête) (μs);
- valeur de crête U_{LRM}/U_{LWM} (p.u.);
- valeur de crête U_{LSM}/U_{LWM} (p.u.);
- durée supérieure à 50 % de la valeur de crête mesurée à partir de l'onde sinusoïdale (μs).

Le point e) décrit la durée de la tension transitoire non répétitive indiquée par U_{LSM} à la Figure 4. La durée est définie par les paramètres "a" et "t" dans la forme d'onde. "a" représente 50 % de l'amplitude de la tension non répétitive au-dessus de la partie sinusoïdale dans la forme d'onde (l'"onde sinusoïdale"). "t" désigne la largeur du transitoire non répétitif, mesurée en "a" à partir de la partie sinusoïdale, comme représenté à la Figure 4.



IEC

Figure 4 – Forme d'onde de tension alternative

NOTE Pour toute information supplémentaire sur les formes d'onde de tension alternative, voir l'IEC TR 60146-1-2.

6 Équipements et ensembles de conversion de puissance

6.1 Raccordements électriques

a) Convertisseurs normaux

Compte tenu de la nécessité de simplification dans le cas usuel des convertisseurs normaux couvrant la majorité des besoins des utilisateurs, deux types de convertisseurs sont examinés dans l'Article 6:

- 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 exigent deux enroulements secondaires (enroulements du côté de la valve) avec les montages en étoile (Y) et en triangle (D), respectivement.

b) Convertisseurs étudiés à la demande

Pour les convertisseurs soumis à un accord particulier entre le client, le fournisseur et, éventuellement, le distributeur, du fait de leur puissance, d'exigences particulières ou de leur mode de fonctionnement, se reporter à l'IEC TR 60146-1-2:2019, 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. L'IEC TR 60146-1-2 donne les facteurs de calcul également pour quelques autres montages.

Le Tableau 10 se compose de 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 représente le facteur de courant fondamental côté réseau, I_{1L}/I_d .
- La colonne 8 représente le facteur de courant côté réseau.
- La colonne 9 représente le facteur de courant côté valve.
- La colonne 10 représente le rapport de tension U_{di}/U_{v0} .
- La colonne 11 donne le rapport de tension U_{iM}/U_{di} .
- La colonne 12 donne le paramètre pour la variation inductive de tension (voir la Formule (10)).
- 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 donne les pertes garanties par le transformateur.
- La colonne 17 donne l'impédance de court-circuit garantie par le transformateur.

a) Rapports de tension

Les rapports de tension sont les suivants:

$$\frac{U_{di}}{U_{v0}} \quad (6)$$

$$\frac{U_{iM}}{U_{di}} \quad (7)$$

pour la tension continue fictive à vide et la tension continue fictive de crête à vide.

b) Facteur de courant côté réseau

Le facteur de courant côté réseau est le quotient de la valeur efficace I'_L du courant côté réseau du convertisseur et du courant continu I_d . Le facteur de courant côté réseau est indiqué dans le Tableau 10 en présumant 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:

$$\frac{U_L}{U_{v0}} = 1 \quad (8)$$

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:

$$I_L = I'_L \times \frac{U_{v0}}{U_L} \quad (9)$$

c) Variation inductive de tension nominale

La variation inductive de tension nominale peut être calculée à partir de la valeur de X_t au moyen de la Formule (10):

$$d_{xtN} = \frac{\delta \times q \times s}{2 \times \pi \times g} \times X_t \times \frac{I_{dN}}{U_{di}} \quad (10)$$

où

g est le nombre d'ensembles de groupes commutants entre lesquels se partage I_{dN} ;

I_{dN} est le courant continu assigné;

q est le numéro de commutation;

s est le nombre de groupes commutants en série;

U_{di} est la tension continue fictive à vide;

δ est le nombre de groupes commutant simultanément, par primaire.

Le paramètre ci-dessous utilisé dans la Formule (10) est énuméré dans le Tableau 10, colonne 12.

$$\frac{\delta \times q \times s}{g} \quad (11)$$

X_t est la réactance de commutation du transformateur mesurée conformément à l'IEC 61378-1:2011, 7.2.

U_{di} est calculé à partir de U_{v0} avec le paramètre de la colonne 10 du Tableau 10. Dans le

cas du convertisseur à 6 impulsions, $U_{di} = \frac{3\sqrt{2}}{\pi} U_{v0}$.

Pour plus de détails, voir l'IEC TR 60146-1-2:2019, 4.7.2.4.

d) Pertes du transformateur et impédance de court-circuit


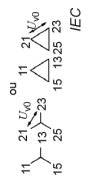
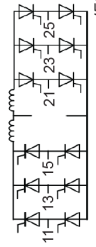

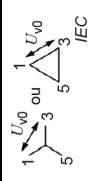
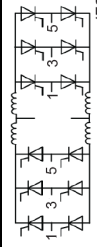
Le Tableau 10 donne les pertes garanties par le transformateur et l'impédance de court-circuit garantie par le transformateur. Pour les détails, voir l'IEC TR 60146-1-2:2019, 4.4.7 et 4.4.8, respectivement. Ces concepts sont définis à l'origine dans la série de normes IEC 61378 couvrant les transformateurs de conversion.

e) 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 spécifiques traitent de ce type de situations (voir l'IEC 62589).

Tableau 10 – Montages et facteurs de calcul

N°	Montage de transformateur		Montage de convertisseur	p ^a	q ^a	Facteur de courant fondamental côté réseau ^{b,d} I'1L / Id	Facteur de courant côté réseau ^b I'L / Id	Facteur de courant côté valve ^c Iv / Id	U _{di} / U _{v0}	U _{IM} / U _{di}	δigs / g	Bornes à court-circuiter pour la mesure en court-circuit ^d			Pertes de charge garanties par le transformateur ^e	Impédance de court-circuit garantie par le transformateur ^d
	Côté réseau u	Côté valve										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	$\left(\frac{1}{\sqrt{2}}\right)$	$0,450 \left(\frac{\sqrt{2}}{\pi}\right)$	$3,14 (\pi)$	2	-	-	-	-	-
Convertisseur simple, montages homogènes à deux voies																
7				2	2	-	1	1	$0,900 \left(\frac{2\sqrt{2}}{\pi}\right)$	$1,57 \left(\frac{\pi}{2}\right)$	4	-	-	-	-	-
8				6	3	$\frac{\sqrt{6}}{\pi}$ (≈ 0,78)	$0,816 \left(\frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}}\right)$	$0,816 \left(\frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}}\right)$	$1,35 \left(\frac{3\sqrt{2}}{\pi}\right)$	$1,05 \left(\frac{\pi}{3}\right)$	6	1-3-5	-	-	P _A	e _{XA}
9				12	3	$\frac{\sqrt{6}}{\pi}$ (≈ 0,78)	$0,789 \left(\frac{1+\sqrt{3}}{2\sqrt{3}}\right)$	$0,408 \left(\frac{1}{\sqrt{6}}\right)$	$1,35 \left(\frac{3\sqrt{2}}{\pi}\right)$	$1,05 \left(\frac{\pi}{3}\right)$	3	11-13-15	21-23-25	11-13-15 et 21-23-25	P _C	e _{XA} et e _{XB}
12				12	3	$\frac{2 \times \sqrt{6}}{\pi}$ (≈ 1,559)	$1,577 \left(\frac{1+\sqrt{3}}{\sqrt{3}}\right)$	$0,816 \left(\frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}}\right)$	$2,70 \left(\frac{6\sqrt{2}}{\pi}\right)$	$0,524 \left(\frac{\pi}{6}\right)$	12	11-13-15	21-23-25	11-13-15 et 21-23-25	P _C	e _{XA} et e _{XB}

