

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



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

**Entraînements électriques de puissance à vitesse variable –
Partie 3: Exigences de CEM et méthodes d'essai spécifiques pour les PDS et
machines-outils**



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2022 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 It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.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. 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 22 300 terminological entries in English and French, with equivalent terms in 19 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. 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 22 300 articles terminologiques en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 19 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



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

**Entraînements électriques de puissance à vitesse variable –
Partie 3: Exigences de CEM et méthodes d'essai spécifiques pour les PDS et
machines-outils**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 29.200; 33.100.01

ISBN 978-2-8322-6059-3

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

CONTENTS

FOREWORD.....	7
1 Scope.....	9
2 Normative references	10
3 Terms and definitions	11
3.1 Content of the power drive system (PDS) and its installation.....	12
3.2 Content of the machine tool (MT) and its installation	13
3.3 Locations and equipment categories	14
3.4 Ports and interfaces.....	15
3.5 Components of the PDS.....	19
3.6 Test-related definitions	20
3.7 Phenomena-related definitions.....	21
4 Common requirements.....	25
4.1 General conditions	25
4.2 Tests	26
4.2.1 Conditions	26
4.2.2 Test report.....	27
4.3 Documentation for the user	27
5 Immunity requirements	27
5.1 General conditions	27
5.1.1 Performance (acceptance) criteria	27
5.1.2 Conditions during the test.....	29
5.2 Basic immunity requirements – Low-frequency (< 150 kHz) disturbances	30
5.2.1 Harmonics	30
5.2.2 Voltage dips and short interruptions.....	32
5.2.3 Frequency variations	34
5.2.4 Supply influences – Magnetic fields	35
5.3 Basic immunity requirements – High-frequency (≥ 150 kHz) disturbances	36
5.3.1 Conditions	36
5.3.2 Residential, commercial and light industrial environment	36
5.3.3 Industrial environment	37
5.4 Application of immunity requirements – Alternative verification methods	39
5.4.1 General	39
5.4.2 Simulation and calculation of harmonics	40
5.4.3 Alternative verification methods for voltage dips and short interruptions	40
5.4.4 Frequency variations	40
5.4.5 Immunity against electromagnetic fields by subcomponents testing	40
6 Emission.....	41
6.1 General emission requirements.....	41
6.2 General emission requirements for MT.....	41
6.3 Basic low-frequency (< 150 kHz) emission limits.....	41
6.3.1 Harmonics and interharmonics.....	41
6.3.2 Voltage fluctuations and flicker	42
6.3.3 Emissions in the frequency range from 2 kHz to 150 kHz.....	43
6.3.4 Common mode harmonic emission (low-frequency common mode voltage)	43
6.4 Conditions related to high-frequency (≥ 150 kHz) emission measurement	43
6.4.1 General requirements for measurements on a test site	43

6.4.2	Application of emission limits above 1 GHz.....	50
6.4.3	Connection requirements.....	50
6.4.4	Measurements requirements when a standard setup is not used.....	50
6.5	Basic high-frequency emission limits.....	51
6.5.1	EUT of categories C1 and C2.....	51
6.5.2	EUT of category C3.....	53
6.6	Engineering practice.....	54
6.6.1	EUT of category C4.....	54
6.6.2	General conditions.....	55
6.6.3	Filtering in IT power supply systems.....	55
6.6.4	Limits outside the boundary of an installation, for an EUT of category C4 – Example of propagation of disturbances.....	56
Annex A	(informative) EMC techniques.....	59
A.1	Application of PDSs and EMC.....	59
A.2	Load conditions regarding high-frequency phenomena.....	59
A.2.1	Load conditions during emission tests.....	59
A.2.2	Load conditions during immunity tests.....	60
A.2.3	Load test.....	60
A.3	Immunity to electromagnetic fields.....	60
A.3.1	Immunity to power frequency magnetic fields.....	60
A.3.2	Immunity to high frequency conducted disturbances.....	60
A.3.3	Immunity to high frequency fields.....	61
A.4	High-frequency emission measurement techniques.....	62
A.4.1	Impedance/artificial mains network (AMN).....	62
A.4.2	Performing high-frequency in-situ emission tests.....	64
A.4.3	Established experience with high power EUTs.....	64
Annex B	(informative) Low-frequency phenomena.....	65
B.1	Commutation notches.....	65
B.1.1	Evaluation conditions.....	65
B.1.2	Occurrence – Description.....	65
B.1.3	Calculation.....	68
B.1.4	Recommendations regarding commutation notches.....	69
B.2	Definitions related to harmonics and interharmonics.....	70
B.2.1	General discussion.....	70
B.2.2	Conditions of application.....	71
B.3	Application of harmonic emission standards.....	75
B.3.1	General.....	75
B.3.2	Public networks.....	75
B.3.3	Summation methods for harmonics in an installation – Practical rules.....	80
B.4	Installation rules – Assessment of harmonic compatibility.....	82
B.4.1	Low power industrial three-phase system.....	82
B.4.2	Large industrial system.....	85
B.4.3	Interharmonics and voltages or currents at higher frequencies.....	87
B.5	Voltage unbalance.....	87
B.5.1	Origin.....	87
B.5.2	Definition and assessment.....	88
B.5.3	Effect on BDM/CDM/PDS/MTs.....	90
B.6	Voltage dips – Voltage fluctuations.....	90
B.6.1	Voltage dips.....	90

B.6.2	Voltage fluctuation	92
Annex C (informative)	Reactive power compensation – Filtering	93
C.1	Installation	93
C.1.1	Usual operation	93
C.1.2	Power definitions under distorted conditions	93
C.1.3	Practical solutions	94
C.1.4	Reactive power compensation	95
C.1.5	Filtering methods	99
C.2	Reactive power and harmonics	101
C.2.1	Usual installation mitigation methods	101
C.2.2	Other solutions	103
Annex D (informative)	Considerations on high-frequency emission	107
D.1	User guidelines	107
D.1.1	Expected emission of BDM/CDM/PDS/MTs	107
D.1.2	Guidelines	109
D.2	Safety and RFI-filtering in power supply systems	111
D.2.1	Safety and leakage currents	111
D.2.2	Safety and RFI-filtering in power supply systems isolated from earth	111
Annex E (informative)	EMC analysis and EMC plan for EUTs of category C4	113
E.1	General – System EMC analysis applied to EUTs	113
E.1.1	Electromagnetic environment	113
E.1.2	System EMC analysis techniques	114
E.2	Example of EMC plan	116
E.2.1	Project data and description	116
E.2.2	Electromagnetic environment analysis	116
E.2.3	EMC analysis	117
E.2.4	Establishment of installation rules	118
E.2.5	Formal result and maintenance	119
E.3	Example of supplement to EMC plan for particular application	120
E.3.1	Electromagnetic environment complementary analysis	120
E.3.2	EMC analysis	121
Bibliography	123
Figure 1	– Content of the PDS and its installation	12
Figure 2	– Content of the MT and its installation	13
Figure 3	– Internal interfaces of the PDS and examples of ports	17
Figure 4	– Internal interfaces of the MT and examples for ports	17
Figure 5	– Power interfaces of a PDS with common DC link	18
Figure 6	– Power interfaces with common input transformer	19
Figure 7	– Example for a typical cable arrangement for measurements in 3 m separation distance, for a table-top or wall-mounted equipment, top view	46
Figure 8	– Example for a typical cable arrangement for measurements in 3 m separation distance for a table-top or wall-mounted equipment, side view	47
Figure 9	– Example for a typical test set up for measurement of conducted and/or radiated disturbances from a floor-standing PDS, 3D view	48
Figure 10	– Typical arrangement for measurement of radiated disturbances from an MT (top view)	49
Figure 11	– Propagation of disturbances	56

Figure 12 – Propagation of disturbances in installation with an EUT rated > 1 000 V.....	57
Figure B.1 – Typical waveform of commutation notches – Distinction from non-repetitive transient	66
Figure B.2 – PCC, IPC, installation current ratio and R_{SI}	73
Figure B.3 – PCC, IPC, installation current ratio and R_{SC}	74
Figure B.4 – Assessment of the harmonic emission of an EUT	77
Figure B.5 – Test set-up with mechanical load	78
Figure B.6 – Test set-up with electrical load replacing the loaded motor	78
Figure B.7 – Test set-up with resistive load.....	79
Figure B.8 – Assessment of harmonic emission where EUT is used (apparatus, systems or installations)	84
Figure C.1 – Reactive power compensation	96
Figure C.2 – Simplified diagram of an industrial network.....	98
Figure C.3 – Impedance versus frequency of the simplified network.....	98
Figure C.4 – Example of passive filter battery	100
Figure C.5 – Example of inadequate solution in reactive power compensation	102
Figure C.6 – VSI PWM active filter topologies	104
Figure C.7 – Boost mode converter.....	104
Figure C.8 – Front-end inverter system	105
Figure D.1 – Conducted emission of various unfiltered EUTs	108
Figure D.2 – Expected radiated emission of EUT up to rated voltage 400 V – Peak values normalised at 10 m	109
Figure D.3 – Safety and filtering.....	112
Figure E.1 – Interaction between systems and EM environment.....	113
Figure E.2 – Zone concept.....	114
Figure E.3 – Example of drive	115
Table 1 – Criteria to prove the acceptance of a BDM, CDM or PDS against electromagnetic disturbances.....	28
Table 2 – Criteria to prove the acceptance of an MT against electromagnetic disturbances	29
Table 3 – Minimum immunity requirements for individual harmonic orders on AC power ports of low voltage EUT	31
Table 4 – Minimum immunity requirements for harmonics on AC main power ports of EUTs of rated voltage above 1 000 V.....	32
Table 5 – Minimum immunity requirements for voltage dips and short interruptions on AC power ports of low voltage EUTs	32
Table 6 – Minimum immunity requirements for dips and short interruptions on AC main power ports of rated voltage above 1 000 V of EUTs.....	33
Table 7 – Minimum immunity requirements for dips and short interruptions on low voltage AC auxiliary power ports of EUTs	34
Table 8 – Minimum immunity requirements for frequency variations on AC power ports of low voltage EUTs	34
Table 9 – Minimum immunity requirements for frequency variations on AC main power ports of rated voltage above 1 000 V of EUTs	35
Table 10 – Minimum immunity requirements for frequency variations on auxiliary AC low voltage power ports of EUTs.....	35

Table 11 – Minimum immunity requirements for EUTs intended for use in a residential, commercial or light industrial location	36
Table 12 – Minimum immunity requirements for EUTs intended for use in an industrial location.....	38
Table 13 – Approach to type-test assessment of different MT configurations	41
Table 14 – Required highest frequency for radiated measurement	50
Table 15 – Limits for mains terminal disturbance voltage in the frequency band 150 kHz to 30 MHz – Categories C1 and C2	51
Table 16 – Limits for electromagnetic radiation disturbance in the frequency band 30 MHz to 6 000 MHz – Categories C1 and C2	52
Table 17 – Limits of disturbance voltage on the power interface in a residential, commercial or light industrial location	52
Table 18 – Limits for mains terminal disturbance voltage in the frequency band 150 kHz to 30 MHz – Category C3	53
Table 19 – Limits for electromagnetic radiation disturbance in the frequency band 30 MHz to 6 000 MHz – Category C3	54
Table 20 – Limits for propagated disturbance voltage ("outside" in a residential location).....	57
Table 21 – Limits for propagated disturbance voltage ("outside" in a non-residential location).....	57
Table 22 – Limits for propagated electromagnetic disturbance above 30 MHz.....	58
Table 23 – Limits for electromagnetic disturbance below 30 MHz.....	58
Table B.1 – Maximum allowable depth of commutation notches at the PC.....	69
Table B.2 – Recommended immunity requirements for commutation notches on power ports of EUTs.....	70
Table B.3 – Harmonic current emission requirements relative to the total current of the agreed power at the PCC or IPC.....	86
Table E.1 – EM interaction between subsystems and environment.....	115
Table E.2 – Frequency analysis	122

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**ADJUSTABLE SPEED ELECTRICAL
POWER DRIVE SYSTEMS –****Part 3: EMC requirements and specific test methods
for PDS and machine tools****FOREWORD**

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

IEC 61800-3 has been prepared by subcommittee 22G: Adjustable speed electric power drive systems (PDS), of IEC technical committee 22: Power electronic systems and equipment. It is an International Standard.

It has the status of a product EMC standard in accordance with IEC Guide 107.

This fourth edition cancels and replaces the third edition published in 2017. This edition constitutes a technical revision.

This edition includes the following significant technical changes with respect to the previous edition:

- a) extension of the scope to machine tools with one or more embedded PDS;
- b) extension of the frequency range for radiated immunity tests to 6 GHz;
- c) general updates in the normative part and the informative annexes.

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

Draft	Report on voting
22G/461/FDIS	22G/466/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 in the IEC 61800 series, published under the general title *Adjustable speed electrical power drive systems*, 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 <https://webstore.iec.ch> in the data related to the specific document. At this date, the document will be

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

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.

ADJUSTABLE SPEED ELECTRICAL POWER DRIVE SYSTEMS –

Part 3: EMC requirements and specific test methods for PDS and machine tools

1 Scope

This part of IEC 61800 specifies electromagnetic compatibility (EMC) requirements for adjustable speed power drive systems (PDSs) and machine tools (MTs). A PDS is an AC or DC motor drive including an electronic converter. Requirements are stated for AC and DC PDSs and MTs with input and/or output voltages (line-to-line voltage), up to 35 kV AC RMS. This document applies to equipment of all power ratings.

As a product EMC standard, this document can be used for the assessment of PDS and MT. It can also be used for the assessment of complete drive modules (CDM) or basic drive modules (BDM).

NOTE 1 BDMs and CDMs are parts of the PDS which are often marketed separately.

Traction applications and electric vehicles are excluded. Equipment which is defined as group 2 in CISPR 11:2015 is excluded.

NOTE 2 Examples of group 2 equipment are:

- welding equipment (arc welding, resistance welding, etc);
- electro-discharge machining equipment (EDM).

This document does not give requirements for the electrical machine which converts power between the electrical and mechanical forms within the PDS. Requirements for rotating electrical machines are covered by the IEC 60034 series. In this document, the term "motor" is used to describe the electrical machine, whether rotary or linear, and regardless of the direction of power flow.

This document is applicable to BDMs, CDMs, PDSs and MTs with or without radio function. However, this document does not specify any radio transmission and reception requirements.

NOTE 3 It is planned that the future edition 7 of CISPR 11¹ will contain a procedure how to address radio transmission and reception requirements, which is also applicable to products in the scope of this document.

This document defines the minimum requirements for emission and immunity in the frequency range from 0 Hz to 400 GHz. Tests are not required in frequency ranges where no requirements are specified.

BDMs, CDMs, PDSs and MTs covered by this document are those installed in residential, commercial and industrial locations. Requirements are given according to the environment classification.

BDMs, CDMs and PDSs are often included in a larger system. The system aspects are not covered by this document, but guidance is provided in the informative annexes.

¹ Under preparation. Stage at the time of publication: CISPR/NFDIS 11:2022.

This document is intended as a complete product EMC standard for the EMC conformity assessment of products. As a product EMC standard for BDMS, CDMs, PDSs and MTs, according to IEC Guide 107, this document takes precedence over all aspects of the generic standards.

NOTE 4 If a PDS or MT is included as part of equipment covered by a separate product EMC standard, the separate EMC standard applies to the complete equipment.

NOTE 5 The requirements have been selected to ensure EMC for PDSs and MTs at residential, commercial and industrial locations. Changes in the EMC behaviour of a PDS or an MT as a result of fault conditions are not considered.

NOTE 6 This document does not specify any safety requirements for the equipment such as protection against electric shocks, insulation co-ordination and related dielectric tests, unsafe operation, or unsafe consequences of a failure. It also does not cover safety and functional safety implications of electromagnetic phenomena.

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 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 61000-3-2:2018/AMD1:2020

IEC 61000-3-3:2013, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 3-3: Limits – Limitation of voltage changes, voltage fluctuations and flicker in public low-voltage supply systems, for equipment with rated current ≤ 16 A per phase and not subject to conditional connection*
IEC 61000-3-3:2013/AMD1:2017
IEC 61000-3-3:2013/AMD2:2021

IEC 61000-3-11:2017, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 3-11: Limits – Limitation of voltage changes, voltage fluctuations and flicker in public low-voltage supply systems – Equipment with rated current ≤ 75 A and subject to conditional connection*

IEC 61000-3-12:2011, *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 61000-3-12:2011/AMD1:2021

IEC 61000-4-2:2008, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-2: Testing and measurement techniques – Electrostatic discharge immunity test*

IEC 61000-4-3:2020, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-3: Testing and measurement techniques – Radiated, radio-frequency, electromagnetic field immunity test*

IEC 61000-4-4:2012, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-4: Testing and measurement techniques – Electrical fast transient/burst immunity test*

IEC 61000-4-5:2014, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-5: Testing and measurement techniques – Surge immunity test*
IEC 61000-4-5:2014/AMD1:2017

IEC 61000-4-6:2013, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-6: Testing and measurement techniques – Immunity to conducted disturbances, induced by radio-frequency fields*

IEC 61000-4-11:2020, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-11: Testing and measurement techniques – Voltage dips, short interruptions and voltage variations immunity tests for equipment with input current up to 16 A per phase*

IEC 61000-4-13:2002, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-13: Testing and measurement techniques – Harmonics and interharmonics including mains signalling at a.c. power port, low frequency immunity tests*

IEC 61000-4-13:2002/AMD1:2009

IEC 61000-4-13:2002/AMD2:2015

IEC 61000-4-28:1999, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-28: Testing and measurement techniques – Variation of power frequency, immunity test for equipment with input current not exceeding 16 A per phase*

IEC 61000-4-28:1999/AMD1:2001

IEC 61000-4-28:1999/AMD2:2009

IEC 61000-4-34:2005, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-34: Testing and measurement techniques – Voltage dips, short interruptions and voltage variations immunity tests for equipment with input current more than 16 A per phase*

IEC 61000-4-34:2005/AMD1:2009

CISPR 11:2015, *Industrial, scientific and medical equipment – Radio-frequency disturbance characteristics – Limits and methods of measurement*

CISPR 11:2015/AMD1:2016

CISPR 11:2015/AMD2:2019

CISPR 16-1-2:2014, *Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods – Part 1-2: Radio disturbance and immunity measuring apparatus – Coupling devices for conducted disturbance measurements*

CISPR 16-1-2:2014/AMD1:2017

CISPR 16-1-4:2019, *Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods – Part 1-4: Radio disturbance and immunity measuring apparatus – Antennas and test sites for radiated disturbance measurements*

CISPR 16-1-4:2019/AMD1:2020

CISPR 32:2015, *Electromagnetic compatibility of multimedia equipment – Emission requirements*

CISPR 32:2015/AMD1:2019

3 Terms and definitions

For the purposes of this document, the following terms and definitions apply.

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

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

3.1 Content of the power drive system (PDS) and its installation

3.1.1

basic drive module

BDM

electronic power converter and related control, connected between an electric supply and a motor

Note 1 to entry: The BDM transmits power from the electric supply to the motor and power from the motor to the electric supply.

Note 2 to entry: The BDM controls some or all of the following aspects of power transmitted to the motor and motor output: current, frequency, voltage, speed, torque, force.

3.1.2

complete drive module

CDM

drive module consisting of, but not limited to, the BDM and extensions such as protection devices, transformers and auxiliaries, but excluding the motor and the sensors which are mechanically coupled to the motor shaft

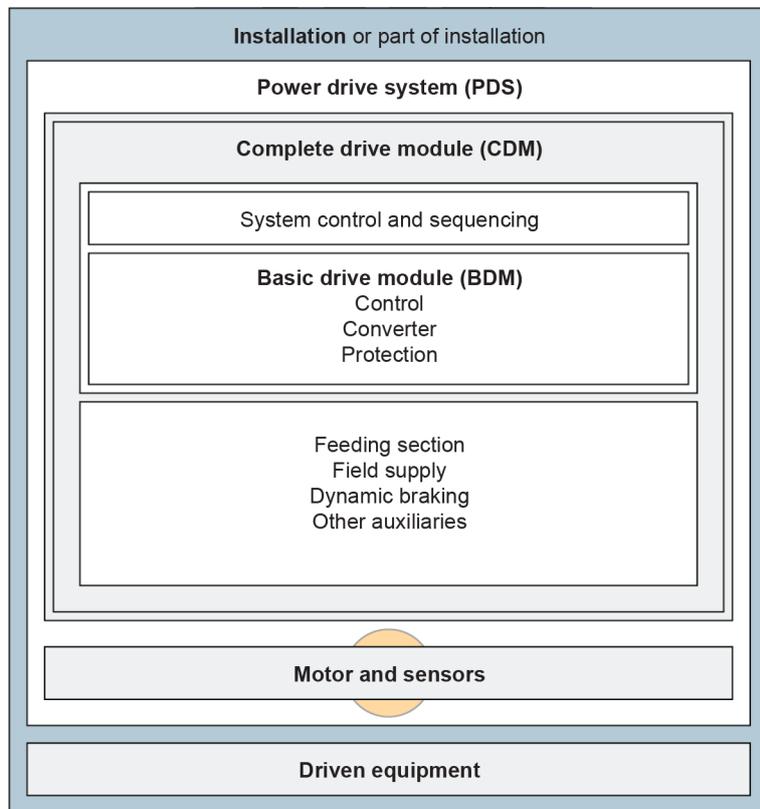
3.1.3

power drive system

PDS

system consisting of one or more complete drive module(s) (CDM) and a motor or motors, and any sensors which are mechanically coupled to the motor shaft, but not including the driven equipment

Note 1 to entry: Figure 1 illustrates the major items in the PDS. It also shows the relationship between the PDS and the installation.