N°	Montage de transformateur		Montage de convertisseur	p ^a	q ^a	Facteur de courant fondamental côté réseau b,d I'1L / I'd	Facteur de courant côté réseau b I'L / I'd	Facteur de courant côté valve c Iv / I'd	U _{di} / U _{v0}	U _{IM} / U _{di}	δqs / g	Bornes à court-circuiter pour la mesure en court-circuit d			Pertes de charge garanties par le transformateur e	Impédance de court-circuit garantie par le transformateur d	
	Côté réseau u	Côté valve										A	B	C			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
18																	
19																	
<p>18 Voir montage n° 8</p> <p>19 Voir montage n° 8</p>																	
<p>Pour tout autre montage, voir l'IEC TR 60146-1-2.</p> <p>a Se reporter au Tableau 1.</p> <p>b Se reporter au primaire du transformateur.</p> <p>c Se reporter au secondaire du transformateur.</p> <p>d Les symboles e_{xA} et e_{xB} de la colonne 17 montrent l'impédance de court-circuit garantie par le transformateur. e_{xA} est l'impédance de court-circuit inductive obtenue par la mesure en court-circuit A de la colonne 13. e_{xB} est celle obtenue par la mesure en court-circuit B de la colonne 14. Voir 4.4.8 de l'IEC TR 60146-1-2:2019.</p> <p>e Le Tableau 1 de l'IEC 61378-1:2011 ne contient pas les informations relatives aux lignes 1 et 7. Les cellules pour lesquelles aucune valeur pertinente n'est stipulée sont donc renseignées par un tiret "-". Lorsque les valeurs sont nécessaires, se référer aux manuels pour la théorie de conversion. Certaines informations peuvent être obtenues de l'IEC TR 60146-1-2:2019, Annexe C.</p>																	

6.2.2 Pertes et rendement

6.2.2.1 Généralités

Le rendement des ensembles convertisseurs ou des équipements 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.

NOTE L'évaluation des pertes par calcul peut être appliquée pour les grands convertisseurs qui, pour des raisons pratiques, ne peuvent pas être soumis à essai en usine ou en laboratoire. Le calcul des pertes s'effectue en pareil cas en se basant sur la mesure des pertes réelles des ensembles ou sur les procédures de calcul autorisées dans les normes de produit pertinentes. Un exemple typique est le convertisseur en courant continu à haute tension (CCHT), dont la détermination des pertes est spécifiée dans l'IEC 61803.

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 composant 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 composants de l'équipement de conversion de puissance, les paragraphes 6.2.2.2 et 6.2.2.3 doivent être pris en compte.

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 l'ensemble, 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 transformateurs interphases, les inductances de limitation et d'équilibrage du courant entre le transformateur et les ensembles 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 l'ensemble dans le cas où le transformateur et l'ensemble 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 l'ensemble 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 commuté 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 au 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, le facteur de puissance total est généralement calculé. Lorsque des calculs exacts du facteur de déphasage ou du facteur de puissance total sont exigés, il est nécessaire de connaître de nombreux paramètres, y compris l'impédance du réseau. Pour de tels calculs, se reporter à l'IEC TR 60146-1-2.

Les formules décrites en 6.2.3 peuvent être appliquées en présumant 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 commuté par le réseau sont connus, les formules suivantes donnent des valeurs approchées:

$$\text{Puissance active} \quad P = U_d \times I_d \quad (12)$$

$$\text{Puissance apparente fondamentale} \quad S_1 = U_{di} \times I_d \quad (13)$$

$$\text{Facteur de déphasage} \quad \cos \varphi_1 = P/S_1 \quad (14)$$

$$\text{Puissance réactive fondamentale } Q_1 = \sqrt{S_1^2 - P^2} \quad (15)$$

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.

Si cela est exigé, se reporter à l'IEC TR 60146-1-2 pour plus de détails.

6.2.4 Variation de tension

Les éléments suivants concernent les convertisseurs normaux (montage n° 8 dans le Tableau 10), commutés par le réseau, avec montage à double voie homogène triphasé, avec transformateur ou inductances 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 (16) en utilisant les pertes dans les composants P_r .

$$U_{dr} = \frac{P_r}{I_{dN}} \quad (16)$$

Le terme "composants" englobe les enroulements de transformateurs, les inductances série, les inductances de lissage, les diodes, les thyristors, les fusibles, etc.

b) Variation de tension continue due à l'inductance du circuit

La variation de tension due à l'inductance du circuit, comprenant les effets des réactances de la source d'alimentation et du câble d'alimentation ou du réseau, est calculée comme suit, cette formule étant basée sur la Formule (10).

$$d_{xtN} = \frac{\delta \times q \times s}{2 \times \pi \times g} \times X_{sum} \times \frac{I_{dN}}{I_{di}} \quad (17)$$

où

$X_{sum} = X_t + X'_L + X'_C$, la somme des réactances ci-dessous:

X_t est la réactance de commutation du transformateur de conversion vu du côté valve;

$X'_L = \left(\frac{U_{v0}}{U_L}\right)^2 \times X_L$ est la réactance du câble ou du réseau vue du côté valve à travers le transformateur de conversion;

$X'_C = \left(\frac{U_{v0}}{U_L}\right)^2 \times X_C$ est la réactance de la source d'alimentation vue du côté valve à travers le transformateur de conversion.

Pour les autres symboles et paramètres de la Formule (17), se reporter aux explications de la Formule (10). Pour plus de détails, voir l'IEC TR 60146-1-2:2019, 5.1.3.

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 exigé dans le 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 en étoile (Y), l'autre par l'enroulement secondaire en triangle (D), est traité séparément pour chaque convertisseur, en négligeant la réactance de fuite du primaire, qui est habituellement beaucoup plus faible que la réactance 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 Généralités

Dans le présent document, la fréquence industrielle est considérée comme étant la fréquence fondamentale des harmoniques. Pour plus d'informations, voir l'Annexe B.

6.3.1.2 Rang des harmoniques du courant et de la tension réseau

En présumant une symétrie parfaite des tensions d'alimentation, des angles de retard de commande, du rapport de transformation pour les enroulements en étoile (Y) et en triangle (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 :

$$h = kp \pm 1 \quad k = \text{entier } (1 \dots n) \quad (18)$$

La fréquence correspondante est liée à la fréquence fondamentale f_1 par:

$$f_h = h \times f_1 \quad (19)$$

et soumise aux variations de fréquence du réseau.

NOTE 1 Du fait d'erreurs résiduelles dans les tensions des enroulements en étoile (Y) et en triangle (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.

6.3.1.3 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 commutés 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 5^e harmonique) en utilisant des inductances en série avec les condensateurs.

6.3.1.4 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:

$$f_{h,dc} = k \times p \times f_1 \quad k = \text{entier } (1...n) \quad (20)$$

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.

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 exigé.

6.3.2 Autres aspects de la CEM

Outre les ondulations, qui représentent le principal problème de 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 4.2.3.2, tous les aspects de la compatibilité électromagnétique (CEM) relatifs à certains convertisseurs à semiconducteurs sont traités dans des normes spécifiques.

a) Interférences avec les réseaux de commande et de communication à faible courant internes

Il convient que le cheminement des câbles, le filtrage, les câbles pour signaux de retour et les câbles de courant faible, etc., lorsqu'ils sont installés par le client, soient conformes à toutes instructions données par le fournisseur ainsi qu'aux publications du CE 77 de l'IEC et aux exigences des autorités locales.

b) Interférences avec les liaisons téléphoniques et de télécommunications

Les convertisseurs industriels de conception normale ou les convertisseurs de conception particulière pour applications industrielles ne sont généralement pas conçus pour satisfaire aux exigences d'émission applicables aux équipements destinés à être utilisés dans des environnements résidentiels, tels que ceux spécifiés dans l'IEC 61000-6-3. Des limites d'émission sont données dans les normes de produit CEM spécifiques, voir 4.2.3.2. Lorsqu'il n'existe aucune norme de produit CEM, il convient que l'équipement soit conforme à la norme de famille de produits CISPR 11 ou à la norme d'émission générique applicable, telle que l'IEC 61000-6-4 ou l'IEC 61000-6-8.

Il convient que le client spécifie toutes exigences particulières dans l'appel d'offres ou, à défaut, qu'il précise le lieu d'implantation, le type de réseau d'alimentation, l'utilisation prévue 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 de conception normales 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.

Il est à noter que le présent document ne prévaut pas sur une norme de produit spécifique. À savoir, compte tenu du fait que les caractéristiques de charge varient en fonction de l'application, les exigences relatives à un produit doivent être spécifiées par les normes de produit correspondantes, le cas échéant. Par exemple, 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 données dans l'IEC 61800-2 et l'IEC TR 61800-6.

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 en service continu assignée par le fournisseur.

La tension de sortie maximale doit satisfaire aux exigences dynamiques de l'usage prévu ou doit être spécifiée séparément par le client.

NOTE Fréquemment, un convertisseur commuté par le réseau nécessite d'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 de machines 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 conversion 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 commuté 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 formulant la recommandation selon laquelle 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

À chaque équipement de conversion de puissance doit être assignée une valeur pour le courant assigné, ainsi qu'une classe de service spécifiée, à moins que le courant assigné ne soit associé à un service continu (voir cycle de service, IEC 60050-151:2001, 151-16-02). Une valeur relative au courant assigné en service continu doit par ailleurs être assignée aux ensembles. Cette valeur assignée correspond au courant continu assigné en service continu (valeur maximale) I_{dMN} (voir 3.6.10).

Indépendamment de la classe de service qui lui est assignée, le convertisseur et ses sous-ensembles constituants 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, jusqu'à (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 constituants 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 PCE d'atteindre la température correspondant à un fonctionnement au 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 assigné 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 PCE d'atteindre la température correspondant à un fonctionnement au 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 courant en spécifiant leurs durées respectives, comme défini en 3.6.15.

6.5 Classes de service

6.5.1 Principes

Le paragraphe 6.5 a été rédigé en prenant pour exemple les applications de convertisseurs commutés par le réseau énumérées dans le Tableau 12, dans lesquelles les charges présentent des variations cycliques.

Il est à noter que le présent document ne prévaut pas sur une norme de produit spécifique. Par conséquent, dans le cas où la charge d'un produit présente des caractéristiques différentes de celles qui sont présumées, les normes de produit appropriées doivent être appliquées.

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 définis 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 sont à spécifier pour chaque classe de service.

Si aucune classe de service normale appropriée n'est identifiée dans le Tableau 11, le service doit être spécifié sur la base d'un accord entre le client et le fournisseur. Le courant assigné peut être égal à la valeur efficace du cycle de charge répétitive correspondant à la période de 15 min d'exposition à la charge la plus élevée, sauf spécification contraire.

Le Tableau 11 présente des classes de service normales, qui spécifient les limites de courant selon les valeurs et les durées.

Chaque valeur de courant spécifiée dans le Tableau 11 s'applique 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 normales

Classe de service	Valeurs assignées des courants de convertisseurs et conditions d'essai des ensembles convertisseurs (valeurs relatives du courant assigné par unité de I_{dN})
I	1,00 p.u. avec fonctionnement continu
II	1,00 p.u. avec fonctionnement continu 1,50 p.u. 1 min
III	1,00 p.u. avec fonctionnement continu 1,50 p.u. 2 min 2,00 p.u. 10 s
IV	1,00 p.u. avec fonctionnement continu 1,25 p.u. 2 h 2,00 p.u. 10 s
V	1,00 p.u. avec fonctionnement continu 1,50 p.u. 2 h 2,00 p.u. 1 min
VI	1,00 p.u. avec fonctionnement continu 1,50 p.u. 2 h 3,00 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 typiques présumées pour les classes de service normales sont fournis dans le Tableau 12, avec une indication d'applications pour chaque classe.

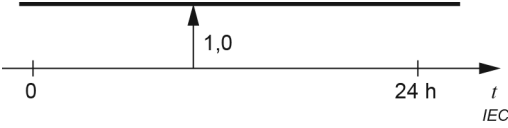
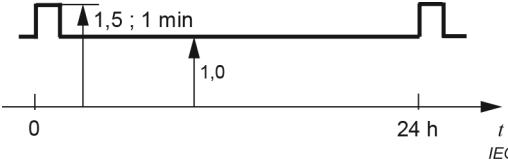
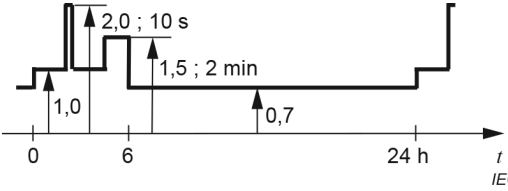
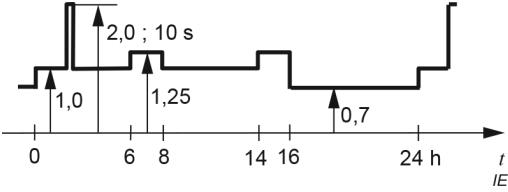
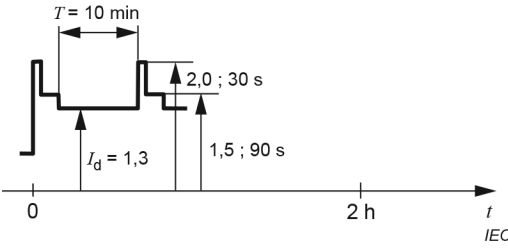
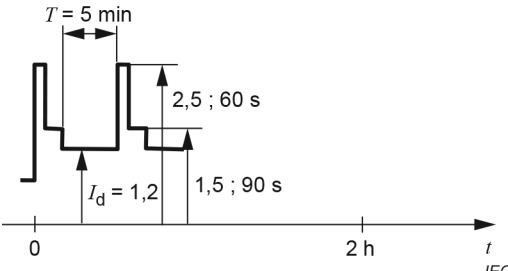
Le diagramme de charge attendu doit être examiné afin d'obtenir des recommandations pour déterminer le courant assigné du PCE.

Les conditions de charge indiquées dans le Tableau 12 sont moins sévères que les valeurs de courant assigné spécifiées dans le Tableau 12. Il en résulte 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. Cette restriction est due au fait que la constante de temps thermique des ensembles 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 et les valeurs de courant correspondantes 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 charge typiques présumées 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 border="1" data-bbox="715 1400 1050 1512"> <thead> <tr> <th></th> <th>I_d (p.u.)</th> <th>T (min)</th> <th>$I_{d,rms}$ (p.u.)^a</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0 h to 2 h</td> <td>1,3</td> <td>10</td> <td>1,36</td> </tr> <tr> <td>2 h to 10 h</td> <td>0,8</td> <td>15</td> <td>0,94</td> </tr> <tr> <td>10 h to 12 h</td> <td>1,3</td> <td>10</td> <td>1,36</td> </tr> <tr> <td>12 h to 24 h</td> <td>0,7</td> <td>30</td> <td>0,79</td> </tr> </tbody> </table>		I_d (p.u.)	T (min)	$I_{d,rms}$ (p.u.) ^a	0 h to 2 h	1,3	10	1,36	2 h to 10 h	0,8	15	0,94	10 h to 12 h	1,3	10	1,36	12 h to 24 h	0,7	30	0,79
	I_d (p.u.)	T (min)	$I_{d,rms}$ (p.u.) ^a																			
0 h to 2 h	1,3	10	1,36																			
2 h to 10 h	0,8	15	0,94																			
10 h to 12 h	1,3	10	1,36																			
12 h to 24 h	0,7	30	0,79																			
VI	Sous-station de grande traction $I_d = 1,5$ p.u. (2 h)	 <table border="1" data-bbox="715 1809 1050 1921"> <thead> <tr> <th></th> <th>I_d (p.u.)</th> <th>T (min)</th> <th>$I_{d,rms}$ (p.u.)^a</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0 h to 2 h</td> <td>1,2</td> <td>5</td> <td>1,50</td> </tr> <tr> <td>2 h to 10 h</td> <td>0,8</td> <td>6</td> <td>1,26</td> </tr> <tr> <td>10 h to 12 h</td> <td>1,2</td> <td>5</td> <td>1,50</td> </tr> <tr> <td>12 h to 24 h</td> <td>0,7</td> <td>20</td> <td>0,93</td> </tr> </tbody> </table>		I_d (p.u.)	T (min)	$I_{d,rms}$ (p.u.) ^a	0 h to 2 h	1,2	5	1,50	2 h to 10 h	0,8	6	1,26	10 h to 12 h	1,2	5	1,50	12 h to 24 h	0,7	20	0,93
	I_d (p.u.)	T (min)	$I_{d,rms}$ (p.u.) ^a																			
0 h to 2 h	1,2	5	1,50																			
2 h to 10 h	0,8	6	1,26																			
10 h to 12 h	1,2	5	1,50																			
12 h to 24 h	0,7	20	0,93																			

^a $I_{d,rms}$ est la valeur efficace pendant le cycle de charge.