IEC

Figure 1 – Content of the PDS and its installation

3.1.4 installation

equipment (one or more) which includes at least both the PDS and the driven equipment

3.2 Content of the machine tool (MT) and its installation

3.2.1 machine tool MT

mechanical device which is fixed (i.e. not mobile) and powered (typically by electricity and compressed air), used to process workpieces by selective removal/addition of material and/or by mechanical deformation

Note 1 to entry: Machine tool operation can be mechanical, controlled by humans or by computers. Machine tools can have a number of peripherals used for machine tool cooling/heating, process conditioning, workpiece and tool handling (workpiece feeding excluded), recyclables and waste handling and other tasks connected to their main activities.

Note 2 to entry: The machine tool is normally equipped with a power supply, an electrical and electronic assembly for power and control and one or more power drive systems for the movement of mobile elements or workpieces.

Note 3 to entry: Figure 2 illustrates the major parts of the machine tool. It also shows the position of the machine tool in the installation.

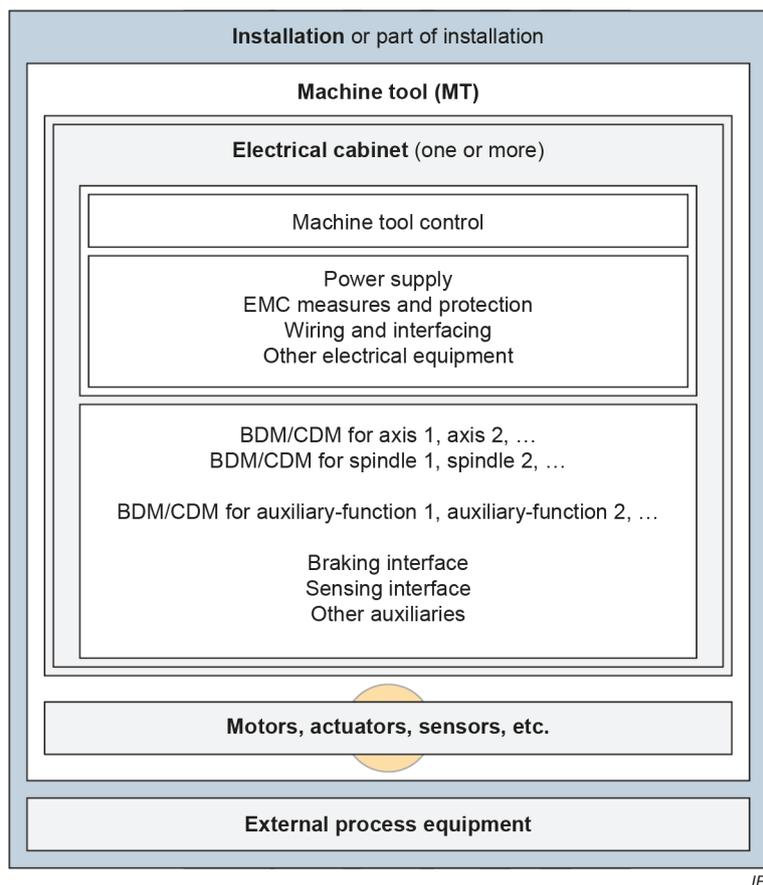


Figure 2 – Content of the MT and its installation

[SOURCE: ISO 14955-1:2017, 3.16, modified – Note 2 to entry and Note 3 to entry have been added with Figure 2.]

3.3 Locations and equipment categories

3.3.1

EMC plan

procedure for the EMC assessment when installing category C4 (see 3.3.8) equipment

3.3.2

residential location

area of land designated for domestic dwellings where the mains power within these locations is directly connected to the low-voltage public mains network

Note 1 to entry: Examples of residential locations are: houses, apartments, farm buildings housing people.

Note 2 to entry: A dwelling can be a single building, separate building or a separate section of a larger building.

Note 3 to entry: Within these locations it is expected to operate a radio receiver within a distance of 10 m from the equipment.

Note 4 to entry: Domestic dwellings are places for one or more people to live.

[SOURCE: IEC 61000-6-8:2020, 3.1.16]

3.3.3

commercial and light-industrial location

location which is not residential in accordance with 3.3.2, where the mains supply is directly connected to the low-voltage public network or connected to a dedicated DC source which is intended to interface between the equipment and the low-voltage public mains network

Note 1 to entry: Examples of commercial or light-industrial locations are:

- retail outlets,
- business premises,
- areas of public entertainment,
- places of worship,
- outdoor locations,
- general public locations,
- hospitals, educational institutions,
- public traffic area, railway stations, and public areas of an airport,
- specific common area of buildings, such as basements, control rooms, electrical service areas,
- workshops, laboratories, service centres.

Note 2 to entry: Within these locations it is expected to operate a radio receiver within a distance of 30 m from the equipment. The risk of interference will be minimized by following the instructions defined in Annex B.

[SOURCE: IEC 61000-6-8:2020, 3.1.3, modified – The references have been updated to the clauses in this document.]

3.3.4

industrial location

location characterized by a separate power network, supplied from a high- or medium-voltage transformer, dedicated for the supply of the installation

EXAMPLE Metalworking, pulp and paper, chemical plants, car production, farm building, high-voltage areas of airports

Note 1 to entry: Industrial locations can generally be described by the existence of an installation with one or more of the following characteristics:

- items of equipment installed and connected together and working simultaneously;
- significant amount of electrical power generated, transmitted and/or consumed;
- frequent switching of heavy inductive or capacitive loads;
- high currents and associated magnetic fields;
- presence of industrial, high power scientific and medical (ISM) equipment (for example, welding machines).

The electromagnetic environment at an industrial location is predominantly produced by the equipment and installation present at the location. There are types of industrial locations where some of the electromagnetic phenomena appear in a more severe degree than in other installations.

[SOURCE: IEC 61000-6-4:2018, 3.1.12, modified – Note 2 to entry has been deleted and examples in Note 1 to entry moved before Note 1 to entry.]

3.3.5

EUT of category C1

equipment under test of category C1

EUT of rated input voltage less than 1 000 V, intended for use in a residential, commercial or light industrial location

3.3.6

EUT of category C2

equipment under test of category C2

EUT of rated input voltage less than 1 000 V, which is neither a plug-in device nor a movable device and which is not intended for use in a residential location

Note 1 to entry: When used in a commercial or light industrial location, it is intended to be installed and commissioned only by a professional. A professional is a person or an organisation having necessary skills in installing and/or commissioning power drive systems or machine tools, including their EMC aspects (see IEC 61000-6-8:2020, 3.1.14).

3.3.7

EUT of category C3

equipment under test of category C3

EUT of rated input voltage less than 1 000 V, intended for use in an industrial location and not intended for use in a residential, commercial or light industrial location

Note 1 to entry: An EUT of category C3 with a rated input current above 100 A is an example of high-power electronic systems and equipment (HPESE), as defined in CISPR 11:2015.

3.3.8

EUT of category C4

equipment of category C4

EUT of rated input voltage equal to or above 1 000 V, or rated current equal to or above 400 A, or intended for use in complex systems in an industrial location

3.4 Ports and interfaces

3.4.1

port

particular interface of an equipment which couples this equipment with the external electromagnetic environment and through which the equipment is influenced by this environment

Note 1 to entry: Figure 3 illustrates the diversity of the ports of a PDS.

[SOURCE: IEC 60050-161:2014, 161-01-27, modified – The example and figure have been deleted and the note to entry has been replaced by a new one.]

3.4.2

enclosure port

physical boundary of the EUT through which electromagnetic fields can radiate or impinge

SEE: Figure 3 and Figure 4.

3.4.3

process measurement and control port

input/output (I/O) port for a conductor or cable which connects the process to the EUT

3.4.4

power port

port which connects the EUT to the power supply, which also feeds other equipment

3.4.5

main power port

power port which feeds the EUT for only the power which, after electrical power conversion, is converted by the motor into mechanical power

3.4.6

auxiliary power port

power port which feeds only the auxiliaries of the EUT, including (where it exists) the circuit that feeds the motor's field winding

3.4.7

wired network port

port for the connection of a communication device/system intended to be interconnected to widely dispersed systems by direct connection to a single-user or multi-user network

Note 1 to entry: Examples of communication through the network include voice, data and signalling transfers.

Note 2 to entry: Examples of these networks include CATV, PSTN, ISDN, xDSL, LAN and similar.

Note 3 to entry: Wired network ports may support screened or unshielded cables and may also carry AC or DC power where this is an integral part of the telecommunication specification.

Note 4 to entry: A port generally intended for interconnection of components of a system under test (e.g. RS-232, RS-485, field buses in the scope of the IEC 61158 series, IEEE Standard 1284 (parallel printer), Universal Serial Bus (USB), IEEE Standard 1394 ("Fire Wire"), etc.) and used in accordance with its functional specifications (e.g. for the maximum length of cable connected to it), is not considered to be a wired network port.

Note 5 to entry: In many product standards, this port was defined as a telecommunications or network port.

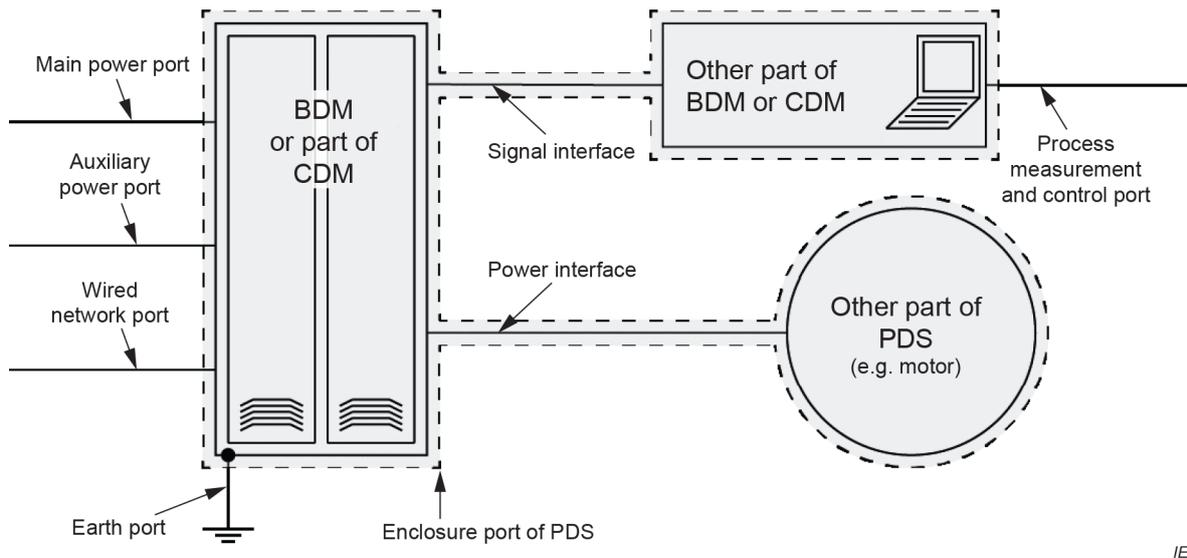
[SOURCE IEC 61000-6-3:2020, 3.1.3, modified – The word "communication" has been replaced with "a communication device/system" in the definition, and the words "in previous editions of this document and" has been deleted from Note 5 to entry.

3.4.8

signal interface

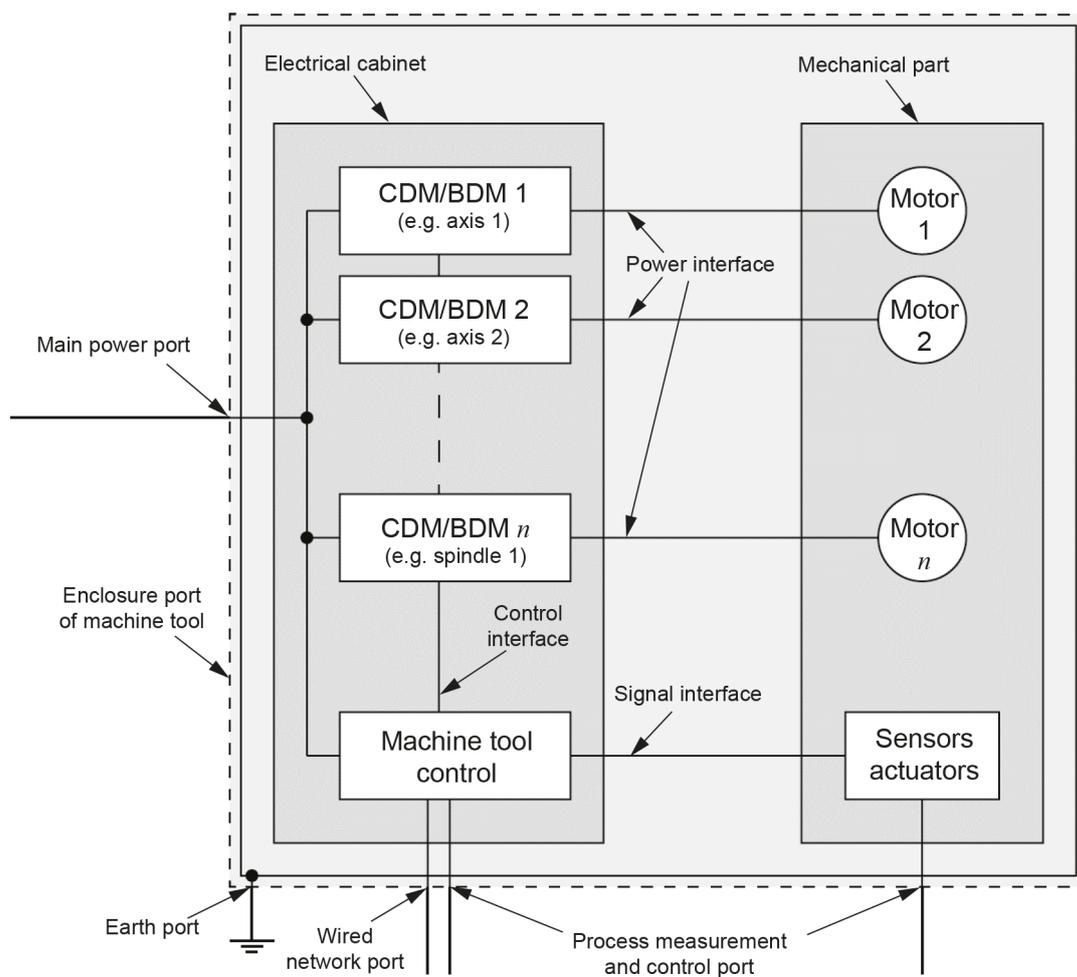
input/output (I/O) connection for a line connecting the basic drive module or complete drive module (BDM/CDM) to another part of the PDS or, in the case of an MT, for connecting the BDM/CDM to another part of the MT

Note 1 to entry: See Figure 3 and Figure 4.



IEC

Figure 3 – Internal interfaces of the PDS and examples of ports



IEC

Figure 4 – Internal interfaces of the MT and examples for ports

3.4.9

power interface

connection needed for the distribution of electrical power within the PDS or MT

Note 1 to entry: See Figure 5 for an example of power interface and Clause E.1 for an explanation.

Note 2 to entry: The power interfaces of the PDS can have different forms and extensions.

- Within the BDM/CDM

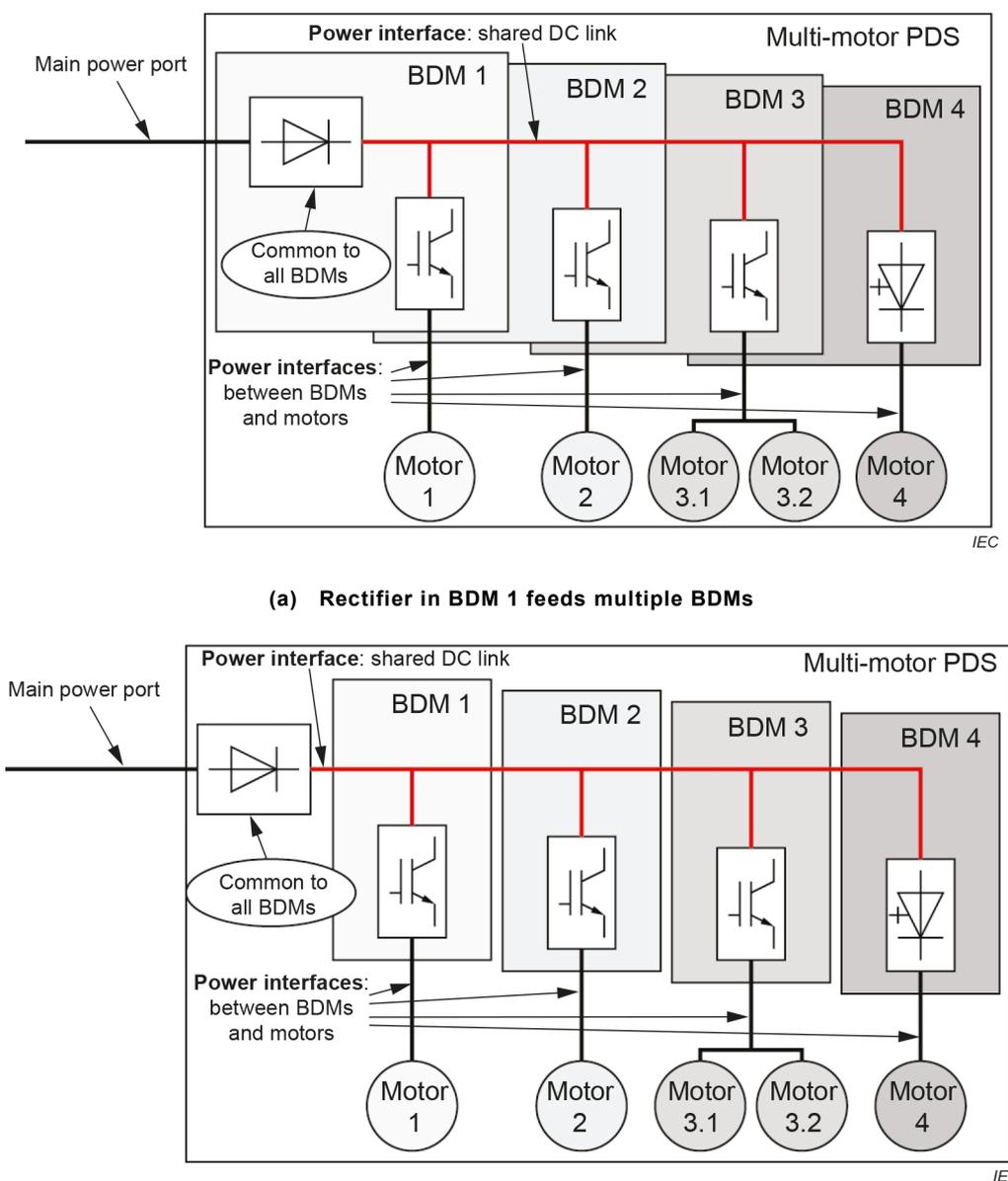
A power interface can be the connection for distribution of electrical power from one part of the BDM/CDM to another part of the BDM/CDM. One power interface can be common to different components of the PDS. For examples, see Figure 5 and Figure 6.

Figure 5 shows two examples of a power interface (DC link) which distributes power from a rectifier to the output inverters of four BDMs. The input converter converts AC power from the mains to another type, here DC power. The output inverters convert power from an intermediate form (here DC) to another type (here AC), which can be directly applied to AC motors.

Figure 6 shows a power interface which distributes power from the secondary of a transformer (which is part of the CDM) to individual BDMs.