6.5.3 Remarques particulières pour les 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. Pour la section convertisseur d'un convertisseur double, voir 3.3.10.

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 particulières pour les convertisseurs doubles destinés aux entraînements de moteurs à vitesse variable peuvent être consultées dans l'IEC TR 61800-6.

6.6 Marquages

6.6.1 Généralités

Chaque PCE qui est livré comme élément complètement assemblé et chaque ensemble livré séparément doivent comporter les marquages suivants.

- a) Indication claire du fabricant ou du fournisseur
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.
Cette indication peut être inscrite sur la plaque signalétique. Il convient que l'indication, pour les PCE, comprenne le mode de fonctionnement 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 ensembles et des équipements

Le produit doit être fourni avec les informations suivantes. Pour les produits non couverts par leurs propres normes spécifiques, la plaque signalétique doit comporter les indications suivantes:

- 1) la référence d'identification, la désignation du type par le fabricant et le numéro de série;
- 2) le nombre de phases d'entrée (y compris le neutre s'il est nécessaire qu'il soit 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 est nécessaire qu'il soit raccordé) ou la mention "c.c.";
- 7) la tension de sortie assignée (appelée "tension continue assignée" dans le cas des redresseurs);
- 8) le courant de sortie assigné (appelé "courant continu assigné" dans le cas des 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 ensembles uniquement);
- 15) le courant de court-circuit symétrique maximal admissible prévu de la source d'alimentation (valeur efficace);
- 16) la référence du présent document.

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 du présent document, lorsqu'une norme de produit spécifique ou une norme de sécurité de produit spécifique définit des exigences relatives à la plaque signalétique, cette norme spécifique 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 ensembles de valves et des équipements de conversion de puissance

7.1 Généralités

7.1.1 Méthodes d'essai

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, l'ensemble 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. Le présent document est par conséquent rédigé de telle sorte que les essais effectués sur des équipements de grande puissance peuvent être limités aux essais effectués dans les ateliers du fabricant sur les ensembles séparés destinés à être expédiés séparément.

D'autres essais, comme ceux effectués sur les équipements complets de grande puissance, ou les essais effectués sur le lieu d'installation, ne sont à inclure 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 Nature des essais

Deux types d'essais différents sont nécessaires.

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 le présent document et/ou à des exigences spécifiées séparément.

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 de série 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 du présent document sont satisfaites.

7.1.3 Exécution des essais

Les essais doivent être effectués dans des conditions électriques équivalent à celles du service réel. Si cela n'est pas réalisable dans la pratique, les ensembles et les équipements doivent être respectivement soumis à essai dans des conditions telles que les performances spécifiées puissent être démontrées.

Dans les essais d'équipements, l'ensemble et les autres constituants de l'équipement peuvent être soumis à essai séparément si cela est plus approprié. En cas d'essais séparés, le module ou l'ensemble 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 se situer dans la plage de fréquences présentée en 7.2.2.3.

Lorsque le client 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 s'appliquent à l'ensemble 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 de série	Essai facultatif	Paragraphe de spécification
Examen visuel	x	x		
Essai d'isolement	x	x		7.2
Essai à faible charge et essai de fonctionnement	x	x		7.3.1
Essai au 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 ensembles 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 de l'équipement 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 sont à effectuer sous forme d'essais de type ainsi que sous forme d'essais individuels de série 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:

- un essai sous tension alternative ou continue permettant de couvrir l'effet des surtensions temporaires provenant de l'alimentation réseau;
- un essai de tension de choc permettant de couvrir l'effet des surtensions transitoires de choc générées dans l'alimentation réseau;
- des essais de décharge partielle effectués sur l'isolement sous charge permettant de couvrir l'effet des surtensions de choc, des surtensions temporaires, ainsi que des 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 basé sur l'exigence de l'IEC 62477-1 ou de l'IEC 62477-2, sauf si les normes de produit pertinentes sont fournies.

Le choix des essais individuels de série et des tensions d'essai correspondantes doit être basé sur l'exigence de l'IEC 62477-1 ou de l'IEC 62477-2, sauf si les normes de produit pertinentes sont fournies.

Le paragraphe 7.2.2 présente les essais individuels de série portant sur l'isolement. Si une quelconque incohérence est identifiée dans la série IEC 62477, les exigences de l'IEC 62477-1 ou de l'IEC 62477-2 doivent prévaloir.

Pour la relation entre la série IEC 60146 et la série IEC 62477, voir l'Annexe B.

7.2.2 Essais individuels de série portant sur l'isolement des équipements de conversion de puissance

7.2.2.1 Essai sous tension alternative ou continue

Lorsque cela est possible, 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 du Tableau 14 ou du Tableau 15 couvrent les essais individuels de série de l'isolation principale, de l'isolation supplémentaire, de l'isolation double et de l'isolation renforcée, en plus des essais de type portant sur l'isolation principale (voir les définitions 3.11.12, 3.11.13, 3.11.14 et 3.11.15).

NOTE La tension de tenue de l'isolation double ou de l'isolation renforcée est supérieure à la tension de tenue de l'isolation principale. Toutefois, pour prévenir tout endommagement de l'isolation sous charge par décharge partielle, les essais individuels de série utilisent une seule tension d'essai pour l'isolation principale, l'isolation supplémentaire, l'isolation double et l'isolation renforcée, en présumant que la validité des différents systèmes a été dûment vérifiée au moyen d'essais de type.

L'isolation fonctionnelle n'est pas prise en considération, à moins qu'elle ne soit spécifiée par le client 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.

Si cela est réalisable dans la pratique, 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 les condensateurs de filtres haute fréquence. Dans ce cas, il est recommandé d'utiliser la tension d'essai continue 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 de série. Si une feuille métallique ne permet pas de recouvrir entièrement l'enveloppe, un recouvrement partiel doit être appliqué aux parties considérées comme importantes concernant la protection.

Les cartes imprimées et les modules à connecteurs multiprises peuvent être débrosés, déconnectés ou remplacés par des circuits factices pendant l'essai sous tension alternative ou continue.

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 sous tension alternative ou continue. 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.

Le circuit adjacent ou le circuit TBTP ou TBTS peuvent être raccordés à la terre pour cet essai.

NOTE 1 Il est décrit ci-dessus de soumettre à essai l'isolation principale entre les circuits TBTP et TBTS. Pour l'essai de l'isolation fonctionnelle entre des circuits TBTP adjacents ou des circuits TBTS adjacents, voir 7.2.2.1, troisième alinéa.

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 soumettre à essai l'isolation double ou l'isolation renforcée qui sépare 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 l'isolation renforcée.

7.2.2.3 Durée de l'essai sous tension alternative ou continue

L'essai de tension doit être réalisé avec une tension sinusoïdale dont la fréquence est comprise entre 45 Hz et 65 Hz. Si le circuit comporte des condensateurs, l'essai peut être effectué avec une tension continue d'une valeur égale à la valeur de crête de la tension alternative 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 de série. La tension d'essai peut être appliquée avec une tension en rampe croissante et/ou décroissante, mais la pleine tension doit être maintenue pendant la durée spécifiée.

Pour les exigences détaillées des procédures d'essai et des circuits d'essai, se reporter à l'Article 5 et à l'Article 6 de l'IEC 61180:2016.

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 alternatives ou continues applicables aux équipements directement raccordés au réseau basse tension sont fournies dans le Tableau 14.

Dans le Tableau 14, U étant la tension d'isolement assignée et comprise entre 0 V et 1 000 V, la tension d'essai alternative est égale à $(U + 1\,200)$ V et la tension d'essai continue est égale à $\sqrt{2} \frac{3\sqrt{2}}{\pi} \times (U + 1\,200)$ V.

Tableau 14 – Tensions d'essai alternatives ou continues applicables aux équipements directement raccordés au réseau basse tension

Tension d'isolement assignée V (voir 3.11.9)	Tensions d'essai V	
	Alternatives (valeur efficace)	Continues
≤ 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
L'interpolation est admise.		

Pour les équipements de tension supérieure, dépassant 1 000 V en courant alternatif et directement raccordés au réseau haute tension, les tensions d'essai alternatives ou continues sont données dans le Tableau 15 (voir 7.2.2.1).

Pour les tensions d'essai du Tableau 15, les explications sont données ci-dessous.