- Within the PDS

The connection between the inverter and the motor or the motors is also a power interface. It is the last power interface before the conversion to mechanical power. This power interface is shown in Figure 5 and Figure 6.



(a) Rectifier in BDM 1 feeds multiple BDMs

(b) Rectifier outside the BDMs

Figure 5 – Power interfaces of a PDS with common DC link

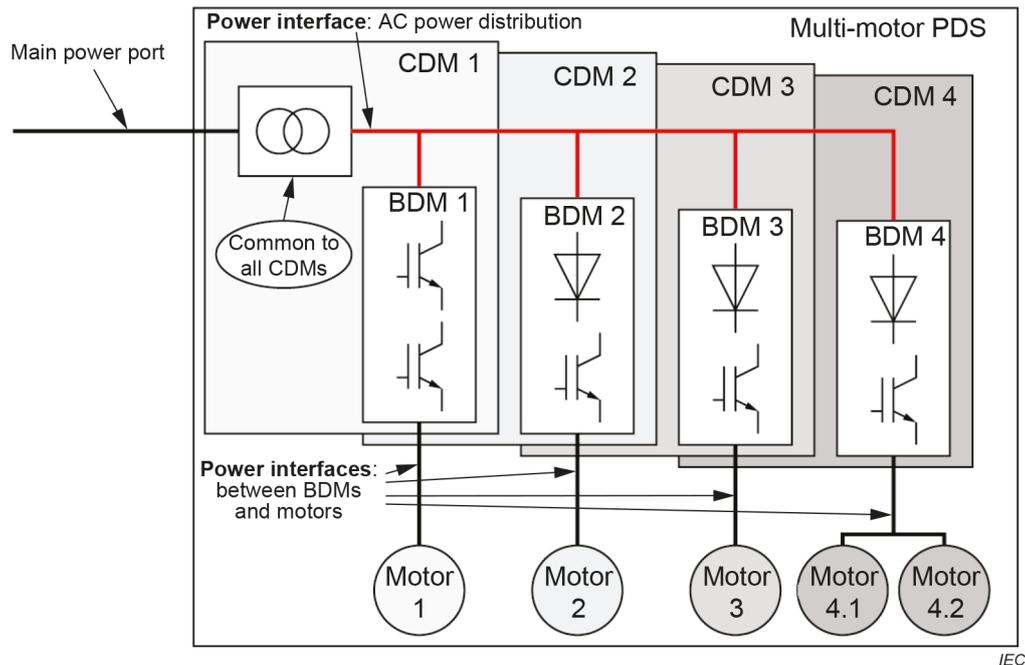


Figure 6 – Power interfaces with common input transformer

3.4.10

point of common coupling

PCC

point on a public power supply 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]

3.4.11

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]

3.4.12

point of coupling

PC

point on a network which can be a public power supply network or a network inside a system or an installation

3.5 Components of the PDS

3.5.1

converter

<of the BDM> unit which changes the form of electrical power supplied by the mains to the form fed to the motor(s) by changing one or more of the voltage, current and/or frequency

Note 1 to entry: The converter comprises electronic commutating devices and their associated commutation circuits. It is controlled by transistors or thyristors or any other power switching semiconductor devices.

Note 2 to entry: The converter can be line-commutated, load-commutated or self-commutated and can consist, for example, of one or more rectifiers or inverters.

3.5.2

active infeed converter

AIC

self-commutated electronic power converters of all technologies, topologies, voltages and sizes which are connected between the AC power supply system (lines) and usually a stiff DC-side (current source or voltage source) and which can convert electric power in both directions (from AC to DC, and from DC to AC) and which can control the reactive power or the power factor

Note 1 to entry: Some of the AICs can additionally control the harmonics to reduce the distortion of an applied voltage or current.

Note 2 to entry: Basic topologies can be realized as a voltage source converter (VSC) or a current source converter (CSC).

Note 3 to entry: In the IEC 60050 series, VSC and CSC are defined as voltage stiff AC/DC converter [551-12-03] and current stiff AC/DC converter [551-12-04]. Most of the AICs are bi-directional converters and have sources on the DC side.

Note 4 to entry: In some literature, active infeed converters are also known as active front end (AFE).

[SOURCE: IEC TS 62578:2015, 3.5, modified – The words "(generative or regenerative)" were replaced by "(from AC to DC, and from DC to AC)", the last sentence of Note 3 to entry was deleted, and the existing Note 4 to entry was replaced with a new one.]

3.5.3

motor

electric motor

electric machine intended to transform electric energy into mechanical energy

Note 1 to entry: For the purposes of this document, the motor includes all sensors which are mounted on it and which are relevant for supporting the operating mode and interacting with a CDM.

[SOURCE: IEC 60050-151:2001, 151-13-41, modified – The note to entry has been added.]

3.6 Test-related definitions

3.6.1

type test

test of one or more devices made to a certain design to show that the design meets certain specifications

[SOURCE: IEC 60050-411:1996, 411-53-01, modified – The word "machines" has been replaced by "devices".]

3.6.2

in situ

<test> location where the equipment is installed for its normal use by the end user

3.6.3

test site

<radiation> site meeting requirements necessary for correctly measuring, under defined conditions, electromagnetic fields emitted by a device under test

[SOURCE: IEC 60050-161:1990, 161-04-28]

3.6.4**small size equipment**

equipment, either positioned on a tabletop, wall-mounted or standing on the floor which, including its cables and possible auxiliary equipment, fits in an imaginary cylindrical test volume of maximum 1,2 m in diameter and 1,5 m height (to ground plane)

Note 1 to entry: This definition has been modified to apply to measurement of radiated emissions from the enclosure port.

[SOURCE: CISPR 11:2015, 3.17, modified – The words "wall-mounted" and "and possible auxiliary equipment" have been added, as well as the note to entry.]

3.6.5**wall-mounted equipment**

device intended to be mounted on a vertical surface

3.6.6**sub-component**

physical piece of equipment which can be operated separately with an intrinsic function defined by the manufacturer

Note 1 to entry: For the purpose of this document, a component of the EUT can be divided into sub-components.

Note 2 to entry: As an example, the control unit of a CDM may be a sub-component.

3.6.7**highest internal frequency**

F_x

highest fundamental frequency generated or used within the EUT or highest frequency at which it operates

Note 1 to entry: The highest internal frequency includes frequencies which are solely used within an integrated circuit.

3.7 Phenomena-related definitions**3.7.1****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]

3.7.2**total harmonic current****THC**

total RMS value of the harmonic current components of orders 2 to 40

$$THC = \sqrt{\sum_{h=2}^{40} I_h^2}$$

[SOURCE: IEC 61000-3-12:2011, 3.1]

3.7.3 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

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

where

h is the harmonic order;

Q_1 is the RMS value of the fundamental component;

Q_h is the RMS value of the component of harmonic order h

Note 1 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 2 to entry: The total harmonic distortion can be restricted to a certain harmonic order (recommended notation " H "), which is 40 for the purpose of this document.

[SOURCE: IEC 60050-551:2001, 551-20-13, modified – The term "total harmonic ratio" has been deleted, the formula has been added and, in Note 1 to entry, the words "the total harmonic ratio" have been replaced with "the harmonic content". In Note 2 to entry, the words "(recommended notation " H "), which is 40 for the purpose of this document" have been added and the sentence "This is to be stated" has been deleted.]

3.7.4 voltage variation

increase or decrease in voltage normally due to variation of the total load in an electricity supply system or a part of it

[SOURCE: IEC 60050-811:2017, 811-36-20, modified – The words "electric traction system" have been replaced by "electricity supply system".]

3.7.5 voltage change

variation of the RMS or peak value of a voltage between two consecutive levels sustained for definite but unspecified durations

Note 1 to entry: Whether the RMS or peak value is chosen depends upon the application, and which is used should be specified.

[SOURCE: IEC 60050-161:1990, 161-08-01]

3.7.6 voltage fluctuation

series of voltage changes or a continuous variation of the RMS or peak value of the voltage

Note 1 to entry: Whether the RMS or peak value is chosen depends upon the application, and which is used should be specified.

[SOURCE: IEC 60050-161:1990, 161-08-05]

3.7.7 voltage dip

sudden reduction of the voltage at a point in an electrical system, followed by voltage recovery after a short period of time, from a few cycles to a few seconds

[SOURCE: IEC 60050-614:2016, 614-01-08, modified – The second preferred term "voltage sag" has been deleted. In the definition, the words "electric power system" have been replaced by "electrical system", and the words "from a few periods of the sinusoidal wave of the voltage to a few seconds" have been replaced by "from a few cycles to a few seconds".]

3.7.8 fundamental frequency

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

Note 1 to entry: For the purposes of the IEC 61800 series, 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.

Note 2 to entry: IEC 60050-551:2001, 551-20-01, and IEC 60050-551:2001, 551-20-02, define the components as a result of the Fourier analysis; frequencies are therefore a consequence. In 3.7, the definitions follow the approach of IEC 61000-4-7:2002 defining first the frequencies, the components being a consequence. There is no contradiction between the two different approaches.

Note 3 to entry: In the case of a periodic function, the fundamental frequency is generally equal to the frequency of the function itself (see IEC 60050-551:2001, 551-20-03, and IEC 60050-551:2001, 551-20-01). The above definition corresponds to the genuine definition of "reference fundamental frequency" according to IEC 60050-551:2001, 551-20-04, and IEC 60050-551:2001, 551-20-02, for which the term "reference" may be omitted where there is no risk of ambiguity.

Note 4 to entry: In case of any remaining risk of ambiguity, the power supply frequency should be referred to the polarity and speed of rotation of the synchronous generator(s) feeding the system.

Note 5 to entry: This definition may be applied to any industrial power supply network, without regard to the load it supplies (a single load or a combination of loads, rotating machines or other load), and even if the generator feeding the network is a static converter.

[SOURCE: IEC 61000-2-2:2002, 3.2.1, modified – In the definition, the sentence starting with "For the purposes of this standard" has been moved to a note, replacing "this standard" with "the IEC 61800". The notes have been rephrased, and new notes have been added.]

3.7.9 fundamental component fundamental

component whose frequency is the fundamental frequency

3.7.10 harmonic frequency

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

[SOURCE: IEC 60050-551:2001, 551-20-05]

3.7.11 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: The value of a harmonic component is normally expressed as an RMS value.

[SOURCE: IEC 60050-551:2001, 551-20-07, modified – The note to entry has been replaced with Notes 1 and 2 to entry.]

3.7.12**harmonic order**

ratio of the frequency of any sinusoidal component to the fundamental frequency or the reference fundamental frequency

Note 1 to entry: The harmonic order of the fundamental component or the reference fundamental component is one.

Note 2 to entry: The recommended notation is "h".

[SOURCE: IEC 60050-551:2001, 551-20-09, modified – Note 2 to entry has been added.]

3.7.13**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 fundamental frequency. This ratio is not an integer (recommended notation "m").

Note 2 to entry: In the case where $m < 1$, the term of sub-harmonic frequency may also be used (see IEC 60050-551:2001, 551-20-10).

[SOURCE: IEC 60050-551:2001, 551-20-06, modified – The notes to entry have been added.]

3.7.14**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 the purposes of the IEC 61800 series, and 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 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 – The note to entry has been replaced with Notes 1 and 2 to entry.]

3.7.15**harmonic content****HC**

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 harmonic content is

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

where

Q represents either the current or the voltage;

h is the harmonic order (according to 3.7.12);

H is 40 for the purposes of this document.

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

3.7.16**total distortion content****DC**

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 (abbreviated as Q) is a periodic quantity with zero DC component.

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

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

where

Q comes from 3.7.15. See also IEC 60050-161:1990, 161-02-21, and IEC 60050-551:2001, 551-20-06.

[SOURCE: IEC 60050-551:2001, 551-20-11, modified – The text between brackets in Note 4 to entry have been added, as well as Note 5 to entry.]

3.7.17**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

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

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 – The abbreviated term TDR and the formula have been added. Note 2 to entry has been deleted.]

3.7.18**individual distortion ratio****IDR**

ratio of any harmonic component to the fundamental:

$$IDR = \frac{Q_h}{Q_1}$$

Note 1 to entry: In IEC 60050-161:1990, 161-02-20, this term is named " n^{th} harmonic ratio".

4 Common requirements**4.1 General conditions**

All phenomena, from the emission or immunity point of view, shall be considered individually. The limits are given for conditions which do not consider the cumulative effects of different phenomena.

For a realistic assessment of the EMC situation, a typical configuration shall be chosen based on a risk assessment by taking into account

- the worst-case steady state conditions, and
- all operating modes.

The application of tests for evaluation of immunity depends on the particular equipment under test (EUT), its configuration, its ports, its technology, and its operating conditions (see annexes).

For further information, see Annex A.

4.2 Tests

4.2.1 Conditions

All the tests specified in this document are type tests only. The equipment shall meet the EMC requirements under all steady state operating conditions as stated in the operating manual of the equipment when measured by the test methods specified in this document.

NOTE 1 Due to local radio transmission legislation, some immunity tests can be subject to conditions which restrict the choice of location where they can be performed.

For the tests of an EUT, the BDM or CDM shall be connected to a motor of a type permitted in the instructions for use. The motor shall be chosen based on a risk assessment by taking into account

- the worst-case steady state conditions, and
- all operating modes.

The cabling between the BDM/CDM and motor and the earthing rules shall be in accordance with the installation instructions of the BDM or CDM and the motor. If the EUT is a BDM or CDM, a passive test load (resistive, or resistive and inductive) may be applied as an alternative to a motor during immunity tests or low frequency emission tests, provided that passive test load represents the worst case.

NOTE 2 For high frequency emissions, passive test load can be unsuitable to simulate differential and common mode capacitances and couplings typically present.

For an MT, the EUT shall operate a programmed cycle that exercises the various functions of the MT during the test.

NOTE 3 The test can be performed without machining a workpiece, because cutting material will require cooling fluid, dust filters and fire extinguishers which cannot be applied on a test site.

The description of the tests, the test methods, the characteristics of the tests and the test set-ups are given in the referred standards and are not repeated here. If, however, modifications or additional requirements and information or specific test methods are needed for practical implementation and application of the tests, then they are given in this document.

All terminals shall be connected and operated in normal operating conditions to ensure that all relevant types of termination are covered. The tests shall be carried out at the rated supply voltage.

NOTE 4 If a risk assessment shows that some terminals are not significant to the EMC performance of the EUT, those terminals can remain disconnected during the test, while ensuring that the remaining configuration still represents the worst case.

4.2.2 Test report

The test results shall be documented in a test report. The report shall clearly and unambiguously present all relevant information for reproducible testing. A functional description and detailed performance (acceptance) criteria shall be noted in the test report. Within the test report, the chosen test arrangements shall be justified. The test arrangement shall be described in detail in the test report. The test report shall also state whether the EUT is a BDM, a CDM, a PDS or a MT.

4.3 Documentation for the user

The installation instructions shall contain the information necessary for the correct installation of an EUT into a typical system or process in the intended location. This information includes any information on emissions required by 6.5.1.1 and 6.5.1.3 for EUT of category C1 and EUT of category C2, 6.5.2.1 for EUT of category C3 and 6.6.2 for EUT of category C4. It also includes the information required by 5.3.2 in the case where the immunity of an EUT is suitable for residential, commercial and light industrial locations only.

NOTE 1 From the emission point of view, an EUT with a lower emission category, such as C1, can always be used instead of one with a higher emission category, such as C3.

NOTE 2 Emission categories are independent of immunity. For example, a statement that an EUT has emission category C1 does not imply that the immunity is only suitable for a residential location.

If special EMC measures are necessary to fulfil the required limits, these shall be clearly stated in the user documentation in sufficient detail to permit the installer to install the equipment correctly. Where relevant, these can include details of the following:

- maximum and minimum acceptable supply network impedance (or R_{SI} , R_{SC});
- use of shielded or special cables (power and/or control);
- cable shield connection requirements;
- maximum permissible cable length;
- cable segregation;
- use of external devices such as filters;
- correct bonding to functional earth.

If different devices or connection requirements apply in different environments, this shall also be stated.

5 Immunity requirements

5.1 General conditions

5.1.1 Performance (acceptance) criteria

The system performance relates to the functions of the EUT as a whole that are declared in the information for the user.

The performance (acceptance) criteria shall be used to check the performance of an EUT against external disturbances. From the EMC point of view, any installation according to Figure 1 or Figure 2 shall be running properly.

Table 1 classifies the effects of a given disturbance into three performance (acceptance) criteria: A, B and C for the BDM, CDM and PDS.

Table 2 classifies the effects of a given disturbance into three performance (acceptance) criteria: A, B and C for the MT.

The "general system performance" item from Table 1 and Table 2 is based on the performance criteria in the generic EMC immunity standards IEC 61000-6-1 and IEC 61000-6-2.

The other items in Table 1 and Table 2 describe in more detail the meaning of the general system performance (acceptance) criteria for individual features of the EUT.

Subclauses 5.2 and 5.3 state the performance (acceptance) criterion required for each phenomenon.

Table 1 – Criteria to prove the acceptance of a BDM, CDM or PDS against electromagnetic disturbances

Item	Performance (acceptance) criterion ^a		
	A	B	C
General system performance	No noticeable changes of the operating characteristic Operating as intended, within specified tolerance False starts are not acceptable	Temporary noticeable changes (visible or audible) of the operating characteristic Self-recoverable False starts are not acceptable	Shutdown, changes in operating characteristics Triggering of protective devices ^b Not self-recoverable False starts are not acceptable
Torque ^c generating behaviour	Torque ^c deviation within specified tolerances	Temporary torque ^c deviation outside specified tolerances Self-recoverable	Loss of torque ^c Not self-recoverable
Operation of power electronics and driving circuits	No malfunction of a power semiconductor	Temporary malfunction which cannot cause unintended shut-down of the PDS	Shutdown, triggering of protective devices ^b No loss of stored program No loss of user program No loss of persistent settings Not self-recoverable
Information processing and sensing functions	Undisturbed communication and data exchange to external devices	Temporarily disturbed communication, but no error reports of the internal or external devices which could cause shutdown	Errors in communication, loss of data and information No loss of stored program, no loss of user program No loss of persistent settings Not self-recoverable
Operation of displays and control panels	No changes of visible display information, only slight light intensity fluctuation of LEDs, or slight movement of characters	Visible temporary changes of information, undesired LED illumination	Shut down, permanent loss of information, or unpermitted operating mode, obviously wrong display information No loss of stored program, no loss of user program No loss of persistent settings

NOTE Performance (acceptance) criteria A describes continuously unchanged behaviour of the EUT, whereas criterion B refers to performance which can degrade transiently provided that the performance self-recovers.

^a Performance (acceptance) criteria A, B, C – False starts are not acceptable. A false start is an unintended change from the logical state "STOPPED" which can make the motor run.

^b Performance (acceptance) criterion C – The function can be restored by operator intervention (manual reset). Opening of fuses is allowed for line-commutated converters operating in inverting mode.

^c For BDM and CDM, the EUT output current shall be assessed instead of torque.

Table 2 – Criteria to prove the acceptance of an MT against electromagnetic disturbances

Item	Performance (acceptance) criterion		
	A	B	C
General system performance	No noticeable changes of the operating characteristic Operating as intended, within specified tolerance	Temporary noticeable changes (visible or audible) of the operating characteristic Self-recoverable	Shutdown, changes in operating characteristics ^a Triggering of protective devices Not self-recoverable
Data loss behaviour	No loss of data Continuous running	No loss of data Programs, data and positions are kept	Loss of data Recoverable by restart or new set-up
Workpiece program execution	No changes in workpiece program execution Continuous running	Temporary changes in workpiece program execution Normal program execution resumes automatically	Shut down, changes in workpiece program execution, etc. Program execution restored by control operation or by any other operation specified in the instructions for use
Operation of the power electronics (axis and spindle drives etc.)	Control functions within limits No message(s) on the display of any unit about control limits being exceeded	Control function temporarily outside limits Message(s) on the displays of control or other units about control limits being exceeded Operation resumes automatically	Shut down of the unit by protective or safety devices Restart by operator is allowed
Information processing and sensing functions	No disturbances in sensing or communication functions between units	Communication or sensing temporarily interrupted Sensing/communication ability stays functioning; next required event is performed well	Loss of sensing function and/or communication control between units Restart by operator is allowed
Operation of display units and control panels	No changes in display information Maximum slight influences in Intensity, brightness or movements of characters	Temporary visible changes of display information Temporary undesired lamp and/or LED illumination	Permanent loss of display information or obviously wrong information Incorrect illumination of lamps, LEDs etc., not self-recoverable. Restart by operator is allowed
^a Examples: The monitor turns off, but the machine carries on operating properly; alarm indications turn on without reason; incoherent error messages, incompatible with the actual status of the machine, appear on the monitor (e.g. motor position error message with no movement).			