U étant la tension d'isolement assignée et comprise entre 1 000 V et 7 200 V, la tension d'essai alternative est égale à $(2,7 \times U + 300)$ V et la tension d'essai continue est égale à $\sqrt{2} \frac{3\sqrt{2}}{\pi} \times (2,7 \times U + 300)$ V.

U étant comprise entre 7 200 V et 36 000 V, la tension d'essai alternative est égale à $(1,8 \times U + 7\,200)$ V et la tension d'essai continue est égale à $\sqrt{2} \frac{3\sqrt{2}}{\pi} \times (1,8 \times U + 7\,200)$ V.

Tableau 15 – Tensions d’essai alternatives ou continues applicables aux équipements directement raccordés au réseau haute tension

Tension d’isolement assignée V (voir 3.11.9)	Tensions d’essai V	
	Alternatives (valeur efficace)	Continues
> 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
L’interpolation est admise.		

Pour les équipements qui ne sont pas directement raccordés au réseau, les tensions d’essai alternatives sont données dans l’IEC 62477-1:2022, Tableau 29. Sauf spécification contraire, la tension d’essai doit être convenue entre le client et le fournisseur. Il convient que le principe consiste ici à définir la tension d’essai alternative avec une valeur efficace non inférieure à 1,15 fois la tension totale utilisée pour définir la capacité d’arrêt des dispositifs à semiconducteurs qui sont le plus exposés aux surtensions à l’intérieur du circuit. Lorsque la tension continue 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 le plus exposées aux surtensions à l’intérieur du circuit.

NOTE 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.

7.2.3 Essais supplémentaires

7.2.3.1 Résistance d’isolement

La résistance d’isolement est à mesurer 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 soit supérieure à 1 000 Ω/V. La mesure de la résistance d’isolement n’est pas nécessaire pour les essais individuels de série.

Les résistances de mise à la terre, le cas échéant, 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 est à spécifier séparément.

7.2.3.2 Essais effectués sur accord

Des essais d'isolement autres que ceux spécifiés dans le présent document ne doivent être effectués que sur accord préalable avant commande.

Pour les convertisseurs à haute tension (de 3,6 kV à 36 kV), dont l'ensemble est raccordé sans transformateur de conversion au réseau de tension alternative, un essai de choc peut être effectué en plus de l'essai sous tension alternative ou continue, si cela est spécifié séparément.

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 de série, 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 au 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 en service continu puisse circuler, doit être appliquée aux bornes côté réseau du convertisseur. Pendant l'essai, l'équipement de conduite, s'il existe, et les auxiliaires sont à alimenter séparément sous la tension assignée.

Par une coordination appropriée de la commande, si elle existe, et de la tension alternative appliquée, le courant assigné en service continu 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 sont à appliquer sur l'intervalle spécifié. Les valeurs spécifiées de tension et de courant sont à enregistrer. 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 au 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 transducteurs, 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 L'ondulation du côté continu et le déséquilibre du côté alternatif de l'entrée ou de la sortie de l'équipement sont consignés lors de la mesure.

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; ou
- par calcul au moyen d'une simulation validée.

Pour les convertisseurs intégrés aux équipements basse tension dont le courant d'entrée assigné est supérieur à 16 A et inférieur ou égal à 75 A, l'IEC 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: IEC 61000-3-2, IEC 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 fabricant dans des conditions définies (par exemple court-circuit côté continu), ou une fois que les équipements sont installés sur le site du client.

La mesure des courants harmoniques doit être effectuée:

- en utilisant les instruments et les méthodes de mesure conformes à l'IEC 61000-4-7;
- en ne tenant pas compte des courants harmoniques individuels inférieurs à 1 % du courant fondamental de référence; et
- 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 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 du présent document.

7.4 Pertes, température et facteur de puissance

7.4.1 Détermination des pertes de puissance dans les ensembles et les équipements

7.4.1.1 Généralités

Les pertes dans les ensembles et les équipements peuvent être déterminées soit par le calcul, sur la base des mesures effectuées, soit 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 une composante constante à laquelle s'ajoute une composante résistive directement proportionnelle 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 à l'ensemble et par lesquelles transitent le courant de phase côté valve 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 exigée 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. L'essai 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 de l'ensemble convertisseur ont atteint la température d'équilibre pour le courant continu assigné.

Lorsque le transformateur de conversion est inclus dans la mesure des pertes de puissance, la mesure doit être effectuée conformément à la norme IEC 61378:2011 relative aux transformateurs de conversion.

NOTE Il est possible que les pertes du transformateur nécessitent d'être corrigées en tenant compte de ses caractéristiques de température.

7.4.1.3 Circuits d'essai

Des recommandations sur les montages qui peuvent être utilisés pour les essais sont données dans l'IEC 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 dans les supresseurs de surtensions, s'il y a lieu, sont à calculer et à prendre 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 sont à effectuer. 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 composants 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 de l'ensemble 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. S'il est cependant exigé de mesurer le facteur de puissance, celui-ci doit être déterminé en tant que facteur de déphasage $\cos \varphi_1$ (voir 3.7.14) conformément à 6.2.3.

7.5 Dispositifs auxiliaires et équipement de 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 cela est réalisable dans la pratique, cette vérification peut être effectuée conjointement avec l'essai à faible charge.

7.5.2 Vérification des propriétés de l'équipement de commande

Il n'est pas possible de vérifier les propriétés de l'équipement 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 fabricant, elle pourra l'être après installation, avec accord de l'utilisateur.

Lorsque cela est réalisable dans la pratique, 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 s'y rapportant.

Des essais individuels de série doivent être effectués pour vérifier le fonctionnement des dispositifs de protection. Il n'est toutefois pas prévu de devoir vérifier le fonctionnement des dispositifs tels que les fusibles, etc., lorsque ledit fonctionnement repose sur la destruction du composant actif.

7.6 Essais de CEM

Il existe deux aspects 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 règlements nationaux relatifs à la prévention des perturbations radioélectriques sont susceptibles de limiter l'aptitude à réaliser certains essais d'immunité à l'extérieur d'une chambre blindée CEM.

NOTE 2 Les essais d'immunité effectifs incluent généralement des essais sur les ports auxiliaires et de commande ainsi que sur le port d'alimentation principal.

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. La spécification distincte peut être constituée par des règlements nationaux.

NOTE 3 Les perturbations issues d'un équipement complet peuvent différer des perturbations produites par des unités fonctionnelles. Par exemple, les perturbations radioélectriques produites par un système d'entraînement à vitesse variable comprenant le convertisseur et le moteur sont très différentes des perturbations produites par un convertisseur considéré indépendamment.

7.7 Mesure du bruit audible et essais supplémentaires

Les procédures d'essai et les limites s'y rapportant 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) provoquent des différences par rapport aux valeurs calculées ou mesurées.

La spécification et les procédures propres aux essais supplémentaires éventuels, si nécessaire, 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

Paragraphe	Caractéristique	Tolérance
7.4.1	Pertes dans les ensembles	+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)	La tolérance de rendement doit correspondre à la valeur la plus stricte parmi: ^a 1) la valeur correspondant à +0,2 p.u. des pertes 2) -0,002 p.u. (-0,2 %) À savoir, le rendement doit être d'au moins $[x - 0,2] \%$, où x est la valeur garantie.
7.4.3	Facteur de déphasage calculé	$-0,2 \times (1 - \cos \phi_1)$
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 ^b	$\pm 0,1 U_{dN}$
<p>^a Avec les relevés des mesures des pertes: P pour la puissance de sortie et P_L pour les pertes, le premier critère fournissant une condition pour la tolérance sur les pertes ΔP_L.</p> <p>$\Delta P_L < 0,2 P_L$</p> <p>Le rendement η est calculé comme suit</p> <p>$\eta = P / (P + P_L)$</p> <p>La tolérance relative au rendement $\Delta \eta$, correspondant à la tolérance ΔP_L, est calculée approximativement comme suit</p> <p>$\Delta \eta = [(P_L + \Delta P_L) / (P + P_L + \Delta P_L)] - [(P_L) / (P + P_L)] \approx [\Delta P_L / P]$</p> <p>Par conséquent, le deuxième critère pour la tolérance relative au rendement fournit l'autre condition pour ΔP_L.</p> <p>$\Delta P_L \approx [\Delta \eta \times P] < 0,002P$</p> <p>En résumé, pour le calcul du rendement, la tolérance sur les pertes ΔP_L respecte la plus stricte des deux conditions suivantes:</p> <p>$\Delta P_L < 0,2 P_L$</p> <p>$\Delta P_L < 0,002 P$</p> <p>Pour information, le premier critère suppose que la tolérance relative au rendement soit d'environ $0,2 P_L / P$.</p> <p>^b Pour les équipements équipés d'un réglage automatique d'une grandeur de sortie, la tolérance sur cette grandeur doit être spécifiée.</p>		

Annexe A (normative)

Harmoniques et interharmoniques

A.1 Tensions et courants non sinusoïdaux

Le courant côté réseau d'un convertisseur commuté par le réseau est généralement similaire à un train d'ondes trapézoïdales, comme représenté à la

Figure 2. La fréquence de répétition de la forme d'onde de courant est égale à la fréquence de la tension du réseau pour la commutation. La tension du réseau pour la commutation peut être déformée, comme représenté à la Figure 4, à moins que des contre-mesures appropriées ne soient prises. La fréquence de répétition de la forme d'onde de tension déformée est également égale à la fréquence de la tension du réseau pour la commutation.