5.1.2 Conditions during the test

5.1.2.1 General

The immunity test requirements for equipment covered by this document are given on a port by port basis and listed in 5.2 and 5.3.

NOTE If several process measurement and control ports or signal interfaces have the same physical configuration (layout) demonstrated and recorded in the test report, it is common practice to test one port or interface of that type only. A risk assessment is helpful to justify any reduction of the number of ports tested.

In 5.2 and 5.3, the minimum requirements, tests and performance (acceptance) criteria are stated. The performance (acceptance) criteria refer to 5.1.1.

5.1.2.2 BDM/CDM/PDS test conditions

The BDM/CDM/PDS load used for the tests shall be selected according to 4.2.1. The actual load shall be noted in the test report.

Testing the torque generating behaviour as well as the information processing and sensing functions requires special test equipment with adapted immunity against the parasitic coupling of the test disturbance. It may only be used if the immunity of the test set-up can be proven by reference measurements.

For testing the performance of the information processing or sensing function, suitable equipment shall be available to simulate the data communication or data evaluation. This equipment shall have sufficient immunity to operate correctly during the test.

5.1.2.3 MT test conditions

The MT shall operate normally during measurement, but without processing workpieces, without using coolant liquid, without transporting raw and finished workpieces or chips etc. or machining a workpiece. Despite the MT not producing workpieces, all components for operating inside the (stand-alone) MT should be built in and operating.

During the tests concerning electromagnetic fields and conducted radio-frequency common mode, the MT shall run an automatic operation programme which exercises all equipment of the MT (with a typical cycle time), for example as is used for real production. The automatic programme shall be described in the test report.

If the MT or the sub-components can be connected to auxiliary equipment, then the MT or the sub-component shall be tested while connected to the minimum configuration of auxiliary equipment necessary to exercise all ports selected for testing.

5.2 Basic immunity requirements – Low-frequency (< 150 kHz) disturbances

5.2.1 Harmonics

5.2.1.1 Low voltage EUTs

The EUT shall sustain the immunity levels while meeting the performance criteria given in Table 3. The test shall be performed using the EUT with the motor connected. The test method of IEC 61000-4-13 shall be applied.

NOTE The scope of IEC 61000-4-13 is limited to 16 A. However, test generators can be available above 16 A as well. When such test equipment is available, an EUT with rated input current above 16 A can be tested according to IEC 61000-4-13 as well.

Table 3 – Minimum immunity requirements for individual harmonic orders on AC power ports of low voltage EUT

Phenomenon Harmonic order	Residential, commercial or light industrial environment		Industrial environment		Performance (acceptance) criterion
	Reference document	Level	Reference document	Level	
2	IEC 61000-4-13 class 2	3 %	IEC 61000-4-13 class 3	5 %	A, C ^a
3		8 %		9 %	
4		1,5 %		2 %	
5		9 %		12 %	
Even orders $6 \leq h \leq 40$		No requirement		1,5 %	
7		7,5 %		10 %	
9		2,5 %		4 %	
11		5 %		7 %	
13		4,5 %		7 %	
15		No requirement		3 %	
17		3 %		6 %	
19		2 %		6 %	
21		No requirement		2 %	
23		2 %		6 %	
25		2 %		6 %	
27		No requirement		2 %	
29		1,5 %		5 %	
31		1,5 %		3 %	
33		No requirement		2 %	
35		1,5 %		3 %	
37	1,5 %	3 %			
39	No requirement	2 %			

NOTE 1 For individual harmonic orders in residential, commercial or light industrial locations, levels are from class 2 in IEC 61000-4-13 (these are approximately 1,5 times the compatibility levels of IEC 61000-2-4).

NOTE 2 For individual harmonic orders in industrial locations, levels are from class 3 in IEC 61000-4-13 (these are approximately 1,5 times the compatibility levels of IEC 61000-2-4).

NOTE 3 High levels of harmonic voltage can cause excess power dissipation in passive filters in the input circuits of active infeed converters. This can cause tripping of the thermal protection of these filters, resulting in performance criterion C. If performance criterion A at these test levels is desired, an installation-specific filter can be required.

^a Generally, the performance criterion is A. However, in the case of active infeed converters, the performance criterion C is accepted.

5.2.1.2 EUT of rated voltage above 1 000 V

5.2.1.2.1 AC main power port

The EUT shall sustain the immunity levels given in Table 4.

Table 4 – Minimum immunity requirements for harmonics on AC main power ports of EUTs of rated voltage above 1 000 V

Phenomenon	Reference document	Level	Performance (acceptance) criterion
Harmonics (individual harmonic orders)	IEC 61000-2-4 class 3	Value of the compatibility level	A
Harmonics short term (< 15 s)	IEC 61000-2-4 class 2	1,5 times the value of the compatibility level	A

5.2.1.2.2 AC auxiliary power port

The AC auxiliary power ports of EUTs shall sustain the immunity levels for industrial locations given in Table 3 while meeting the performance criteria in that table.

5.2.2 Voltage dips and short interruptions

5.2.2.1 Low voltage EUT

The EUT shall sustain the immunity levels given in Table 5.

For equipment rated up to 16 A per phase, the EUT shall be tested using the method of IEC 61000-4-11. For equipment rated above 16 A per phase, the EUT shall be tested using the method of IEC 61000-4-34.

Table 5 – Minimum immunity requirements for voltage dips and short interruptions on AC power ports of low voltage EUTs

Phenomenon	Residential, commercial or light industrial environment			Industrial environment			Performance (acceptance) criterion
	Reference document	Level		Reference document	Level		
Voltage dips	IEC 61000-4-11 class 2	Volts remaining	Cycles	IEC 61000-4-11 class 3	Volts remaining	Cycles	C ^b
		0 %	1		0 %	1	
	or IEC 61000-4-34 class 2 ^c	70 %	25/30 ^a	or IEC 61000-4-34 class 3 ^c	40 %	10/12 ^a	
					70 %	25/30 ^a	
				80 %	250/300 ^a		
Short interruptions	IEC 61000-4-11 class 2	Volts remaining	Cycles	IEC 61000-4-11 class 3	Volts remaining	Cycles	C ^b
	or IEC 61000-4-34 class 2 ^c	0 %	250/300 ^a	or IEC 61000-4-34 class 3 ^c	0 %	250/300 ^a	

^a "x/y cycles" means "x cycles for 50 Hz test" and "y cycles for 60 Hz test".

^b Opening of fuses is allowed for line-commutated converters operating in inverting mode.

^c IEC 61000-4-11 applies to equipment rated less than or equal to 16 A and IEC 61000-4-34 to equipment rated above 16 A.

NOTE 1 A BDM/CDM/PDS is used for energy conversion, and a voltage dip represents a loss of available energy. It can be necessary to trip for safety reasons, even during a voltage dip of 30 % to 50 % amplitude and 0,3 s duration.

NOTE 2 A decreasing input voltage, even with few milliseconds duration, can result in blowing of fuses when applied to a line commutated thyristor converter operating under regeneration mode.

NOTE 3 The effect of a voltage dip (energy reduction) on the process cannot be defined without detailed knowledge of the process itself. This effect is a system and rating aspect and will generally be greatest when the power demand (including losses) on the EUT is higher than the available power.

NOTE 4 Where it is possible and not dangerous, the behaviour of the EUT during short interruptions can be verified by switching off and on the mains supply during the standard operating conditions of the EUT (see B.6.1).

The degradation of performance resulting from voltage dips or short interruptions shall be stated in the documentation for the user.

NOTE 5 Improvements to the immunity (use of UPS, stand-by generator, derating, etc.) can result in a considerable increase in the size and cost of the EUT and can reduce the efficiency or power factor. Operation such as automatic restart can have safety consequences, which are not covered by this document.

5.2.2.2 EUT of rated voltage above 1 000 V

5.2.2.2.1 AC main power port

AC main power ports of EUTs shall sustain the immunity levels given in Table 6.

The EUT shall be tested using the method of IEC 61000-4-34.

Table 6 – Minimum immunity requirements for dips and short interruptions on AC main power ports of rated voltage above 1 000 V of EUTs

Phenomenon	Reference document	Level		Performance (acceptance) criterion
		Volts remaining	Cycles	
Voltage dips	IEC 61000-4-34 ^a	0 %	1	C ^c
		40 %	10/12 ^b	
		70 %	25/30 ^b	
		80 %	250/300 ^b	
Short interruptions	IEC 61000-4-34 ^a	Volts remaining	Cycles	C ^c
		0 %	250/300 ^b	
^a Typical depths and durations of voltage dips are given in IEC TR 61000-2-8. ^b "x/y cycles" means "x cycles for 50 Hz test" and "y cycles for 60 Hz test". ^c Opening of fuses is allowed for line-commutated converters operating in inverting mode.				

The degradation of performance resulting from voltage dips or short interruptions shall be stated in the documentation for the user.

5.2.2.2.2 AC auxiliary power port

The low voltage AC auxiliary power ports of EUTs shall sustain the immunity levels given in Table 7.

Table 7 – Minimum immunity requirements for dips and short interruptions on low voltage AC auxiliary power ports of EUTs

Phenomenon	Reference document	Level		Performance (acceptance) criterion
		Volts remaining	Cycles	
Voltage dips	IEC 61000-4-11 or	0 %	1	C
		40 %	10/12 ^a	
	IEC 61000-4-34 ^b	70 %	25/30 ^a	
		80 %	250/300 ^a	
Short interruptions	IEC 61000-4-11 class 3 or	Volts remaining 0 %	Cycles 250/300 ^a	C
	IEC 61000-4-34 class 3 ^b			
^a "x/y cycles" means "x cycles for 50 Hz test" and "y cycles for 60 Hz test". ^b IEC 61000-4-11 applies to equipment less or equal to 16 A and IEC 61000-4-34 applies to equipment above 16 A.				

5.2.3 Frequency variations

5.2.3.1 Low voltage EUTs

The EUT shall comply with the immunity levels given in Table 8. During testing, the rated load condition shall be used.

Table 8 – Minimum immunity requirements for frequency variations on AC power ports of low voltage EUTs

Phenomenon	Residential, commercial or light industrial environment		Industrial environment		Performance (acceptance) criterion
	Reference document	Level	Reference document	Level	
Frequency variation	IEC 61000-4-28	Frequency change: ±2 % Transition period between frequencies: 2 s	IEC 61000-4-28	Frequency change: ±2 % ±4 % where the supply is separated from public supply networks Transition period between frequencies: 2 s	A
NOTE The frequency rate of change is specified according to IEC 61000-4-28. For a transition period of 2 s, a frequency change of ±2 % corresponds to a frequency rate of change of ±1 %/s and a frequency change of ±4 % corresponds to a frequency rate of change of ±2 %/s.					

5.2.3.2 EUTs of rated voltage above 1 000 V

5.2.3.2.1 AC main power port

The EUT shall sustain the immunity levels given in Table 9. During verification, the rated load condition shall be used.

Table 9 – Minimum immunity requirements for frequency variations on AC main power ports of rated voltage above 1 000 V of EUTs

Phenomenon	Reference document	Level	Performance (acceptance) criterion
Frequency variation	IEC 61000-4-28	Frequency change: ±2 % ±4 % where the supply is separated from public supply networks Transition period between frequencies: 2 s	A
NOTE The frequency rate of change is specified according to IEC 61000-4-28. For a transition period of 2 s, a frequency change of ±2 % corresponds to a frequency rate of change of ±1 %/s and a frequency change of ±4 % corresponds to a frequency rate of change of ±2 %/s.			

5.2.3.2.2 AC auxiliary power port

The AC auxiliary power ports of EUTs shall sustain the immunity levels given in Table 10.

Table 10 – Minimum immunity requirements for frequency variations on auxiliary AC low voltage power ports of EUTs

Phenomenon	Reference document	Level	Performance (acceptance) criterion
Frequency variation	IEC 61000-4-28	Frequency change: ±2 % ±4 % where the supply is separated from public supply networks Transition period between frequencies: 2 s	A
NOTE The frequency rate of change is specified according to IEC 61000-4-28. For a transition period of 2 s, a frequency change of ±2 % corresponds to a frequency rate of change of ±1 %/s and a frequency change of ±4 % corresponds to a frequency rate of change of ±2 %/s.			

5.2.4 Supply influences – Magnetic fields

Immunity tests according to IEC 61000-4-8 are not required.

NOTE BDMs, CDMs, PDSs and MTs are inherently immune against external magnetic fields because the magnetic fields inside the EUT are orders of magnitude above the magnetic field test levels defined in IEC 61000-4-8 (see A.3.1 for explanation).

5.3 Basic immunity requirements – High-frequency (≥ 150 kHz) disturbances

5.3.1 Conditions

In the following Table 11 and Table 12, the minimum immunity requirements for high-frequency disturbance tests and performance (acceptance) criteria are stated. The performance (acceptance) criteria refer to 5.1.1.

5.3.2 Residential, commercial and light industrial environment

The levels in Table 11 shall be applied to EUTs which are intended to be used only in residential, commercial or light industrial locations.

If an EUT is designed to have immunity according to Table 11, it shall include a written caution in the instructions for use which indicates that it is not intended to be used in an industrial location.

Table 11 – Minimum immunity requirements for EUTs intended for use in a residential, commercial or light industrial location

Port	Phenomenon	Basic standard for test method	Level	Performance (acceptance) criterion
Enclosure port	ESD (electrostatic discharge)	IEC 61000-4-2	4 kV CD or 8 kV AD if CD impossible ⁹	B
	Radio-frequency electromagnetic field, amplitude modulated	IEC 61000-4-3	80 MHz to 1 000 MHz 3 V/m 80 % AM (1 kHz)	A
	Radio-frequency electromagnetic field, amplitude modulated	IEC 61000-4-3	1,4 GHz to 6,0 GHz 3 V/m 80 % AM (1 kHz)	A
Power ports (except auxiliary DC power ports below 60 V)	Fast transient-burst	IEC 61000-4-4	1 kV 5 kHz or 100 kHz ^{a,b}	B
	Surge ^c 1,2/50 μs, 8/20 μs	IEC 61000-4-5	1 kV ^d 2 kV ^e	B
	Conducted radio-frequency common mode	IEC 61000-4-6	0,15 MHz to 80 MHz 3 V 80 % AM (1 kHz)	A
Power interfaces	Fast transient-burst ^f	IEC 61000-4-4	1 kV 5 kHz or 100 kHz ^b Capacitive clamp	B
Signal interfaces	Fast transient-burst ^f	IEC 61000-4-4	0,5 kV 5 kHz or 100 kHz ^b Capacitive clamp	B
	Conducted radio-frequency common mode ^f	IEC 61000-4-6	0,15 MHz to 80 MHz 3 V 80 % AM (1 kHz)	A
Ports for process measurement control lines and wired network ports	Fast transient-burst ^f	IEC 61000-4-4	0,5 kV 5 kHz or 100 kHz ^b Capacitive clamp	B

Port	Phenomenon	Basic standard for test method	Level	Performance (acceptance) criterion
Auxiliary DC power ports below 60 V	Surge ^g 1,2/50 μ s, 8/20 μ s	IEC 61000-4-5	1 kV ^e	B
	Conducted radio-frequency common mode ^f	IEC 61000-4-6	0,15 MHz to 80 MHz 3 V 80 % AM (1 kHz)	A
CD: contact discharge AD: air discharge AM: amplitude modulation				
<p>^a Power ports with current rating < 100 A: direct coupling using the coupling and decoupling network. Power ports with current rating \geq 100 A: if the EUT does not work properly with the coupling and decoupling network, the capacitive clamp without decoupling network shall be used instead. If the capacitive clamp is used, test level shall be 2 kV. The chosen test method shall be stated in the test report.</p> <p>^b The test may be performed at one or both repetition frequencies. The use of 5 kHz is traditional; however, 100 kHz is closer to reality. The chosen test method shall be stated in the test report.</p> <p>^c Applicable only to power ports with current consumption < 63 A during light load test conditions as specified in 4.2.1.</p> <p>^d Coupling line-to-line.</p> <p>^e Coupling line-to-earth.</p> <p>^f Applicable only to ports or interfaces with cables whose total length, according to the instructions for use, is permitted to exceed 3 m. For justification, see A.3.2.1.</p> <p>^g See the basic standard for applicability of contact and/or air discharge test, and for applicability of horizontal coupling planes (HCP) and vertical coupling planes (VCP).</p>				

5.3.3 Industrial environment

The levels in Table 12 shall be applied to EUTs which are intended to be used in an industrial location. This also applies to the low voltage ports, or the low voltage interfaces (power, signal) of EUTs of rated voltage above 1 000 V.

NOTE 1 Examples of low voltage ports and interfaces of an EUT of rated voltage above 1 000 V are as follows:

- LV enclosure port enclosure of auxiliaries, control and protection;
- LV power ports LV power supply of the EUT;
- LV power interfaces auxiliary supply distribution within main components of the EUT;
- LV signal interfaces LV signal interfaces within main components of the EUT;
- LV process port signal port of the EUT.

Table 12 – Minimum immunity requirements for EUTs intended for use in an industrial location

Port	Phenomenon	Basic standard for test method	Level	Performance (acceptance) criterion
Enclosure port	ESD (electrostatic discharge)	IEC 61000-4-2	4 kV CD or 8 kV AD if CD impossible ^h	B
	Radio-frequency electromagnetic field, amplitude modulated	IEC 61000-4-3	80 MHz to 1 000 MHz 10 V/m 80 % AM (1 kHz)	A
	Radio-frequency electromagnetic field, amplitude modulated	IEC 61000-4-3	1,4 GHz to 6,0 GHz 3 V/m 80 % AM (1 kHz)	A
Power ports (except auxiliary DC power ports below 60 V)	Fast transient-burst	IEC 61000-4-4	2 kV 5 kHz or 100 kHz ^{a,b}	B
	Surge ^c 1,2/50 µs, 8/20 µs	IEC 61000-4-5	1 kV ^d 2 kV ^e	B
	Conducted radio-frequency common mode ^f	IEC 61000-4-6	0,15 MHz to 80 MHz 10 V 80 % AM (1 kHz)	A
Power interfaces	Fast transient-burst ^f	IEC 61000-4-4	2 kV 5 kHz or 100 kHz ^b Capacitive clamp	B
Signal interfaces	Fast transient-burst ^f	IEC 61000-4-4	1 kV 5 kHz or 100 kHz ^b Capacitive clamp	B
	Conducted radio-frequency common mode ^f	IEC 61000-4-6	0,15 MHz to 80 MHz 10 V 80 % AM (1 kHz)	A
Ports for process measurement control lines and wired network ports Auxiliary DC power ports below 60 V	Fast transient-burst ^f	IEC 61000-4-4	2 kV 5 kHz or 100 kHz ^b Capacitive clamp	B
	Surge ^g 1,2/50 µs, 8/20 µs	IEC 61000-4-5	1 kV ^e	B
	Conducted radio-frequency common mode ^f	IEC 61000-4-6	0,15 MHz to 80 MHz 10 V 80 % AM (1 kHz)	A
CD: contact discharge AD: air discharge AM: amplitude modulation				

a	Power ports with current rating < 100 A: direct coupling using the coupling and decoupling network. Power ports with current rating ≥ 100 A: if the EUT does not work properly with the coupling and decoupling network, the capacitive clamp without decoupling network shall be used instead. If the capacitive clamp is used, the test level shall be 4 kV. The chosen test method shall be stated in the test report.
b	The test may be performed at one or both repetition frequencies. The use of 5 kHz is traditional; however, 100 kHz is closer to reality. The chosen test method shall be stated in the test report.
c	Applicable only to power ports with current consumption < 63 A during light load test conditions as specified in 4.2.1.
d	Coupling line-to-line.
e	Coupling line-to-earth.
f	Applicable only to ports or interfaces with cables whose total permitted length stated in the instructions for use is allowed to exceed 3 m. For justification, see A.3.2.1.
g	Applicable only to ports with cables whose total length, according to the instructions for use, is permitted to exceed 30 m. For justification, see A.3.2.2. In the case of a shielded cable, a direct coupling to the shield is applied. This immunity requirement does not apply to fieldbus or other signal interfaces where the use of surge protection devices is not practical for technical reasons. The test is not required where normal functioning cannot be achieved because of the impact of the coupling/decoupling network on the equipment under test (EUT).
h	See the basic standard for applicability of contact and/or air discharge test, and for applicability of horizontal coupling planes (HCP) and vertical coupling planes (VCP).