Ainsi, la forme d'onde de courant et la forme d'onde de tension comprennent les composantes harmoniques, dont la fréquence est des multiples entiers de la fréquence de la tension du réseau pour la commutation, comme indiqué par la Formule (19).

Cependant, lorsque les harmoniques sont mesurées dans des installations réelles, des composantes harmoniques avec un multiple non entier de la fréquence fondamentale peuvent être observées. Ces composantes sont appelées des interharmoniques. Pour la mesure des harmoniques, se reporter à l'IEC 61000-4-7.

A.2 Deux approches pour les définitions relatives aux harmoniques

Deux approches différentes ont permis d'établir un ensemble de définitions relatives 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 (IEC 61000-2-2:2002, 3.2.1, et IEC 61000-2-4:2002, 3.2.1).

Pour les besoins du présent document, la fréquence fondamentale est identique à la fréquence industrielle qui alimente le convertisseur, ou à la fréquence fournie par le convertisseur selon le cas pris en considération.

La définition ci-dessus s'applique raisonnablement dans la pratique, comme décrit ci-dessous.

Dans de nombreux cas, les convertisseurs commutés par le réseau sont connectés à l'alimentation du réseau. La tension de commutation est alimentée par le réseau. La fréquence de la tension de commutation est la fréquence industrielle du réseau. Dans les cas où les convertisseurs commutés par le réseau fournissent la puissance aux charges ou aux machines, la fréquence de la tension de commutation est déterminée par le convertisseur. Dans ces cas, la fréquence de la tension de commutation est également la fréquence industrielle du réseau alimentant les charges ou les machines. Comme expliqué à l'Article A.1, les fréquences des composantes harmoniques sont le multiple entier de la tension de commutation. Ainsi, les fréquences des composantes harmoniques sont des multiples entiers de la fréquence industrielle.

La seconde approche définit les composantes harmoniques comme le résultat de l'analyse de Fourier; les fréquences sont ainsi considérées comme une conséquence (IEC 60050-551:1998, 551-20-01 et 551-20-02). Cependant, cette approche n'est pas supérieure à la première du point de vue pratique.

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 du comité d'études 77 de l'IEC, et de ses sous-comités. Tous les aspects de la CEM sont développés dans des normes spécifiques comme indiqué en 4.2.3.2. 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 plages 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 l'IEC TR 60146-1-2.

NOTE De telles informations peuvent ne pas être disponibles. Dans ce cas, l'approche ci-dessous est retenue à titre d'exemple.

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.

Lorsqu'un accord se révèle nécessaire avec le client pour mettre au point les exigences applicables, les renseignements mentionnés ci-dessus sont utilisés 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 établies par le sous-comité 77A de l'IEC.

Quatre normes ou Rapports techniques traitent de l'émission de courants harmoniques:

- l'IEC 61000-3-2: équipements basse tension avec courant appelé ≤ 16 A par phase;
- l'IEC TS 61000-3-4: le Rapport technique concernant les réseaux basse tension et les équipements ayant un courant assigné supérieur à 75 A;
- l'IEC 61000-3-12: équipements connectés aux réseaux publics basse tension avec un courant appelé compris entre 16 A et 75 A par phase (conditions d'utilisation restreintes);
- l'IEC TR 61000-3-6: charges déformantes appliquées sur des réseaux d'alimentation MT et HT.

NOTE 1 L'IEC 61000-3-2, l'IEC TS 61000-3-4 et l'IEC 61000-3-12 s'appliquent uniquement aux équipements destinés à être raccordés à des réseaux publics d'alimentation basse tension en courant alternatif. Cela est indiqué dans les domaines d'application de ces normes.

Quatre normes ou Rapports techniques traitent des variations et des fluctuations de tension, ainsi que du papillotement (ou flicker):

- l'IEC 61000-3-3: équipements basse tension avec courant appelé ≤ 16 A par phase;
- l'IEC TS 61000-3-5: équipements basse tension avec courant appelé supérieur à 75 A;
- l'IEC 61000-3-11: équipements basse tension avec un courant appelé ≤ 75 A (conditions d'utilisation restreintes);
- l'IEC TR 61000-3-7: charges variables appliquées sur des réseaux d'alimentation MT et HT.

NOTE 2 L'IEC 61000-3-3, l'IEC TS 61000-3-5 et l'IEC 61000-3-11 s'appliquent uniquement aux équipements destinés à être raccordés à des réseaux publics d'alimentation basse tension en courant alternatif. Cela est indiqué dans les domaines d'application de ces normes.

Des recommandations concernant différentes applications sont également fournies dans les normes de produit CEM spécifiques (voir 4.2.3.2).

Lorsque ni le site final ni l'utilisateur ne sont connus, il convient, pour les convertisseurs normaux, que le fournisseur choisisse la "classe d'immunité" d'après son expérience et qu'il 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 Systèmes et installations

Un convertisseur est généralement un composant d'un réseau plus important. Pour éviter toute confusion dans le présent document, le mot "installation" est ici utilisé exclusivement pour désigner l'installation complète qui est connectée à un point de couplage commun (PCC) sur un réseau d'alimentation public.

Au sein de l'installation, un convertisseur est raccordé à un point de couplage donné. Les caractéristiques de fonctionnement harmonique du convertisseur dépendent des caractéristiques du réseau au point de couplage.

Pour une installation donnée, la puissance souscrite S_{ST} définit le courant de référence équivalent I_{TN} (valeur efficace totale):

$$S_{ST} = U_N \times I_{TN} \times \sqrt{3} \quad (\text{B.1})$$

où

U_N est la tension entre phases nominale (ou déclarée) au PCC;

I_{TN} est le courant de référence.

NOTE 1 I_{TN} est proche de la valeur du courant de déclenchement du disjoncteur principal de l'installation.

S_{ST} représente la puissance qui peut être délivrée à tout moment par le réseau public d'alimentation à l'installation. L'hypothèse suivante peut être retenue: à chaque puissance interne souscrite est associée une puissance de court-circuit (niveau de défaut) S_{SC} raisonnable, définie au PCC. Cela relève de la responsabilité des services de distribution de l'énergie.

NOTE 2 La "puissance souscrite" résulte d'un accord entre l'utilisateur (propriétaire de l'installation) et les responsables des services publics.

Lorsque la puissance souscrite 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 souscrite S_{ITA} , pour une installation à un point IPCA (point de couplage interne) donné, définit le courant de référence équivalent I_{TNA} (valeur efficace totale) pour la partie A de l'installation alimentée depuis l'IPCA:

$$S_{ITA} = U_N \times I_{TNA} \times \sqrt{3} \quad (\text{B.2})$$

où

U_N est la tension entre phases assignée à l'IPCA.

NOTE 3 I_{TNA} est le courant assigné de la section d'alimentation de la partie A de l'installation.

I_{TNA} est proche de la valeur assignée du disjoncteur protégeant cette partie A. L'hypothèse suivante peut être retenue: à chaque puissance interne souscrite est associée une puissance de court-circuit (niveau de défaut) S_{SCA} raisonnable, définie à l'IPCA. Cela relève de la responsabilité des autorités en charge de la distribution d'énergie interne.