These phenomena are not relevant for application to the ports of rated insulation voltage above 1 000 V. For simplicity, such ports are named HV ports of EUTs of rated voltage above 1 000 V.

NOTE 2 Examples of HV ports and interfaces of an EUT of rated voltage above 1 000 V are as follows:

- HV enclosure port enclosure of transformer, converter section and motor;
- HV power port primary side of transformer;
- HV power interfaces HV distribution within main components of the EUT;
- HV signal interfaces HV signal interfaces within main components of the EUT.

5.4 Application of immunity requirements – Alternative verification methods

5.4.1 General

For some immunity phenomena, compliance may be demonstrated by sub-component testing.

For some low frequency immunity phenomena, another alternative is using either calculation or simulation instead of testing.

In these cases, the chosen verification method shall be stated in the test report. A risk assessment shall prove that the simulation and/or calculation model or the selected sub-components of the EUT include all effects relevant for the assessed EMC phenomenon. Unless otherwise stated, it is sufficient to demonstrate that the power circuit will comply with the required performance (acceptance) criterion in 5.2 and 5.3 and that the ratings of input circuits (filters, etc.) will not be exceeded.

NOTE 1 In some cases, simulation and calculation give a more effective assessment than tests of an EUT's low-frequency immunity or emission. Examples for such cases are as follows.

- The EUT is too large to be put into an EMC test chamber.
- The power of the EUT exceeds the power of available test generators.
- The network conditions (impedance, predistortion) cannot be realized with an available test generator.
- The generic or basic standards allow assessment by calculation or simulation.

NOTE 2 Testing on a representative model is a way to verify the simulation model.

5.4.2 Simulation and calculation of harmonics

Subclause 5.4.2 is particularly relevant for equipment with an input current exceeding 16 A. The EUT shall sustain the immunity levels while meeting the performance criteria given in Table 3 or Table 4, as applicable. It shall be verified that, if the harmonic is present for the time period defined in the test standard, the EUT will achieve the performance criterion given in the applicable table. In case of immunity simulation, the simulation model shall at least contain the following elements:

- the test generator according to IEC 61000-4-13;
- the main power circuit of the BDM part of the EUT and its control and monitoring signals;
- a load circuit.

The chosen verification method shall be stated in the test report. A risk assessment shall be performed according to 4.1.

5.4.3 Alternative verification methods for voltage dips and short interruptions

The EUT shall sustain the immunity levels given in the applicable Table 5, Table 6 and Table 7.

For equipment rated above 75 A per phase and equipment with rated voltage above 1000 V, the undervoltage ride-through test (UVRT) according to IEC 61400-21-1:2019, 8.5.2.2, may be used as an alternative to the test method of IEC 61000-4-34.

If, due to reasons of high power etc., suitable test equipment using any of the above methods is not available, immunity may be verified by calculation or simulation. In case of immunity simulation, the simulation model shall at least contain the following elements:

- the test generator according to IEC 61000-4-11 or IEC 61000-4-34;
- the main power circuit of the BDM part of the EUT and its control signals;
- a load circuit.

The chosen verification method shall be stated in the test report. A risk assessment shall be performed according to 4.1.

5.4.4 Frequency variations

The EUT shall comply with the immunity levels given in the applicable Table 8, Table 9 and Table 10. In case of immunity simulation, the simulation model shall at least contain the following elements:

- the test generator according to IEC 61000-4-28;
- the main power circuit of the BDM part of the EUT and its control signals;
- a load circuit.

The chosen verification method shall be stated in the test report. A risk assessment shall be performed according to 4.1.

5.4.5 Immunity against electromagnetic fields by subcomponents testing

Immunity against electromagnetic fields may be demonstrated by performing the tests of IEC 61000-4-3 and IEC 61000-4-6 on sensitive sub-components, if the EUT is

- of rated voltage more than 500 V,
- of rated current more than 200 A,
- of total mass more than 250 kg, or
- of height, width, and depth more than 1,9 m.

If the test is performed on sensitive sub-components, this shall be stated in the test report.

NOTE Sensitive sub-components are typically all electronic printed circuit boards.

If the motor is too large to be put into service on a test site, the motor may be replaced by one of smaller size, provided this does not adversely affect the operation of the BDM/CDM.

6 Emission

6.1 General emission requirements

The measurements shall be made in the operating mode producing the largest emission in the frequency band, while being consistent with the normal application.

6.2 General emission requirements for MT

The MT shall operate normally during measurement, but without cutting metal, without using coolant liquid, without transporting raw and finished workpieces or chips etc. or machining a real workpiece. Despite the MT not producing workpieces, all integrated components for operating the (stand-alone) MT in a real manner should be built in (e.g. chip conveyor, workpiece handling system or robot integrated inside working zone, etc.). All these integrated components shall run in an MT controlled mode but can be without load.

Table 13 lists the approaches that should be used when assessing the emissions from different configurations of MT.

Table 13 – Approach to type-test assessment of different MT configurations

Situation of machine tool	Action
MT manufactured in one or various configurations	Test representative configuration (EMC worst case configuration)
MT modified using only electromagnetically irrelevant components	MT is deemed to fulfil the relevant tests in all configurations without testing additional types
MT will be modified by using electromagnetically relevant components	Choose the EMC worst case configuration. Verify the validity of the representative MT configuration depending on upcoming new configurations. In case of non-validity, test of the new representative configuration shall be fulfilled.

In the case of an MT with an automatic cycling program, the test time can be started at random during the MT cycle time. In addition, it is necessary to take into account the size and dimensions of an MT. Therefore, distinctions shall be drawn between (type-) testable machines and machines which are not testable based on their physical dimensions.

6.3 Basic low-frequency (< 150 kHz) emission limits

6.3.1 Harmonics and interharmonics

6.3.1.1 Low-voltage public supply network – Equipment covered by IEC 61000-3-2 or IEC 61000-3-12

Equipment (e.g. MT) can contain one or several PDSs and also other loads.

When an EUT intended to be connected to a public low-voltage distribution system is within the scope of IEC 61000-3-2 (rated input current ≤ 16 A per phase), the requirements of that standard apply. However, when one or more BDM/CDM/PDSs are included in equipment within the scope of IEC 61000-3-2, the requirements of that standard apply to the complete equipment and not to the individual BDM/CDM/PDS.

When an EUT intended to be connected to a public low-voltage distribution system is within the scope of IEC 61000-3-12 (rated input current > 16 A and ≤ 75 A per phase), the requirements of that standard apply. However, when one or more BDM/CDM/PDSs are included in equipment (e.g. MT) within the scope of IEC 61000-3-12, the requirements of that standard apply to the complete equipment and not to the individual BDM/CDM/PDS.

If an equipment is in the scope of IEC 61000-3-2 or IEC 61000-3-12, the boundary of the system or sub-system to which that standard applies shall be stated in the test report of that equipment. The method used to demonstrate compliance shall also be stated in the test report of that equipment.

6.3.1.2 Low-voltage public supply network – Equipment not covered by IEC 61000-3-2 or IEC 61000-3-12

For equipment not covered by IEC 61000-3-2 or IEC 61000-3-12 (rated current above 75 A), recommendations can be found in Clause B.4.

6.3.1.3 Industrial networks

If equipment is to be used only in installations which are not directly supplied from a public low voltage network, it is outside the scope of IEC 61000-3-2 and IEC 61000-3-12. Therefore, a reasonable approach which considers the total installation should be used (see Clause B.4).

NOTE For network voltages above 1 000 V, the total installation can be subject to rules from the distribution network operator, usually based on IEC TR 61000-3-6. These rules apply to the installation as a whole, not to individual equipment. These rules usually take the existing harmonic currents and voltage distortion within the system into account. An efficient and simplified approach is provided by Table B.2.

In the case of an EUT of rated voltage above 1 000 V, harmonic emissions from the main power port and the auxiliary power ports shall be considered separately.

6.3.2 Voltage fluctuations and flicker

6.3.2.1 Conditions

Equipment can contain one or several BDM/CDM/PDSs and also other loads (e.g. MT) which are capable of causing voltage fluctuations and flicker.

NOTE 1 Voltage fluctuations can be caused, for instance, by frequently changing the load of a BDM/CDM/PDS, or by sub-harmonics of slip energy recovery of asynchronous motors. Voltage fluctuations can also be caused by interharmonics at frequencies slightly different from the fundamental or from predominant harmonics. The emission is typically generated by cyclo-converters or current source inverters. See B.4.3 and B.6.2. Interharmonics are covered by compatibility levels given in IEC 61000-2-4 or in IEC 61000-2-12.

NOTE 2 Voltage fluctuations are dependent on the impedance of the installation and the duty cycle of the load. In some applications, the user can reduce voltage fluctuations by adjusting the load duty cycle by changing speed ramp rate or using other techniques.

NOTE 3 Certain voltage fluctuations on networks that supply lighting loads can cause an impression of unsteadiness of visual sensation, known as flicker.

6.3.2.2 Low-voltage public supply network – Equipment in the scope of IEC 61000-3-3 or IEC 61000-3-11

When an EUT intended to be connected to a public low-voltage distribution system is within the scope of IEC 61000-3-3 (rated input current ≤ 16 A per phase), the requirements of that standard apply. However, when one or more BDM/CDM/PDSs are included in equipment within the scope of IEC 61000-3-3, the requirements of that standard apply to the complete equipment and not to the individual BDM/CDM/PDS.

When an EUT intended to be connected to a public low-voltage distribution system is within the scope of IEC 61000-3-11 (rated input current > 16 A and ≤ 75 A per phase), the requirements of that standard apply. However, when one or more BDM/CDM/PDSs are included in equipment (e.g. MT) within the scope of IEC 61000-3-11, the requirements of that standard apply to the complete equipment and not to the individual BDM/CDM/PDS.

NOTE Application of the voltage fluctuation limits of IEC 61000-3-3 and 61000-3-11 is only possible when the characteristics of the load provided by the driven equipment are known. For that reason, only the machine builder and/or end user are capable of characterizing compliance with regard to the voltage fluctuation limits.

6.3.2.3 EUTs not in the scope of IEC 61000-3-3 and IEC 61000-3-11

For equipment not in the scope of IEC 61000-3-3 and IEC 61000-3-11, emissions of voltage fluctuations are generally dependent on the loading conditions and this document cannot give requirements.

NOTE Local rules given by local authorities can apply to the complete installation. In some of these cases, guidance in IEC TS 61000-3-5 can be consulted.

6.3.3 Emissions in the frequency range from 2 kHz to 150 kHz

In the frequency range from 2 kHz to 150 kHz, limits are not specified.

NOTE 1 Horizontal EMC committees in IEC are working on limits in this frequency range.

NOTE 2 Until limits are specified in this frequency range, design recommendations for emission values can be found in IEC TS 62578:2015, Annex B.

For further information, see Annex D.

6.3.4 Common mode harmonic emission (low-frequency common mode voltage)

The switching frequency of the converter of the EUT is often in the audible frequency range and, in particular, the frequency range commonly used by telephone and data systems. To avoid the risk of crosstalk to signal cables, the installation instructions shall either recommend that the power interface cable be segregated from signal cables or state alternative mitigation methods.

6.4 Conditions related to high-frequency (≥ 150 kHz) emission measurement

6.4.1 General requirements for measurements on a test site

6.4.1.1 Common conditions

The tests shall be applied to the relevant ports where they exist and shall be performed in a well-defined and reproducible manner on a port-by-port basis.

The test method shall comply with CISPR 11:2015, CISPR 11:2015/AMD1:2016 and CISPR 11:2015/AMD2:2019, 7.3 to 7.4 and Clause 8. The requirements for configuration of test setup for the EUT considering cables arrangement are derived from CISPR 11:2015 and CISPR 11:2015/AMD1:2016, 7.5, paying particular attention to earth connections. An example for a PDS test setup and cable arrangement for measurements of radiated disturbances in 3 m separation distance is described in 6.4.1.3 below. The load and cable lengths shall be within the manufacturer's specification and the actual load and power interface cable length shall be noted in the test report.

6.4.1.2 Conducted emissions

The measurement equipment for evaluation of high-frequency mains terminal (power port) disturbance voltage emission is the artificial mains network ($50 \Omega/50 \mu\text{H}$, see CISPR 16-1-2 and CISPR 11:2015).

NOTE 1 Alternatively, an AMN can be connected in parallel as a voltage probe as described in CISPR 16-2-1:2014, Clause A.5.

NOTE 2 If the artificial mains network cannot be applied, the high impedance voltage probe according to CISPR 16-1-2:2014, 5.2.1, can be used. The reason why the artificial mains network cannot be used can be given in the test report. The chosen test method can be stated in the test report.

NOTE 3 EUTs in the scope of this document typically do not contain DC ports, but only AC ports and DC interfaces. If DC ports exist, applicable limits and test methods can be found in CISPR 11:2015.

Common-mode absorption devices (CMAD) shall not be used as part of the test setup for conducted emission measurement.

NOTE 4 A CMAD is a piece of test equipment intended to be placed on cables leaving the test volume. However, high common mode currents from EUTs can cause saturation of CMADs, leading to inconsistent results.

6.4.1.3 Radiated emissions of a BDM/CDM/PDS

6.4.1.3.1 Type of test site

EUT of category C1, category C2 and category C3 shall be measured on a test site compliant with requirements of CISPR 16-1-4. The measurement distance shall be stated in the test report.

This document allows test sites that are either an open-area test site (OATS) or a semi-anechoic chamber (SAC).

6.4.1.3.2 Test volume

The measurement distance is considered between the reference point (RP) of the antenna calibration and the boundary of the BDM/CDM/PDS's test volume (see Figure 7 to Figure 9).

The selection of measurement distances for tests up to 1 GHz shall comply with the requirements of CISPR 11:2015, 6.2.2.3 and 8.3.4..

The boundary of the BDM/CDM/PDS's test volume is the imaginary cylinder around the complete configuration of the BDM/CDM/PDS. This boundary is shown as item H in Figure 7 and Figure 8. All cables between different parts of the BDM/CDM/PDS shall be inside the imaginary cylinder. However, see 6.4.1.3.5 for information on the location of the motor. The height of the imaginary cylinder is measured from the floor, regardless of whether the BDM/CDM/PDS is table-top, wall-mounted equipment or standing on the floor.

The BDM/CDM/PDS is considered as small size equipment if the boundary of the BDM/CDM/PDS's test volume complies with the definition of 3.6.4. The maximum boundary for small size equipment is shown as item K in Figure 7 to Figure 9. The dimensions of the test volume should be measured with an accuracy of $\pm 0,1$ m.

6.4.1.3.3 Selection of measurement distance

Subclauses 6.5.1.3 and 6.5.2.4 give emission limits for tests at 10 m and 3 m distance.

Small size equipment meeting the size criterion defined in 3.6.4 may be tested at either 10 m or 3 m. Equipment not meeting this size criterion shall be tested at 10 m.

Special requirements relating to the test setup are specified in 6.4.1.3.4 to 6.4.1.3.6 for better reproducibility of measurement at 3 m. In cases where these requirements are practical for measurement at 10 m distance, they will also improve reproducibility at that distance.

As far as the applicability of common-mode absorption devices (CMAD) is concerned, see CISPR 11:2015.

NOTE 1 See CISPR 16-2-3.

NOTE 2 A measurement distance of 10 m is often used for large equipment with long motor cables. Long motor cables can cause saturation of CMADs, which leads to unreproducible test results.

6.4.1.3.4 Auxiliaries and peripherals

When auxiliaries or peripheral equipment are not part of the BDM/CDM/PDS (see EUT 2 in Figure 7 and Figure 8 and item E in Figure 7 to Figure 9), they may be placed outside the test volume. However, if they cannot be excluded from the maximum test volume because the interconnecting cables are too short or for other reasons, these auxiliaries or peripheral equipment are put on the positioning table or on the insulated plane.

6.4.1.3.5 Motor

For radiated emission, load conditions shall be selected to cause worst case emissions (see A.2.1 for information on load conditions).

NOTE 1 Emissions typically increase with common mode voltage and shorter rise time of the voltage. These conditions are achieved at light load and low motor speed.

The power rating of the motor shall be selected according to 4.2.1.

The power interface cable between the BDM/CDM and the motor shall be exposed to the antenna with at least 0,8 m length inside the test volume, unless the maximum cable length stated in the information for the user is shorter.

NOTE 2 The motor can be put inside or outside the test volume.

The position of the motor and the cable arrangement shall be stated in the test report.

The motor shall be directly connected to earth (i.e. to the ground plane), according to the recommendations for motor earthing given in the EUT's installation instructions. In the absence of such instructions, the motor shall be connected to the ground plane with a lead as short as possible, shown as item F in Figure 7 to Figure 9.

6.4.1.3.6 Layout of setup for radiated emission tests

Examples of typical layouts for radiated emission tests are given in Figure 7 to Figure 9 below.

If a special earthing conductor is used for the BDM/CDM/PDS, when put on the table this BDM/CDM/PDS shall be connected to earth (e.g. be bonded to the ground plane) with a length that shall be at least 1 m, as shown in item C of Figure 8. When the BDM/CDM/PDS is floor-standing, the earthing conductor shall be bonded to the ground plane with a lead as short as possible as shown in item C of Figure 9.

NOTE 1 An example of a special earthing conductor is a second protective earthing conductor, which could be used for compliance with IEC 61800-5-1:2007, 4.3.5.5.2.

NOTE 2 If the motor is placed far from the turntable, the motor cable can be passed through the floor of the turntable (see dotted line path "A" in Figure 9). If the motor is placed beside the turntable (see "F" in Figure 9) and prevents the turntable from moving, A.4.2 provides additional information for performing radiated emission measurements .

An artificial mains network (AMN) shall be used in radiated emission tests.

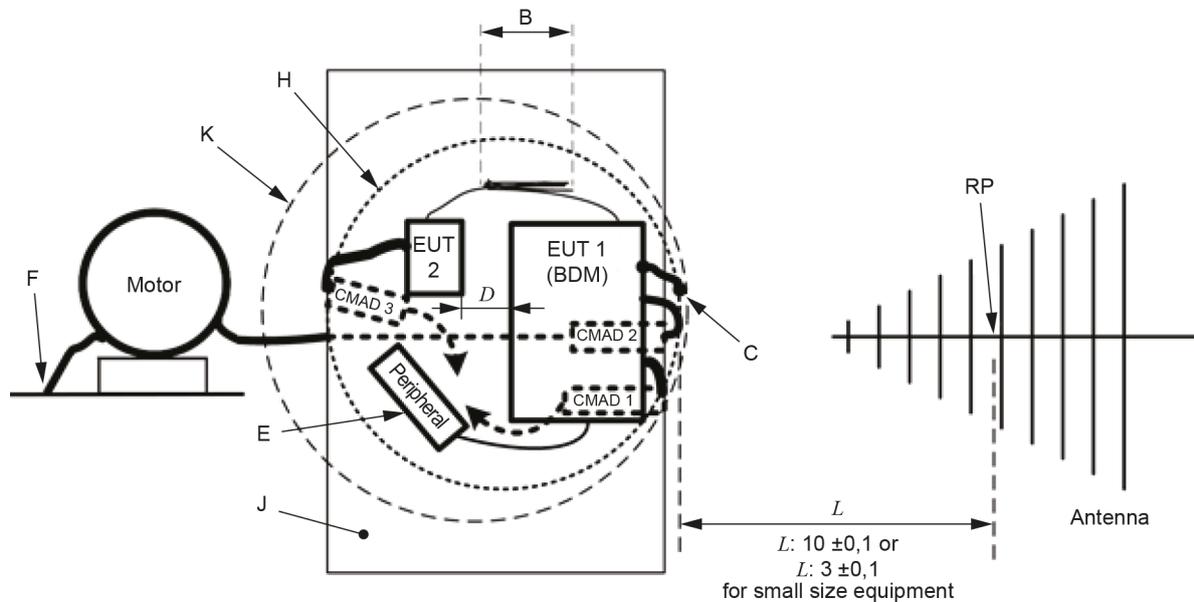
NOTE 3 Auxiliaries and peripheral equipment that are not part of the EUT can be located outside the test volume. However, if the connecting cables between them and the EUT cannot be extended to run outside the test volume, these auxiliaries and peripherals can be placed inside the test volume (see Figure 7 and Figure 8) or on the turntable (see Figure 9).

The spacing between all enclosures (EUT, peripheral etc.) should be $\geq 0,1$ m. This is shown by item D in Figure 7 to Figure 9.

Where an interconnecting cable has an excess length, this excess length shall be bundled in the middle of the cable length, as required by CISPR 11:2015, 7.5.2. This bundle shall be between 0,3 m and 0,4 m in length. The bundle is shown as item B in Figure 7 and Figure 9.

NOTE 5 The reference point of the antenna calibration is considered for the measuring distance as shown by item RP in Figure 7 to Figure 9.

The measuring distance, shown as L in Figure 7 to Figure 9, is measured between the test volume and the reference point of the antenna calibration, shown as RP in Figure 7 to Figure 9.

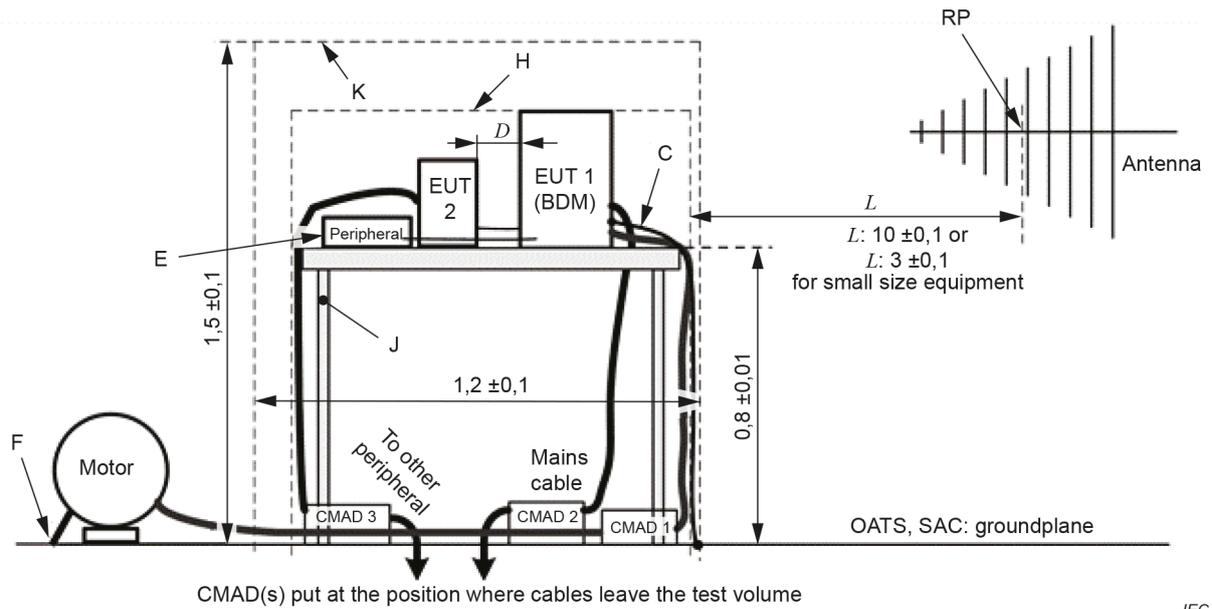


IEC

Key

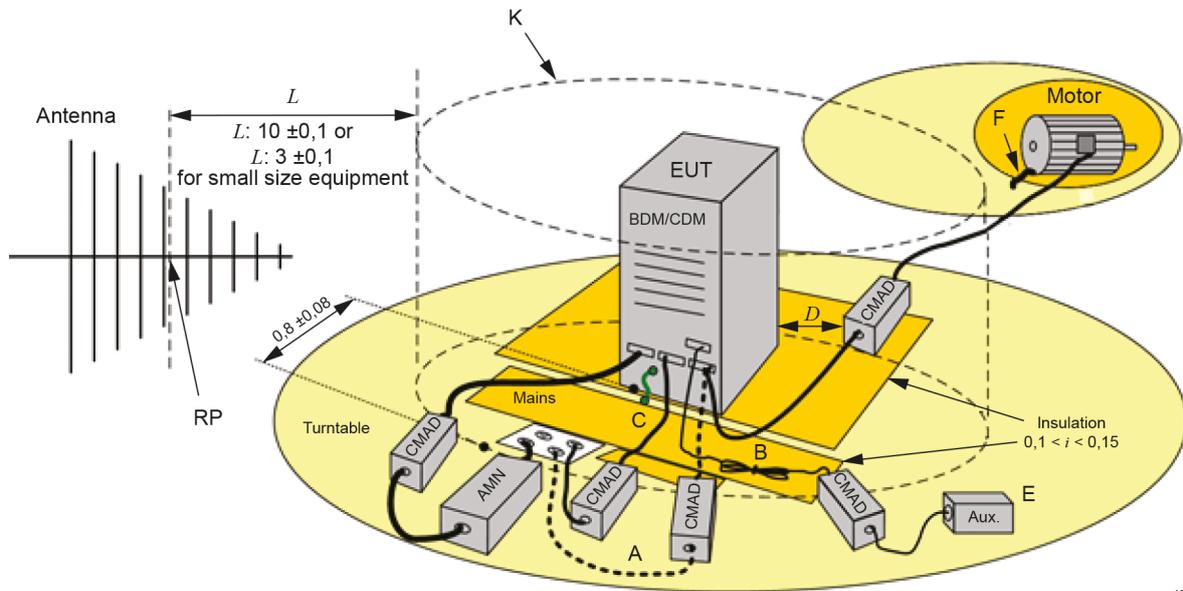
- B excess cable, which is in a bundle of between 0,3 m and 0,4 m in the middle of the cable length
- C special earthing connection, only if specified in the user documentation
- D spacing between enclosures, which should be $\geq 0,1$ m
- E peripheral or auxiliary device, see 6.4.1.3.4
- F earthing of the motor, see 6.4.1.3.5
- H test volume, see 6.4.1.3.2
- J positioning table of insulating material, with height $0,8 \text{ m} \pm 0,01 \text{ m}$ above the ground plane
- K boundary of maximum test volume for small size equipment as defined in 3.6.4
- L measuring distance
- RP reference point of the antenna calibration

Figure 7 – Example for a typical cable arrangement for measurements in 3 m separation distance, for a table-top or wall-mounted equipment, top view

**Key**

- C special earthing connection, only if specified in the user documentation
- D spacing between enclosures, which should be $\geq 0,1$ m
- E peripheral or auxiliary device, see 6.4.1.3.4
- F earthing of the motor, see 6.4.1.3.5
- H test volume, see 6.4.1.3.2
- J positioning table of insulating material, with height $0,8 \text{ m} \pm 0,01 \text{ m}$ above the ground plane
- K boundary of maximum test volume for small size equipment as defined in 3.6.4
- L measuring distance
- RP reference point of the antenna calibration.

Figure 8 – Example for a typical cable arrangement for measurements in 3 m separation distance for a table-top or wall-mounted equipment, side view



IEC

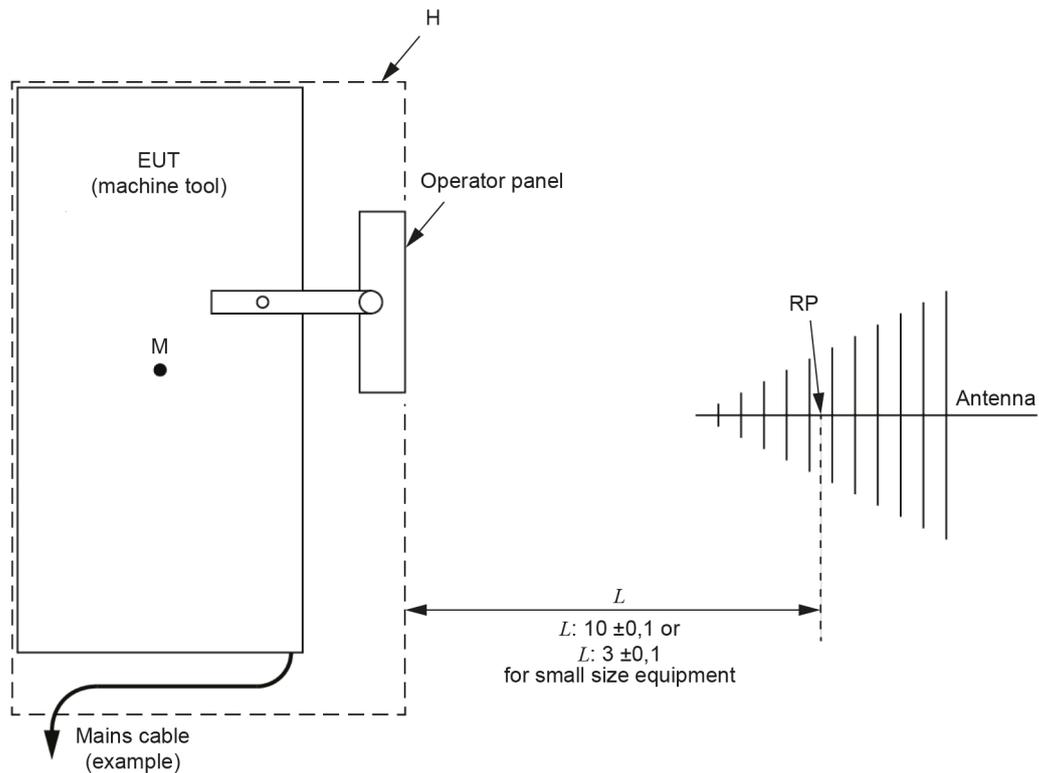
Key

- A route of the motor cable when the motor is placed far from the turntable
- B excess cable, which is in a bundle of between 0,3 m and 0,4 m in the middle of the cable length
- C special earthing connection, only if specified in the user documentation
- D spacing between enclosures, which should be $\geq 0,1$ m
- E peripheral or auxiliary device, see 6.4.1.3.4
- F earthing of the motor, see 6.4.1.3.5
- K boundary of maximum test volume for small size equipment as defined in 3.6.4
- L measuring distance
- RP reference point of the antenna calibration

Figure 9 – Example for a typical test set up for measurement of conducted and/or radiated disturbances from a floor-standing PDS, 3D view

6.4.1.4 Radiated emissions of an MT

The general arrangement for testing radiated emissions from an MT is shown in Figure 10.



IEC

Key

- H boundary of the test volume (all components of the EUT)
 M theoretical midpoint of the EUT (MT)
 L measuring distance
 RP reference point of the antenna calibration

Figure 10 – Typical arrangement for measurement of radiated disturbances from an MT (top view)

In Figure 10, the measuring distance L is measured between the test volume, H, and the reference point of the antenna calibration, RP.

NOTE An MT is normally not table-top equipment. If it is not possible to place the MT on a turntable, one of the following MT-specific test procedures can be applied based on a risk assessment:

a) Procedure using crane

The measurement antenna in the arrangement shown in Figure 10 is placed at a fixed position at a distance L from the test volume H. A crane is used to lift the MT a few centimetres from the floor, so that the MT can be rotated in 90° steps.

At each of the four orientations of the MT,

- the crane (if energised) is switched off, so that the emissions from the crane do not interfere with the measurement, and
- the radiated disturbance levels from the MT are measured in both horizontal and vertical polarisations.

b) Alternative procedure

The measurement antenna in the arrangement as shown in Figure 10 is placed at the distance L from the test volume H in sequence in each of the four orthogonal directions. On each side, the full measurement scan is performed.

6.4.2 Application of emission limits above 1 GHz

The EUT shall meet the electromagnetic radiation disturbance limits specified in 6.5 up to the maximum measurement frequency determined in accordance with Table 14. If the highest internal frequency F_x is not known, measurements shall be performed up to 6 GHz. The EUT shall meet both the peak and the average limits. If the measurements using peak detector pass the average limit, there is no need to apply the average detector.

Table 14 – Required highest frequency for radiated measurement

Highest internal frequency F_x	Highest measured frequency
$F_x \leq 108$ MHz	1 GHz
108 MHz < $F_x \leq 500$ MHz	2 GHz
500 MHz < $F_x \leq 1$ GHz	5 GHz
$F_x > 1$ GHz	$5 \times F_x$ up to a maximum of 6 GHz
NOTE F_x is defined in 3.6.7.	

In the frequency range 6 GHz to 18 GHz, limits are not specified.

For emission measurements above 1 GHz, the peak detector limits shall not be applied to disturbances produced by arcs or sparks that are high voltage breakdown events. Such disturbances arise when devices contain or control mechanical switches that control current in inductors, or when devices contain or control subsystems that create static electricity. Only the average limits shall apply to disturbances from arcs and sparks, while both the peak and average limits shall apply to all other disturbances from such devices.

6.4.3 Connection requirements

The test set up, including length and position of power and control cables, shall be representative of intended application(s), as described in the documentation for the user (see 4.3). The test set-up shall be stated in the test report.

6.4.4 Measurements requirements when a standard setup is not used

When measurements are performed with a high impedance voltage probe, or on a test site not compliant with CISPR 16-1-4:2019 and CISPR 16-1-4:2019/AMD1:2020, or in situ, this shall be justified by a risk assessment and stated in the test report.

NOTE An example of a non-compliant test site is a test site at the manufacturer's premises which is not compliant to CISPR 16-1-4.

If the EUT has an input current greater than 100 A, or if the input voltage is greater than or equal to 500 V, or if the PDS contains a line commutated converter (see A.4.1.2), the measurement of the mains terminal disturbance voltage can be performed using a high impedance voltage probe without an artificial mains network (see CISPR 11:2015, 7.3.3).

For in situ measurement of the mains terminal disturbance voltage, a high impedance voltage probe without an artificial mains network shall be used.

As an alternative to the use of the high impedance voltage probe, an AMN can be connected in parallel as a voltage probe as described in CISPR 16-2-1:2014, Clause A.5.

If the EUT is measured in situ, the cable and the earthing arrangements are those of that application.

6.5 Basic high-frequency emission limits

6.5.1 EUT of categories C1 and C2

6.5.1.1 Power port disturbance voltage

Limits for mains terminal disturbance voltage (power ports) are given in Table 15.

**Table 15 – Limits for mains terminal disturbance voltage
in the frequency band 150 kHz to 30 MHz – Categories C1 and C2**

Frequency band MHz	Category C1		Category C2	
	Quasi peak dB(μ V)	Average dB(μ V)	Quasi peak dB(μ V)	Average dB(μ V)
$0,15 \leq f < 0,50$	66 Decreases with log of frequency down to 56	56 Decreases with log of frequency down to 46	79	66
$0,5 \leq f \leq 5,0$	56	46	73	60
$5,0 < f < 30,0$	60	50	73	60

Where an EUT does not comply with the limits of category C1, the following text or equivalent shall be included in the instruction for use:

Caution

This equipment is not intended for use in residential locations and may not provide adequate protection to radio reception in such locations.

NOTE 1 High-frequency common mode filtering introduces capacitive coupling paths to earth. In the case of a supply system in which the neutral is isolated from earth or connected to earth through a high impedance ("IT system" as defined in IEC 60364-1:2005, 312.2.3), these capacitive coupling paths can cause nuisance tripping of the insulation monitoring device of the IT system (see D.2.2).

NOTE 2 The limits for EUT of category C2 are derived from IEC 61000-6-8:2020.

6.5.1.2 Process measurement and control ports

If a process measurement and control port is intended for connection to a fieldbus, then the port shall comply with the conducted emission requirements of the relevant standard for that fieldbus.

If a process measurement and control port is intended for connection to a public telecommunication network, then this port shall be regarded as a wired network port. The asymmetric mode conducted emission requirements of CISPR 32 class B apply to that port.

6.5.1.3 Radiation – Enclosure port

Limits for electromagnetic radiation disturbance (enclosure port, see 3.4.2 and Figure 3) are given in Table 16.

Table 16 – Limits for electromagnetic radiation disturbance in the frequency band 30 MHz to 6 000 MHz – Categories C1 and C2

Frequency band MHz	Detector	Electric field strength component dB(µV/m)			
		Measurement distance 10 m ^a		Measurement distance 3 m ^a	
		Category C1	Category C2	Category C1	Category C2
$30 \leq f \leq 230$	Quasi-peak	30	40	40	50
$230 < f \leq 1\,000$	Quasi-peak	37	47	47	57
$1\,000 < f \leq 3\,000$ ^b	Peak	60	66	70	76
	Average	40	46	50	56
$3\,000 < f \leq 6\,000$ ^b	Peak	64	70	74	80
	Average	44	50	54	60

^a For selection of measurement distance, see 6.4.1.3.3.

^b Measurements above 1 GHz: see 6.4.2 for measurement frequency range and application of peak and average limits.

The measurement distance shall be stated in the test report.

Where an EUT does not comply with the limits of category C1, the following text or equivalent shall be included in the instructions for use:

Caution

This equipment is not intended for use in residential locations and may not provide adequate protection to radio reception in such locations.

6.5.1.4 Power interface emission

For an EUT intended to be operated in a residential, commercial or light industrial location, the limitation of emission shall be provided by means of one of the following options.

- a) A shielded cable between CDM and motor shall be used. The shielding shall then be of high frequency quality, continuous throughout its length and at least connected to the CDM and motor via low HF-impedance terminations. In this case, measurements on the power interface are not required.
- b) The emission shall be checked by measuring the disturbance voltage at the power interface in the BDM, using the high impedance voltage probe described in CISPR 16-1-2:2014, 5.2.1. The limits given in Table 17 below shall be applied.

NOTE It is not possible to use an AMN at the power interface because this would stop the EUT from operating.

Table 17 – Limits of disturbance voltage on the power interface in a residential, commercial or light industrial location

Frequency band MHz	Measurement at rated output current	
	Quasi peak dB(µV)	Average dB(µV)
$0,15 \leq f < 0,5$	80	70
$0,50 \leq f < 30$	74	64

NOTE The above limits are derived from CISPR 14-1.

6.5.2 EUT of category C3

6.5.2.1 Information requirement

If an EUT does not meet the limits of category C1 or C2, the instructions for use shall include a statement for caution that

- this type of EUT is not intended to be used on a low-voltage public network which supplies residential premises, and
- radio frequency interference is expected if used on such a network.

The manufacturer shall provide a guide for installation and use, including recommended mitigation measures.

6.5.2.2 Power port disturbance voltage

Limits for mains terminal disturbance voltage (power ports) of EUTs are given in Table 18. The same limits apply to low voltage power ports of EUTs of rated voltage above 1 000 V.

Table 18 – Limits for mains terminal disturbance voltage in the frequency band 150 kHz to 30 MHz – Category C3

Size of EUT ^a	Frequency band MHz	Quasi peak dB(μV)	Average dB(μV)
$I \leq 100$ A	$0,15 \leq f < 0,50$	100	90
	$0,5 \leq f \leq 5,0$	86	76
	$5,0 < f < 30,0$	90	80
		Decreases with log of frequency down to 73	Decreases with log of frequency down to 60
100 A < I	$0,15 \leq f < 0,50$	130	120
	$0,5 \leq f < 5,0$	125	115
	$5,0 \leq f < 30,0$	115	105

These limits do not apply to power ports operating above 1 000 V.

NOTE 1 The limits specified in Table 18 are above the limits specified in the generic standard IEC 61000-6-4, but they are in line with the product family EMC standard CISPR 11:2015 for equipment with a rated power above 20 kVA. These limits have been used for EUTs since IEC 61800-3:1996² (first edition) for equipment with a rated power below 20 kVA as well. No interference cases in that frequency range have been reported.

NOTE 2 The criterion to choose between the two limit lines in Table 18 is expressed in current and not in power as in CISPR 11:2015, because all EUTs are specified according to their rated current, but some are not specified according to their rated power.

^a Size of the EUT refers to rated current (I) of the port.

See also Clause D.2.

For EUTs above 100 A without dedicated transformer, to avoid the risk of crosstalk to signal cables, the installation instructions shall either recommend that the power cables be segregated from signal cables or state alternative mitigation methods.

² This publication has been withdrawn.

6.5.2.3 Process measurement and control ports

If a process measurement and control port is intended for connection to a fieldbus, then the port shall comply with the conducted emission requirements of the relevant standard for that fieldbus.

If a process measurement and control port is intended for connection to a public telecommunication network, then this port shall be regarded as a wired network port. The asymmetric mode conducted emission requirements of CISPR 32 class A apply to that port.

6.5.2.4 Radiation – Enclosure port

Limits for electromagnetic radiation disturbance from the enclosure ports of EUTs are given in Table 19 (see definition of enclosure port in 3.4.2, illustrated in Figure 3 and Figure 4).

Table 19 – Limits for electromagnetic radiation disturbance in the frequency band 30 MHz to 6 000 MHz – Category C3

Frequency band MHz	Detector	Electric field strength component dB(μV/m)	
		Measurement distance 10 m ^a	Measurement distance 3 m ^a
$30 \leq f \leq 230$	Quasi-peak	50	60
$230 < f \leq 1\,000$	Quasi-peak	60	70
$1\,000 < f \leq 3\,000$ ^b	Peak	66	76
	Average	46	56
$3\,000 < f \leq 6\,000$ ^b	Peak	70	80
	Average	50	60

NOTE Some limits specified in Table 19 are higher than the limits specified in the generic EMC standard IEC 61000-6-4 and in the product family standard CISPR 11:2015. However, these limits have been used for EUTs since IEC 61800-3:1996 (first edition). No interference cases in that frequency range have been reported (for further information, see Annex D). Work on an informative annex to justify the increased limits based on an evaluation according to CISPR TR 16-4-4:2007 is in preparation and expected to be published in the next edition of IEC 61800-3.