B.2.2 Rapport 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 point de couplage défini avec la puissance apparente assignée de l'installation ou d'une partie de l'installation alimentée depuis ce point de couplage (voir la Figure B.1):

$$R_{SIA} = S_{SCA} / S_{ITA} = I_{SCA} / I_{TNA} \quad (\text{B.3})$$

L'indice "A" indique la partie considérée de l'installation.

NOTE 1 Le paragraphe 3.9.9 définit 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 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."

Cette définition peut s'appliquer à toute l'installation. Dans ce cas, le point de couplage (PC) est le point de couplage commun (PCC), et I_{TNA} correspond à la puissance souscrite.

Cette définition peut également s'appliquer à une partie d'une installation de courant assigné I_{TNA} . Le rapport de courant de court-circuit de la source dans l'installation R_{SIA} s'énonce comme le rapport du courant de court-circuit au point de couplage interne (IPCA) de cette partie de l'installation à son courant assigné.

Par extension, cette définition peut également être appliquée à une partie d'un équipement de courant assigné I_{TNI} . R_{SII} s'énonce comme le rapport du courant de court-circuit présent au point interne observé (fourni par la source) au courant assigné de la partie de l'équipement alimenté. Cette définition est uniquement réservée à la prise en compte des contraintes internes d'un équipement.

NOTE 2 À la Figure B.1, l'installation présente une partie A avec un rapport de courant de court-circuit de la source R_{SIA} . Cette partie A contient une partie B qui a un rapport de courant de court-circuit de la source R_{SIB} . La partie A contient également une partie C, etc. La partie B contient à son tour une partie B1, une partie B2, etc. Cette répartition permet une analyse et l'évaluation des différents rapports du courant de court-circuit de la source aux différents points de couplage possibles.

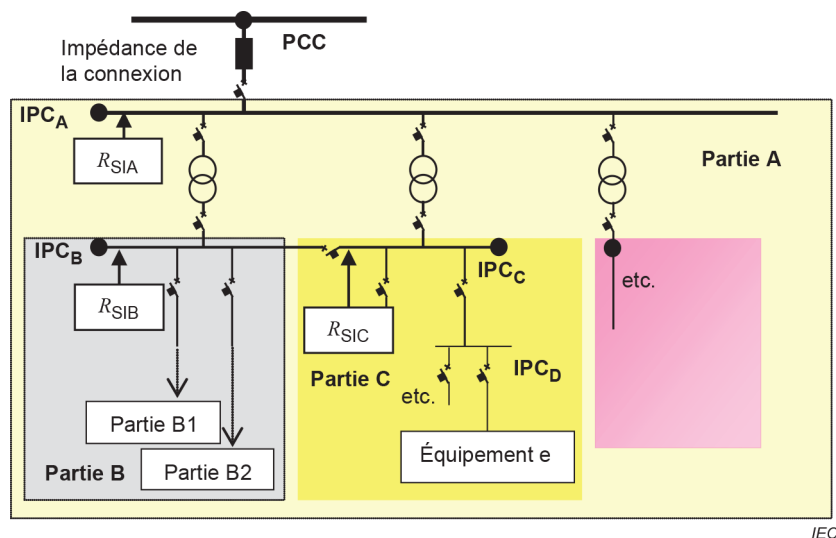


Figure B.1 – PCC, IPC, rapports de courant de l’installation et R_{SI}

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 l’IEC TS 61000-3-4 ou l’IEC 61000-3-12):

$$R_{SC} = S_{SC} / S_{Ne} = I_{SC} / I_{LNe} \quad (B.4)$$

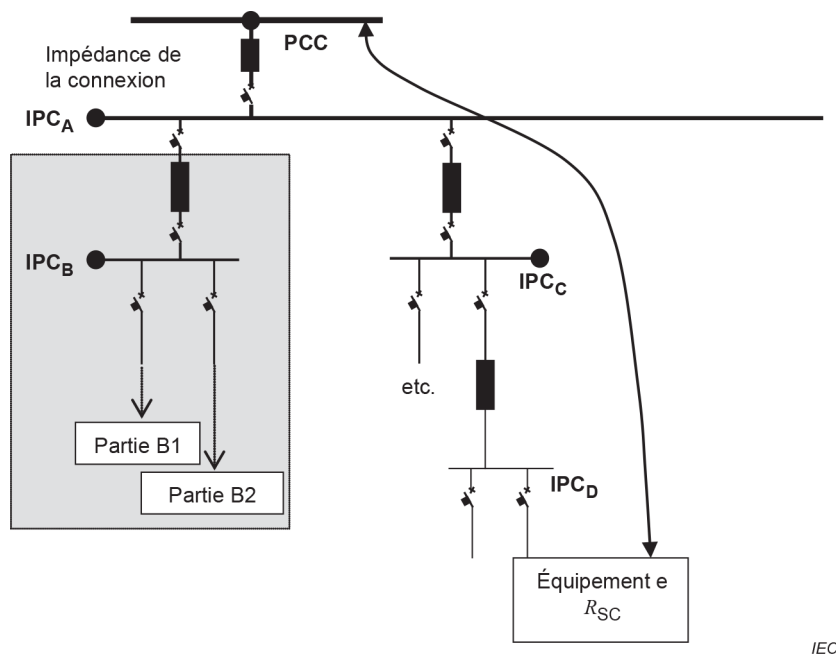
NOTE 1 Avec l’exemple représenté à la Figure B.2, R_{SC} peut s’énoncer comme une fonction du R_{SI} concerné. La partie d’équipement (e) est alimentée par un jeu de barres de raccordement (IPC_D), avec un point de couplage commun (PCC) auquel se trouve le courant de court-circuit I_{SC} , et tire un courant assigné I_{LNe} . De l’application des définitions ci-dessus, il résulte:

$$R_{SIE} = S_{SCD} / S_{ITe} = I_{SCD} / I_{LNe} = (I_{SCD} / I_{SC}) \times (I_{SC} / I_{LNe}) = (S_{SCD} / S_{SC}) \times (R_{SCE}) \quad (B.5)$$

ou

$$R_{SCE} = (S_{SC} / S_{SCD}) \times R_{SIE} \quad (B.6)$$

Cette définition convient, dans l’application de l’IEC TS 61000-3-4 ou de l’IEC 61000-3-12, pour définir les conditions de connexion d’une partie d’équipement au réseau public d’alimentation basse tension.



IEC

Figure B.2 – PCC, IPC, rapports de courant de l'installation et R_{SC}

NOTE 2 L'Article A.2 de l'IEC TR 61000-2-6:1995 donne une autre définition de R_{SC} pour les redresseurs se référant au courant continu.

Annexe C (informative)

Introduction aux normes de sécurité relatives aux équipements de conversion de puissance

C.1 Généralités

L'Annexe C présente brièvement les normes de sécurité de la série IEC 62477 pour les systèmes électroniques de conversion de puissance (SECP), ainsi que les matériels électroniques de conversion de puissance. L'Annexe C clarifie également que la présente édition de l'IEC 60146-1-1 a été révisée en ciblant une bonne coordination avec la série IEC 62477.

NOTE Les SECP sont définis dans l'IEC 62477-1. L'Annexe C interprète le PCE comme étant équivalent aux équipements de conversion de puissance.

C.2 Brève introduction au positionnement de la série IEC 62477 par rapport à la série IEC 60146

L'IEC 62477-1 et l'IEC 62477-2 couvrent les exigences de sécurité relatives aux équipements de conversion de puissance, tandis que l'IEC 60146-1-1 et l'IEC TR 60146-1-2 couvrent principalement les exigences de fonctionnement de base. La série IEC 62477 occupe la même position que la série IEC 60146, qui peut être appliquée aux convertisseurs non couverts par des normes de produit.

C.3 Finalités ou objectifs de la série IEC 60146 et de la série IEC 62477

Les finalités ou objectifs des normes sont énumérés dans le Tableau C.1. Certaines explications supplémentaires sont ajoutées entre parenthèses dans le Tableau C.1 pour clarifier les différences entre les deux séries.

Dans le Tableau C.1, il est indiqué que la série IEC 60146 porte essentiellement sur les exigences de base relatives au fonctionnement et aux performances des équipements de conversion de puissance, tandis que la série IEC 62477 met l'accent sur les exigences de sécurité.