^a For selection of measurement distance, see 6.4.1.3.3.

^b Measurements above 1 GHz: see 6.4.2 for measurement frequency range and application of peak and average limits.

The measurement distance shall be stated in the test report.

6.5.2.5 Power interface

For an EUT intended to be operated in an industrial location, the instructions for installation and use shall contain all the necessary information on the installation of the power interface as required in 4.3.

6.6 Engineering practice

6.6.1 EUT of category C4

For EUTs of category C4, the following procedure shall be used.

6.6.2 General conditions

Due to technical reasons, there are some applications where it is not possible for the EUT to comply with the limits of Table 18 and Table 19. These applications are for large ratings or to meet specific technical requirements:

- voltage above 1 000 V;
- current above 400 A;
- power supply networks isolated from earth, or connected to earth through a high impedance ("IT system" according to IEC 60364-1:2005, 312.2.3);
- where required dynamic performances will be limited as a result of filtering.

Where an EUT does not comply with the emission limits of category C3, the instructions for use shall state that

- this type of EUT is of emission category C4 according to IEC 61800-3,
- this equipment is intended only to be used in an installation which is powered by supply lines that do not radiate (e.g. dedicated power transformer or generator or LV underground lines), and
- radio frequency interference is expected if the installation instructions are not followed carefully.

The installation instructions shall contain information on typical emission levels of the EUT.

The installation instructions shall also include information on other mitigation methods that are required.

NOTE 1 Examples of common mitigation measures are: global filtering, shielding of cables, separation of cables.

NOTE 2 The information mentioned above can be used to prepare an EMC plan to meet the EMC requirements of the intended application (see Annex E). In this situation, the user defines the EMC characteristics of the environment including the whole installation and the neighbourhood (see Figure 11).

6.6.3 Filtering in IT power supply systems

The use of filtered EUTs in an isolated, or high impedance earthed, industrial distribution network can cause a safety risk, if not properly designed for these applications. In the case of IT networks for complex industrial systems, limits cannot be set. The diversity of solutions resulting from the knowledge of the system cannot be standardised. The main considerations are related to fault conditions and filter leakage current.

- a) Short circuit on the motor side of the EUT. If the EUT is allowed to continue to run in this condition, high levels of high frequency current will flow in the filtering capacitors. This can damage the filter capacitors. Short circuit to earth on the motor side can cause the application of common mode voltage to other neighbouring equipment.
- b) Undesired fail detection by the insulation monitoring device (IMD) according to IEC 61557-8:2016 because of increased capacitance to earth, which can lead to an undesired process shut down.

The solutions are based on a case-by-case analysis.

6.6.4 Limits outside the boundary of an installation, for an EUT of category C4 – Example of propagation of disturbances

6.6.4.1 General

For EUTs of category C4 in industrial locations, prevention of the introduction of excessive disturbances into neighbouring networks is dependent on the manner in which the equipment is installed, even if the propagation is through a medium voltage network. Experience has shown that most installations of C4 equipment achieve EMC without additional mitigation measures. If EMC is not achieved, the procedures in 6.6.4.2 and 6.6.4.3 provide information on the propagation of disturbances and target values for disturbance voltage and radiation outside the EUT installation.

6.6.4.2 Interference due to conduction

In this case, the measurements shall be carried out at the low-voltage secondary of the medium-voltage transformer of the installation (installation 1) where the victim is situated (see Figure 11 for point of measurement). The requirements given by Table 20 or Table 21 and Table 22, including the reservations concerning ambient noise, shall be fulfilled.

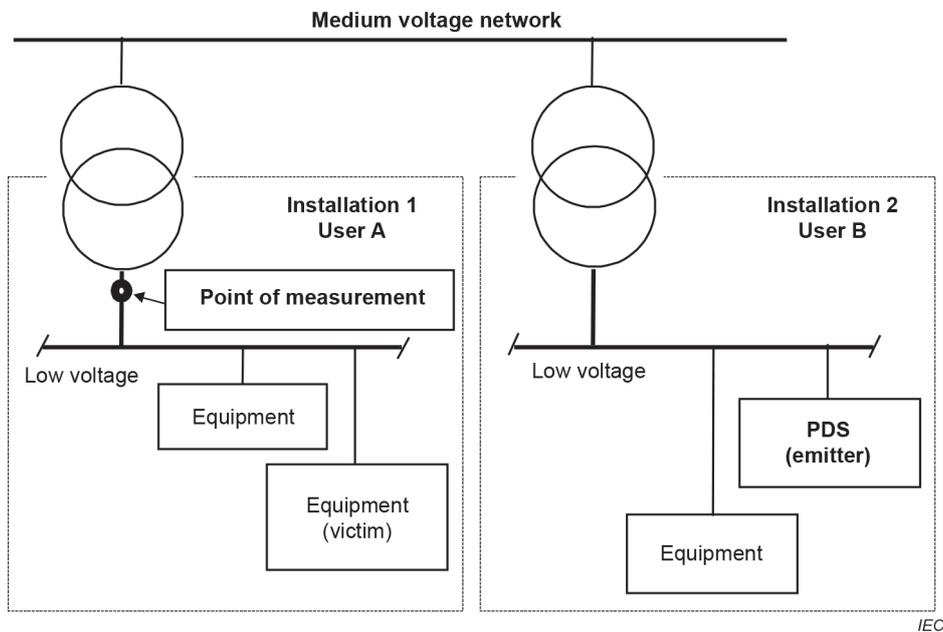


Figure 11 – Propagation of disturbances

This method can be applied to different parts of the same installation in the case of EUTs of rated voltage above 1 000 V with limits reported in the EMC plan (see Clause E.2). In this case, in-situ measurement of propagated disturbance voltage should be carried out at the low-voltage secondary of the high-voltage transformer (part 1 of the installation) which is electrically the closest to the EUT considered as emitter (see Figure 12 for point of measurement).

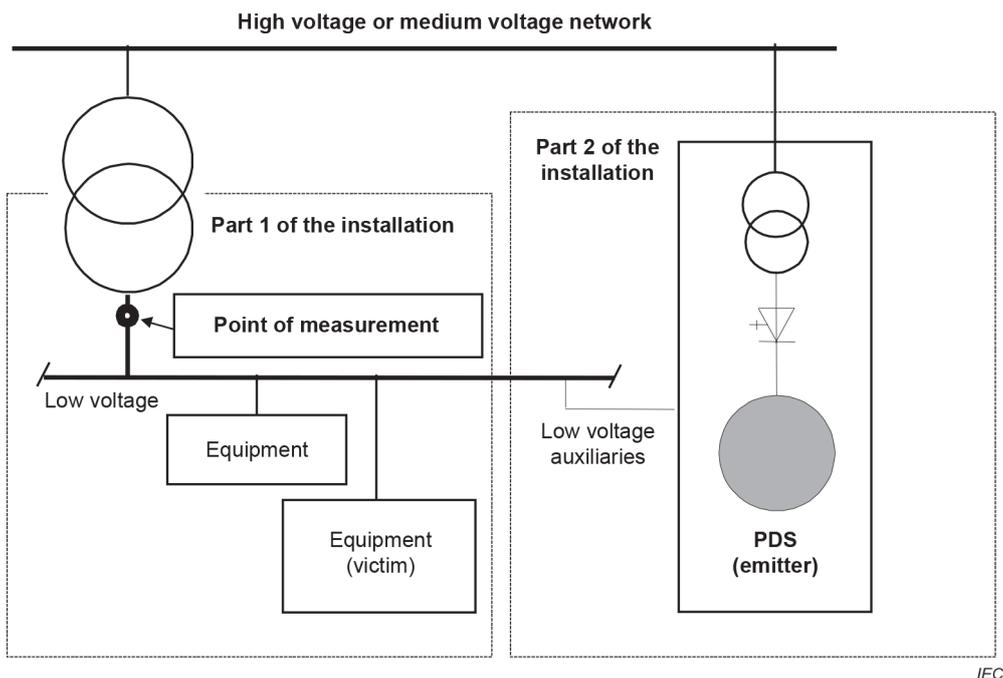


Figure 12 – Propagation of disturbances in installation with an EUT rated > 1 000 V

If installation 1 in Figure 11 belongs to a residential location, the disturbance voltage shall comply with the limits of Table 20.

Table 20 – Limits for propagated disturbance voltage ("outside" in a residential location)

Frequency band MHz	Quasi peak dB(μ V)	Average dB(μ V)
$0,15 \leq f < 0,50$	66 Decreases with log. of frequency down to 56	56 Decreases with log. of frequency down to 46
$0,5 \leq f \leq 5,0$	56	46
$5,0 < f < 30,0$	60	50

If installation 1 in Figure 11 or part 1 of the installation in Figure 12 belongs to a non-residential location, the disturbance voltage shall comply with the limits of Table 21.

Table 21 – Limits for propagated disturbance voltage ("outside" in a non-residential location)

Frequency band MHz	Quasi peak dB(μ V)	Average dB(μ V)
$0,15 \leq f < 0,50$	79	66
$0,5 \leq f \leq 5,0$	73	60
$5,0 < f < 30,0$	73	60

If the ambient noise (without operation of the EUT which is the supposed emitter) exceeds the limits (Table 20 and Table 21), the supposed emitting EUT is only considered to be not in compliance with this document if a characteristic set of emitted frequencies can be recognised and exceeds the measured ambient noise.

6.6.4.3 Interference due to radiation

6.6.4.3.1 Radiation above 30 MHz

In case of interference, the radiation shall be measured outside the installation at a distance of 10 m from the boundary of the installation if interference occurs in a residential location, or at a distance of 30 m from the boundary of the installation if interference occurs in a non-residential location. The measured field strength shall comply with Table 22.

Table 22 – Limits for propagated electromagnetic disturbance above 30 MHz

Frequency band MHz	Detector	Electric field strength component dB(μV/m)
$30 \leq f \leq 230$	Quasi-peak	30
$230 < f \leq 1\,000$	Quasi-peak	37
$1\,000 < f \leq 3\,000$ ^a	Peak	60
	Average	40
$3\,000 < f \leq 6\,000$ ^a	Peak	64
	Average	44

^a Measurements above 1 GHz: see 6.4.2 for measurement frequency range and application of peak and average limits.

If the ambient noise (without operation of the EUT which is the supposed emitter) exceeds the limits (Table 22), the supposed emitting EUT is only considered to be not in compliance with this document if a characteristic set of emitted frequencies can be recognised and exceeds the measured ambient noise.

The emissions from the EUT shall be suppressed until they are below the limits, or below the ambient noise, whichever is the higher.

See also A.4.3.

6.6.4.3.2 Radiation between 0,150 MHz and 30 MHz

In case of interference, the radiation shall be measured outside the installation at a distance of 10 m from the boundary of the installation if interference occurs in a residential location, or at a distance of 30 m from the boundary of the installation if interference occurs in a non-residential location.

A magnetic loop antenna according to CISPR 16-1-4 shall be used. The values shall not exceed those given in Table 23 at the frequencies for which interference occurs.

Table 23 – Limits for electromagnetic disturbance below 30 MHz

Frequency band MHz	Magnetic field strength component Quasi peak dB(μA/m)
$0,15 \leq f < 0,49$	13,5
$0,49 \leq f < 3,95$	3,5
$3,95 \leq f < 20$	-11,5
$20 \leq f \leq 30$	-21,5

Annex A (informative)

EMC techniques

A.1 Application of PDSs and EMC

The range of application of BDM/CDM/PDS/MTs is so large that any attempt to establish an exhaustive list will fail. However, the examples given here show PDSs used in a range of very different environments. Because the definition of EMC is more dependent on the environment than on the product itself, any code of practice should consider this fact. For example, the limitation of emission in buildings used for residential purpose should be quite different from that used for rolling mills in an industrial plant.

Examples of application of PDSs are listed here:

- machine tools, robots, test equipment in production, test benches;
- paper machines, textile production machine;
- calenders (machines used to put a surface finish on sheet material in paper, textile, and rubber industries)
- process lines in plastic industries or in metal industries, rolling mills;
- cement crushing machines, cement kilns, mixers, centrifuges, extrusion machines;
- drilling machines;
- conveyors, material handling machines, hoisting equipment (cranes, gantries, etc.);
- propulsion of ships, etc.;
- pumps, fans, and so on.

These examples use PDSs covered by this document. However, electric vehicles and particularly traction drives are excluded from the scope of this document (see Clause 1).

A.2 Load conditions regarding high-frequency phenomena

A.2.1 Load conditions during emission tests

The load on the motor normally has little effect on the EMC characteristics of the EUT. Therefore, the EUT does not need to be tested for EMC characteristics at all load conditions, but only at a load that is representative of all operating emissions.

The radiated and conducted emissions of an EUT are mainly caused by sharp transitions of its output voltage that are used to produce low-frequency, or DC output power. The voltage spectrum of the waveform can have sufficient energy at high frequencies for the EUT to radiate electrical energy from its input power wires, cabinet, motor leads, and motor case. The worst case is consequently expected at conditions where the voltage transitions have the largest amount of high-frequency content.

The sharpness of output transitions is affected by the switching speed of the power device that is used in the EUT. IGBTs (insulated gate bipolar transistors) are extremely fast devices that, in combination with the recovery characteristics of the diodes used in some types of inverters, can cause dv/dt that can be greater than 10 000 V/ μ s. It is important to note that the abruptness of the diode recovery is an important component of this high dv/dt . Even though the level of the recovery current is load dependent, the abruptness of the diode recovery is not as dependent on the load level. To the contrary, the snappiest switching behaviour of freewheeling diodes occurs at low levels of load current.

On the other hand, it is important to consider the effect of passive capacitive, resistive, or inductive power circuit components, such as snubber components that are used to control the rate of rise of this voltage. The output waveform with these devices present can have dv/dt characteristics that are load dependent.

A.2.2 Load conditions during immunity tests

The load on the motor normally has little effect on most of the EMC immunity characteristics of the EUT. Therefore, the worst case is achieved at all load conditions. The failures of the power and control circuitry are generally associated with voltage levels, not current levels.

An exception is the immunity against voltage dips and short interruptions. For these phenomena, the discharge of the DC link voltage by the load is the most important parameter, and the worst-case immunity characteristic occurs at maximum load current.

The torque-generating behaviour criterion requires a load that is high enough to measure the torque disturbance associated with the low-frequency or high-frequency tests. This will require a motor and a torque-measuring device. Indirect torque-measuring methods require a load level which is sufficient for any torque disturbances to be measured.

A.2.3 Load test

Tests can even be performed using passive power resistors and inductors that simulate the load condition of a motor. It is also important to note that the motor case can act as an antenna element. If a passive load is used, this antenna effect is not considered in that test.

The manufacturer of the EUT should provide evidence that the load on the EUT during any test will produce the worst case or most sensitive conditions for their particular product. This evidence can be by test of a representative product, or by calculation or simulation.

A.3 Immunity to electromagnetic fields

A.3.1 Immunity to power frequency magnetic fields

Testing according to IEC 61000-4-8 is usual where components sensitive to magnetic field are used. Some current measurement devices in EUTs contain Hall-effect devices. The Hall-effect device detects the magnetic flux in the magnetic core which surrounds the current-carrying conductor. At the location of the Hall-effect device, the magnetic field induced by the current being measured is much higher than the level of the test according to IEC 61000-4-8. For example, it can be calculated that a 10 A current (assumed to be alone on an infinite straight line) produces a magnetic field of 320 A/m at a distance of 5 mm. It can therefore be considered that the disturbance applied by the test is negligible compared to the operating environment of this current sensor.

A.3.2 Immunity to high frequency conducted disturbances

A.3.2.1 Conducted radio-frequency common mode and fast transient burst

This document does not apply fast transient burst and conducted radio-frequency common mode immunity tests to ports for which the installation instructions restrict the permitted cable length to 3 m or less. This is in line with the approach in many other EMC standards, including IEC 61000-6-3, IEC 61000-6-4 and IEC 61000-6-8.

A cable that is 3 m long can act as a receiving antenna near the higher frequency end of the conducted RF immunity test and at the frequencies present during the fast transient burst test. However, we notice the following:

- short cables are less likely than long cables to run for long distances in close proximity to other cables that can couple disturbances into them;
- the practicalities of running a cable through the capacitive coupling clamp of the fast transient burst test and through the EM clamp of the conducted RF immunity test require that the cable used during the test is at least 3 m long.

This does not mean that these ports are not exercised during these tests. When common mode disturbances are coupled into one port of an EUT, the disturbances will flow out of the EUT through the other wired ports and through the enclosure port. Therefore, during the tests of the other ports, some disturbance will flow out through the "untested" port, just as happens in real applications. For this reason, an EUT should have cables present on each type of port, even if some ports are not explicitly subjected to the conducted RF immunity or fast transient burst tests.

A.3.2.2 Surge

This document does not apply the surge immunity test to ports for which the installation instructions restrict the permitted cable length to 30 m or less. This is in line with the approach in many other EMC standards, including IEC 61000-6-3, IEC 61000-6-4 and IEC 61000-6-8.

The frequency range of the surge is a lower frequency range than conducted RF immunity and fast transient burst. This means that surges from lightning or from mains network transients will not couple as effectively onto cables less than 30 m long as onto longer cables.

A.3.3 Immunity to high frequency fields

A.3.3.1 Preferred method

The susceptibility of a given equipment to electromagnetic fields is frequency-dependent, with different equipment having different frequency dependencies. The tests of IEC 61000-4-3 and IEC 61000-4-6, referenced in 5.4.5, cover wide frequency ranges.

A.3.3.2 Complementary test

A.3.3.2.1 Use of complementary test

Some users of equipment request a test using the walkie-talkies or mobile phones that will be in use on their site. Such tests will only demonstrate immunity at a limited set of frequencies.

The procedure below can be used to perform a "walkie-talkie test" in cases where it is requested.

A.3.3.2.2 Selection and preparation of transmission devices

Because this test is not performed in a shielded room, only transmitters which are legally approved for use at the test location can be used.

The following transmitters are recommended:

- devices such as walkie-talkies which are commonly used within a few metres of equipment within the user's premises;
- mobile telephones, unless they are prohibited at the operating location at the user's premises, and if they are able to transmit at their rated power.

Care should be taken that the battery pack or the power supply of the transmitter is at full capability. If the transmitter is able to adjust the power of the emission (as battery saving feature), care should be taken that this possibility is disabled.

NOTE 1 It is not generally possible for the user of a mobile phone to disable any automatic adjustment of transmission power.

The list and characteristics of transmitter (type, power and frequencies) used during the test should be stated in the test report.

In the case of a mobile telephone,

- the field strength should be measured using a field strength meter with the mobile telephone held 0,5 m away from the sensor head of the field strength meter, and
- the approximate transmission frequency should be measured using a spectrum analyser.

NOTE 2 At the time of writing, mobile telephones operate in a number of frequency bands from as low as 700 MHz to as high as 3,6 GHz. A given mobile network operator will use different frequencies at different base stations within the same city. A given base station generally operates in multiple frequency bands simultaneously, particularly if it supports several generations of mobile telephone technology (2G, 3G, 4G, 5G). Therefore, it can be difficult for the user of a mobile telephone to predict upon which frequency it will transmit during the test.

A.3.3.2.3 Test procedure

The transmitter is hand-held close to a vertical surface of the EUT. The closest point of the antenna to the EUT is between 0,5 m and 1,0 m from the EUT. The transmitter is switched from "receive" to "transmit" and back to "receive". Care should be taken that the dwell time of the transmission is not less than the time necessary for the EUT to be able to respond. In the case of a telephone type of device, where the user cannot switch between "transmit" and "receive", a telephone number is transmitted instead.

There should be at least three transmissions for each antenna orientation: vertical, horizontal in a plane parallel to the surface of the EUT, and perpendicular to the EUT (pointing towards the EUT).

The following procedure should be carried out:

- on at least five positions on each vertical surface of the EUT;
- at all openings of these vertical surfaces, a ventilation grille is considered to be one opening;
- (if the EUT is a PDS) at the surface of the motor, if it includes sensors.

The whole procedure should then be repeated for at least two different transmission frequencies.

Particularly in the case of a mobile telephone, a spectrum analyser in peak-hold mode with a receiving antenna a few metres away from the transmitter should be used to attempt to record the transmission frequency or frequencies that actually occurred during the test.