Tableau C.1 – Comparaison des finalités ou objectifs entre deux normes

IEC 60146-1-1	IEC 62477-1
Stipuler les termes de base et leurs définitions (relatifs au fonctionnement et aux performances des convertisseurs commutés par le réseau)	Établir une terminologie commune applicable aux aspects de sécurité concernant les SECP
Spécifier les exigences de fonctionnement de base	Établir les exigences minimales pour la coordination des aspects de sécurité des parties interconnectées au sein d'un SECP
Spécifier les exigences d'essai (relatives au fonctionnement de base et aux performances) des convertisseurs commutés par le réseau	Établir une base commune applicable aux exigences minimales de sécurité de la partie convertisseur électronique de puissance (CEP), pour les produits comprenant un CEP
Spécifier les conditions de service qui ont une influence sur le dimensionnement	Spécifier les exigences permettant de réduire les risques pour la sécurité en cours d'utilisation et de fonctionnement et, lorsque cela est spécifiquement indiqué, au cours des opérations d'entretien et de maintenance

Les exigences relatives à la sécurité ont été supprimées de la présente révision de l'IEC 60146-1-1. La présente édition de l'IEC 60146-1-1 fait référence à la série IEC 62477 concernant les recommandations pertinentes sur la sécurité.

Une attention particulière a été portée sur les exigences d'essai lors de la révision de l'IEC 60146-1-1. Les exigences d'essai relatives à la sécurité ont été supprimées et l'IEC 60146-1-1 ne comprend désormais que l'exigence d'essai relative au fonctionnement de base et aux performances du convertisseur électronique de puissance.

L'IEC 60146-1-1 considère également que les produits d'électronique de puissance couverts par la présente édition sont conformes aux normes de l'IEC spécifiant des principes fondamentaux, telles que l'IEC 60364-1 ou l'IEC 60529.

Bibliographie

IEC 60050-131, *Vocabulaire Électrotechnique International – Partie 131: Théorie des circuits*, disponible à l'adresse www.electropedia.org

IEC 60050-151, *Vocabulaire Électrotechnique International – Partie 151: Dispositifs électriques et magnétiques*, disponible à l'adresse www.electropedia.org

IEC 60050-161, *Vocabulaire Électrotechnique International – Chapitre 161: Compatibilité électromagnétique*, disponible à l'adresse www.electropedia.org

IEC 60050-195, *Vocabulaire Électrotechnique International (IEV) – Partie 195: Mise à la terre et protection contre les chocs électriques*, disponible à l'adresse www.electropedia.org

IEC 60050-321, *Vocabulaire Électrotechnique International – Chapitre 321: Transformateurs de mesure*, disponible à l'adresse www.electropedia.org

IEC 60050-441, *Vocabulaire Électrotechnique International – Chapitre 441: Appareillage et fusibles*, disponible à l'adresse www.electropedia.org

IEC 60050-521, *Vocabulaire Électrotechnique International – Partie 521: Dispositifs à semiconducteurs et circuits intégrés*, disponible à l'adresse www.electropedia.org

IEC 60050-601, *Vocabulaire Électrotechnique International – Chapitre 601: Production, transport et distribution de l'énergie électrique – Généralités*, disponible à l'adresse www.electropedia.org

IEC 60050-826, *Vocabulaire Électrotechnique International (IEV) – Partie 826: Installations électriques*, disponible à l'adresse www.electropedia.org

IEC 60071-1, *Coordination de l'isolement – Partie 1: Définitions, principes et règles*

IEC 60071-2, *Coordination de l'isolement – Partie 2: Lignes directrices en matière d'application*

IEC 60076-1, *Transformateurs de puissance – Partie 1: Généralités*

IEC TR 60146-1-2:2019, *Semiconductor converters – General requirements and line commutated converters – Part 1-2: Application guidelines* (disponible en anglais seulement)

IEC 60146-2, *Convertisseurs à semiconducteurs – Partie 2: Convertisseurs autocommutés à semiconducteurs y compris les convertisseurs à courant continu directs*

IEC 60364-1, *Installations électriques à basse tension – Partie 1: Principes fondamentaux, détermination des caractéristiques générales, définitions*

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

IEC TR 60664-2-1, *Coordination de l'isolement des matériels dans les systèmes (réseaux) à basse tension – Partie 2-1: Guide d'application – Explication de l'application de la série IEC 60664, exemples de dimensionnement et d'essais diélectriques*

IEC TR 60664-2-2, *Insulation coordination for equipment within low-voltage systems – Part 2-2: Interface considerations – Application guide* (disponible en anglais seulement)

IEC 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*

IEC 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*

IEC TR 60725, *Étude 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, *Dispositifs à semiconducteurs – Partie 1: Généralités*

IEC 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*

IEC TR 61000-2-6:1995, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 2: Environnement – Section 6: Évaluation des niveaux d'émission dans l'alimentation des centrales industrielles tenant compte des perturbations conduites à basse fréquence*

IEC 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*

IEC TS 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*

IEC TS 61000-3-5, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 3-5: Limites – Limitation des fluctuations de tension et du flicker dans les réseaux basse tension pour les équipements ayant un courant appelé supérieur à 75 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* (disponible en anglais seulement)

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* (disponible en anglais seulement)

IEC 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 – Équipements ayant un courant assigné ≤ 75 A et soumis à un raccordement conditionnel*

IEC 61000-6-3:2020, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 6-3: Normes génériques – Norme sur l'émission relative aux appareils utilisés dans les environnements résidentiels*

IEC 61000-6-5, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 6-5: Normes génériques – Immunité pour les équipements utilisés dans les environnements de centrales électriques et de postes*

IEC 61000-6-8, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 6-8: Normes génériques – Norme d'émission pour les matériels professionnels utilisés dans des environnements commerciaux et de l'industrie légère*

IEC 61180, *Techniques des essais à haute tension pour matériel à basse tension – Définitions, exigences et modalités relatives aux essais, matériel d'essai*

IEC 61204-3:2016, *Alimentations à découpage basse tension – Partie 3: Compatibilité électromagnétique (CEM)*

IEC 61287-1, *Applications ferroviaires – Convertisseurs de puissance embarqués sur le matériel roulant – Partie 1: Caractéristiques et méthodes d'essais*

IEC TS 61287-2, *Convertisseurs de puissance embarqués sur le matériel roulant ferroviaire – Partie 2: Informations techniques supplémentaires*

IEC 61439-1, *Ensembles d'appareillage à basse tension – Partie 1: Règles générales*

IEC 61800-3:2022, *Entraînements électriques de puissance à vitesse variable – Partie 3: Exigences de CEM et méthodes d'essai spécifiques pour les PDS et machines-outils*

IEC TR 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*

IEC 61803:2020, *Détermination des pertes en puissance dans les postes de conversion en courant continu à haute tension (CCHT) munis de convertisseurs commutés par la ligne*

IEC 62040-2:2016, *Alimentations sans interruption (ASI) – Partie 2: Exigences pour la compatibilité électromagnétique (CEM)*

IEC 62068, *Matériaux et systèmes d'isolation électriques – Méthode générale d'évaluation de l'endurance électrique soumise à des impulsions de tension appliquées périodiquement*

IEC 62310-2:2006, *Systèmes de transfert statique (STS) – Partie 2: Exigences pour la compatibilité électromagnétique (CEM)*

IEC 62589, *Applications ferroviaires – Installations fixes – Harmonisation des valeurs assignées pour les groupes convertisseurs et essais sur les groupes convertisseurs*

IEC/IEEE 60076-57-129, *Power transformers – Part 57-129: Transformers for HVDC applications* (disponible en anglais seulement)

IEEE 519, *IEEE Recommended practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems* (disponible en anglais seulement)

Failure mechanism of the interturn insulation of low voltage electric machines fed by pulsed controlled inverters – IEEE Electrical Insulation Magazine – Septembre/octobre 1996 – Vol. 12, N° 5

Will your motor insulation survive a new adjustable frequency drive – IEEE Industry Applications Magazine – Septembre/octobre 1997 – Vol. 33, N° 5

Using corona inception voltage for motor evaluation – IEEE Transactions on Industry Applications – Juillet/août 1999

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

3, rue de Varembé
PO Box 131
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

Tel: + 41 22 919 02 11
info@iec.ch
www.iec.ch