A.4 High-frequency emission measurement techniques

A.4.1 Impedance/artificial mains network (AMN)

A.4.1.1 Circuit of AMN

Since the high-frequency disturbance source within a drive has a source impedance, the disturbance voltage measurement is affected by the network impedance. Particularly at lower frequencies, the impedance of the mains can be regarded as inductive. However, there can be resonances due to various capacitances of the system. For further information, see IEC TR 61000-2-3:1992, 6.6.

Where possible, an AMN should be used to standardise the supply impedance used during type tests. This improves the repeatability between different test sites.

The characteristics of various networks are defined in CISPR 16-1-2:2014 and CISPR 16-1-2:2014/AMD1:2017, Clause 4. For the frequency range of disturbance voltage measurements defined in this document, the $50\ \Omega // 50\ \mu\text{H}$ network or the $50\ \Omega // 50\ \mu\text{H} + 5\ \Omega$ network can be used. Between 150 kHz and 30 MHz, each line of the power port of the equipment under test (power drive system) sees an impedance to earth of $50\ \Omega$ in parallel with $50\ \mu\text{H}$, regardless of the impedance of the incoming mains supply.

A.4.1.2 EUTs with which the AMN cannot be used

A.4.1.2.1 Reasons of impossibility

At lower frequencies, the inductors inside the $50\ \Omega // 50\ \mu\text{H}$ AMN add $50\ \mu\text{H}$ to the impedance of the mains supply. The inductors inside the $50\ \Omega // 50\ \mu\text{H} + 5\ \Omega$ AMN add $300\ \mu\text{H}$. This additional impedance can prevent correct operation of some EUTs (for example, commutation notches become excessively wide at high current and low firing angle, if the supply inductance is too high). In these cases, the AMN cannot be used.

If an AMN is not commercially available, the methods in A.4.1.2.2 or A.4.1.2.3 can be applied. The method in A.4.1.2.3 is preferred. In cases where high current prevents the use of the standard AMN method, the following steps should be used to improve correlation:

- 1) measure with the standard AMN method at the maximum possible power level of the AMN;
- 2) measure with the alternative method according to A.4.1.2.2 or A.4.1.2.3 at the same power level;
- 3) note the difference in results between the two measurements;
- 4) measure with the alternative method according to A.4.1.2.2 or A.4.1.2.3 at the desired power level;
- 5) correct the result from step 4) according to the difference noted in step 3).

A.4.1.2.2 High impedance voltage probe

When an AMN is not used, the disturbance voltage can be measured using a high impedance voltage probe, as described in CISPR 16-1-2:2014, 5.2.1. Since the power frequency current does not pass through the probe, it can be used with EUTs of even the highest current ratings.

By adjusting the value and voltage rating of the capacitor, this probe can be used with supplies at least up to 1 000 V. If the capacitor value is reduced, its effect on the scaling of the measurement should be allowed for in calibration, as stated in CISPR 16-1-2.

The probe is connected between the line and the reference earth. If the EUT has an earthed metal frame, this can be taken as the reference earth. This connection should be to the supply leads as they enter the EUT. The connections to the probe should be as short as possible, preferably less than 0,5 m.

CISPR 16-1-2 provides information about the need to minimise the loop area formed between the lead connected to the probe, the conductor tested and the reference earth. This is to reduce susceptibility to magnetic fields.

A.4.1.2.3 Alternative method for high current EUTs

In some cases, it can be difficult to use the high impedance probe because of safety reasons during changing of phases, and the readings can be several tens of decibels higher (because of mismatched impedance) than those which are obtained with an AMN measurement.

An alternative method, which has been experienced in some countries for a number of years, uses a low current AMN (for example 25 A) as a voltage probe, even with a high current EUT (above several hundreds of amperes). This method is described in CISPR 16-2-1:2014, Clause A.5. The EUT is not disconnected from its supply network.

The load side of the AMN should be connected to the supply lines of the EUT at the power port terminals by a 1 m cable. There should be some inductance (for example connection cabling) between the PC and the AMN connection. The mains side of the AMN should be left open (for example no connection to peripherals). The receiver should be connected to the AMN as usual. The measurement results, with this method, are quite similar to that of a virtual AMN of several hundreds of amperes.

A.4.2 Performing high-frequency in-situ emission tests

When equipment cannot be tested on a test site, tests are performed in situ. In this case, extra care should be taken to avoid problems caused by ambient noise.

Testing in situ is not as repeatable as testing on a test site. Therefore, some care should be taken when using the results of in-situ testing on one site to predict compliance for a product produced in quantity.

For large equipment, the antenna may be moved around the equipment to determine the highest emission spot.

A.4.3 Established experience with high power EUTs

For several decades, the experience in different countries has shown that the established procedures of legislation and protection of radio-communication services against high-frequency disturbances have been proved in practice with excellent results. As an example, the procedure which has been used for many years is described below.

Under this procedure, because high power equipment intended for use in an industrial location is part of an installation, it is not tested on a test site. See [1]³. The same rules apply to equipment that is built by the user himself, under his own responsibility; see [2]. The emission limits of such a high-power installation are referenced to the actual boundary of the installation terrain, even in the case of measurement and control equipment which is intended to be installed there. The emission limits have been applied with respect to the boundary of the installation (the measurement point for mains terminal disturbance voltage is the low-voltage secondary of the next available medium-voltage transformer, and for the radiated emissions a 30 m distance to the boundary); see [1] and [2].

As a result, the procedure stated in 6.6 follows this experience. Such a use of an EUT (category C4) requires EMC competence. Such competence should be applied to the design of the apparatus, or the manufacturer and the user should define the appropriate compatibility levels in a specific environment.

³ Numbers in square brackets refer to the Bibliography.

Annex B (informative)

Low-frequency phenomena

B.1 Commutation notches

B.1.1 Evaluation conditions

Commutation notches are measured on the power ports using an oscilloscope (see B.1.2). The analysis is done in the time domain. Notches are produced by controlled line-commutated converters.

Where it is known that the input circuit of the EUT does not produce notches or only produces notches of negligible amplitude (for example diode rectifiers), emission of notches need not be considered.

The main practical case where emission of notches should be considered is the case of thyristor converters (line commutated). RFI filters are practical cases of equipment which can be affected by notches. They can be overloaded or subjected to repetitive overvoltages.

NOTE A diode rectifier is an uncontrolled line-commutated converter, which produces commutation notches of negligible amplitude. Some self-commutated converters (for example an indirect converter of the voltage source inverter type with an active front end) can produce commutation notches depending on the PWM pattern.

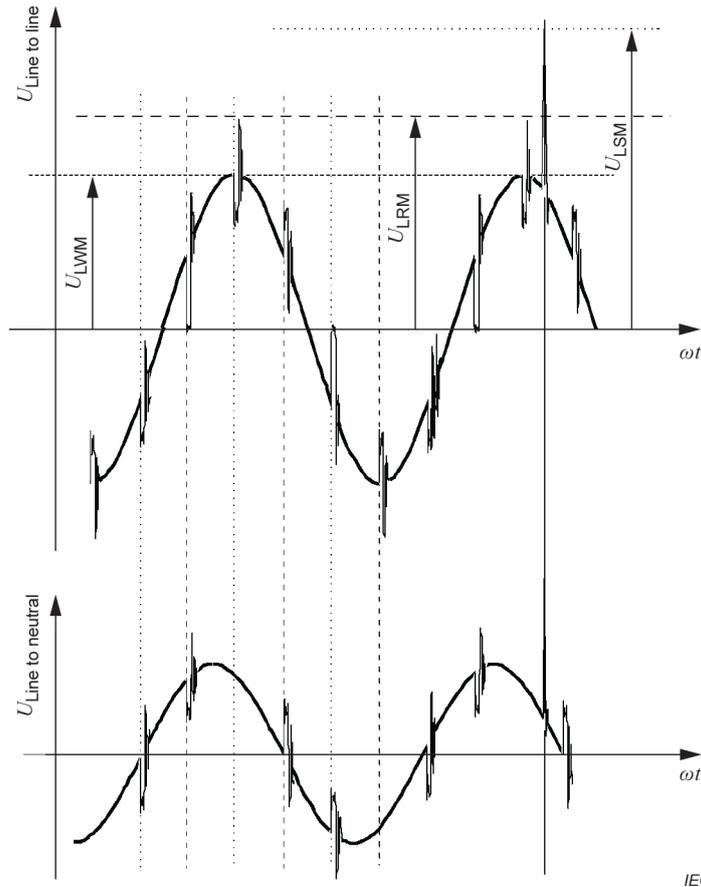
Where notches are to be considered, the following information shall be included in the documentation for the user:

- value of any decoupling reactances which are included in the EUT;
- available decoupling reactances which can be externally added for mitigation (see B.1.3).

The recommendations of B.1.4 should be followed.

B.1.2 Occurrence – Description

Commutation notches (see IEC 60050-551:1998, 551-16-06) are caused by line-to-line short circuits which occur at the terminals of a thyristor converter. This occurs when current is commutated from one phase of the supply to the next. Voltage notches are deviations of the AC mains voltage from the instantaneous value of the fundamental. The magnitude of the commutation notch, seen elsewhere in the supply system, depends on the ratio of supply impedance and decoupling reactance in the thyristor converter. Figure B.1 shows a typical waveform of commutation notches.



The figure assumes there is no impedance between EUT terminals and the converter.

Repetitive transients $(U_{LRM}/U_{LWM}) = 1,25$ to $1,50$; depending on the snubber design with respect to di/dt and I_{RR} (dynamic reverse current of the semiconductor).

Non-repetitive transients $(U_{LSM}/U_{LWM}) = 1,80$ to $2,50$ depending on additional protective devices.

NOTE Typical range of per unit values are provided for reference only.

Figure B.1 – Typical waveform of commutation notches – Distinction from non-repetitive transient

Analysis of notches considers a wider range of frequencies than normal harmonic analysis. Their time-domain characteristics cause effects which cannot be understood by a simple harmonic analysis. Therefore, they are analysed in the time domain using an oscilloscope.

The following should first be remembered.

- In simple cases where the rule applies, it is assumed that the network impedance can be modelled with a pure reactance: $Z = L\omega$ (this assumption is not valid in cases where capacitors or long cables are present; resonances can occur in such cases).
- The immunity against commutation notches is classified in IEC 60146-1-1:2009, 5.4.1 and Table 9, where their measurement is defined in depth (in % of U_{LWM}) and in area (depth multiplied by width, in % degrees); IEC 60146-1-1 defines U_{LWM} as the maximum instantaneous value of U_L excluding transients (therefore, this is the amplitude), where U_L is the line-to-line voltage on the line side of the converter or transformer, if any.

If the converter does not include any inductance, the depth d of the principal notch in the line-to-line voltage at the terminals of the converter itself (not the terminals of the BDM/CDM) is given by

$$d = 100 \sin \alpha \quad (\%)$$

where α represents the firing angle of a phase-controlled converter (referred to the natural commutation point of a diode).

- The principal notch is characterised by a value of 0 V (line-to-line voltage at the converter's terminals).
- The approximation gives an under-evaluation of d for $\alpha < 90^\circ$, and an over-evaluation of d for $\alpha > 90^\circ$.

The notch area a can be approximated by a simple relationship (example of a three-phase bridge, see the conditions of the approximation in the note below):

$$a = 8\,000 (Z_t \times I_{1L}/U_L) \quad (\% \text{ degrees})$$

where

Z_t is the total line impedance per phase (here assumed to be a pure reactance), including any impedance in the EUT;

I_{1L} is the fundamental component of the line-side current;

U_L is the line-to-line voltage.

It can be seen that the worst case occurs when the EUT is at current limit conditions.

NOTE During commutation angle u , from α to $(\alpha + u)$, the commutating voltage is:

$$\sqrt{2} U_L \sin \omega t$$

and

$$\sqrt{2} U_L \sin \omega t = 2 L_t di/dt$$

the area of the commutation notch is

$$A = \int_{\alpha}^{\alpha+u} U(\theta) d\theta = 2L_t \int_{\alpha}^{\alpha+u} \frac{di}{dt} \frac{dt}{d\theta} d\theta \quad (\text{in volt} \times \text{radian})$$

$$A = 2 L_t \omega I_{\alpha} \quad \text{which means} \quad A = 2 Z_t I_{\alpha}$$

where I_{α} is the commutated current.

To take into account the ripple in a three-phase bridge, assume $I_{\alpha} \approx 0,75 I_d$, where I_d is the DC current:

$$A = 1,5 Z_t I_d$$

and with a in % degrees

$$a = 100 A (360/2 \pi) (1/\sqrt{2} U_L) = 6\,077 (Z_t I_d/U_L)$$

$$a = 7\,794 (Z_t I_{1L}/U_L)$$

$$a \approx 8\,000 (Z_t I_{1L}/U_L) \quad \text{or in per units values} \quad a \approx 4\,500 (z_t i_L)$$

Additional information on commutation notches is given in IEC 61800-1:2021, Clause B.7.

B.1.3 Calculation

B.1.3.1 General assessment

When the assumptions listed in B.1.2 are valid, the notch depth at the PC is:

$$d_{PC} \% = 100 \sin \alpha [Z_c / (Z_c + Z_d)] = 100 \sin \alpha (Z_c / Z_t)$$

where Z_t is the total line impedance.

$$Z_t = Z_c + Z_d$$

where

Z_d is the decoupling reactance between the PC and the converter terminals (whether included or not in the EUT);

Z_c is the supply network impedance at the PC.

The amplitude of the ability of control of the converter (for example the case of a three-phase controlled bridge) is often represented by $\sin \alpha$. The notch depth varies from 100 % at the converter terminals to 0 % at a zero-impedance source.

Adding a decoupling reactance Z_d between the PC and the BDM reduces the notch depth and increases the notch width at the PC, but the notch area remains constant.

$$a_{PC} = 8\,000 (Z_c \times I_{1L} / U_L) \text{ (% degrees)}$$

In simple cases where the above assumptions apply, these equations can be used to define the required decoupling reactance. Knowing the notch depth limit (see Table B.1) and the control amplitude ability of the converter, the notch depth at the PC gives the ratio:

$$Z_c / (Z_c + Z_d)$$

Then Z_c , defined by the user, allows calculation of Z_d by the installer, from which the internal decoupling reactance if any (given by the manufacturer) can be subtracted. The remaining value is the reactance to be added for correct decoupling.

NOTE The calculations above do not take account of transients at the beginning and at the end of the notch.

B.1.3.2 Practical rules

The calculation in B.1.3.1 defines the practical rule for decoupling the emission by means of a reactance Z_d . This is summarised below. The fundamental relations, assuming the network impedance is a pure reactance, are:

$$Z_c = L_c \times \omega$$

$$Z_t = Z_c + Z_d$$

$$d_{PC} \% = 100 \sin \alpha (Z_c / Z_t)$$

$$a_{PC} \% \text{ degrees} = 8\,000 (Z_c \times I_{1L} / U_L)$$

If multiple converters are connected to the same line, IEC TR 60146-1-2:2019, 5.4.2, should be considered.

However, it should be remembered that compliance with the notch emission criterion does not automatically ensure compliance with harmonic emission criteria. Similarly, compliance with harmonic emission criteria does not automatically ensure compliance with the notch emission criteria. The immunity aspect is not entirely covered by the harmonic distortion criteria. Indeed, since the harmonic criterion does not imply any phase relationship between the different harmonic components, it does not prevent a particular voltage waveform from being applied to the EUT. The particular waveform of commutation notches (dv/dt , possible zero crossing) affects operation of snubbers and can also affect electronic control operation.

B.1.4 Recommendations regarding commutation notches

B.1.4.1 Emission

The recommendation does not apply to power converters with such a structure that commutation notches are known not to exist or to have only negligible amplitude.

For example, an indirect converter of the voltage source inverter type with an active front end equipped with a decoupling filter designed for attenuation of the effects of the switching frequency does not produce notches. A simple diode rectifier produces notches of negligible amplitude. The main practical case where emission of notches should be considered is the case of thyristor converters (line commutated).

Compliance with the recommendations related to commutation notches does not avoid the need to verify compliance with the requirements for harmonics. The depth of the principal notch at the PC (PCC or IPC) should be limited according to Table B.1, with a line impedance assumed to be a pure reactance:

$$Z = L \omega$$

and having a value of 1,5 % (related to the rated power of the EUT).

NOTE 1 When installing the EUT, the line impedance is practically defined from the short-circuit power S_{sc} at the PC:

$$Z_{sc} = U_{LN}^2 / S_{sc}$$

Table B.1 – Maximum allowable depth of commutation notches at the PC

	Residential, commercial or light industrial location	Industrial location
Maximum notch depth	20 % Class C of IEC 60146-1-1 or comply with the requirements of the local supply authority	40 % Class B of IEC 60146-1-1 or agreement with the user

NOTE 2 This rule cannot be used in cases where resonances can be expected due to capacitors or long length of cables.

In the case of certain distribution networks, special consideration can be required (for example internal distribution networks in hospitals). In such cases, the conditions should be specified by the user.

Compliance may be determined by calculation, simulation or measurement.

If the EUT deviates from this recommendation, and in order to make the user able to comply with this recommendation, the manufacturer should provide the following information in the user documentation:

- the maximum and the minimum line impedance for correct operation of the EUT;
- details of the decoupling reactance Z_d if any, that is included in the EUT;
- details of the available decoupling reactances Z_d which can be delivered as optional items.

NOTE 3 The maximum line impedance is directly related to the maximum notch area at the PC (see B.1.2).

However, in the case of multiple EUTs connected to the same PC, notch limitation is a system consideration and a simple rule cannot be defined.

The main practical case where immunity against notches should be considered for other equipment is the case of RFI filters.

B.1.4.2 Immunity

The harmful effect of notches on an EUT can be much greater than that which would be indicated by a frequency domain analysis of their contribution to the total harmonic distortion. Therefore, a time domain analysis of commutation notches is necessary. Note that the stress due to harmonics and commutation notches affects the electronic control and some power devices as well (snubbers for instance). Because electronic control malfunctions will occur immediately, and snubbers have a short thermal time constant, the duration of a test, if any, for permanent conditions need not exceed 1 h.

Some practical cases where immunity against notches should be considered are:

- where operation is affected instantaneously, for example the effect on electronic synchronisation circuits where the zero crossing of voltage is taken as reference;
- thermal overload, for example overload of snubber circuits in the power converter;
- overvoltage on L-C circuits, for example RFI filters.

Table B.2 – Recommended immunity requirements for commutation notches on power ports of EUTs

Phenomenon	Residential, commercial or light industrial location		Industrial location		Performance (acceptance) criterion
	Reference document	Level	Reference document	Level	
Commutation notches	(None)	No requirement	IEC 60146-1-1 Class B ^a	Depth = 40 %, total area = 250 in % degrees	A
^a Class C of IEC 60146-1-1 is appropriate for the primary side of the transformer.					

B.2 Definitions related to harmonics and interharmonics

B.2.1 General discussion

B.2.1.1 Resolution of non-sinusoidal voltages and currents

Classical Fourier series analysis (IEC 60050-103:2009, 103-07-18) enables any non-sinusoidal but periodic quantity to be resolved into truly sinusoidal components at a series of frequencies, and in addition, a DC component. The lowest frequency of the series is called the fundamental frequency (IEC 60050-161:1990, 161-02-17). The other frequencies in the series are integer multiples of the fundamental frequency and are called harmonic frequencies. The corresponding components are referred to as the fundamental and harmonic components, respectively.

The Fourier transform (IEC 60050-103:2009, 103-04-01) may be applied to any function, periodic or non-periodic. The result of the transform is a spectrum in the frequency domain, which in the case of a non-periodic time function is continuous and has no fundamental component. The particular case of application to a periodic function shows a line spectrum in the frequency domain, where the lines of the spectrum are the fundamental and harmonics of the corresponding Fourier series.

NOTE 1 When analysing the voltage of a power supply system, the component at the fundamental frequency is the component of the highest amplitude. This is not necessarily the first line in the spectrum obtained when applying a DFT to the time function.

NOTE 2 When analysing a current, the component at the fundamental frequency is not necessarily the component of the highest amplitude.

B.2.1.2 Time varying phenomena

The voltages and currents of a typical electricity supply system are affected by incessant switching and variation of both linear and non-linear loads. However, for analysis purposes, they are considered as stationary within the measurement window (approximately 200 ms), which is an integer multiple of the period of the power supply voltage. Harmonic analysers are designed to give the best compromise that technology can provide (see IEC 61000-4-7:2002).

B.2.2 Conditions of application

B.2.2.1 Reference values

For the purposes of this document and for clarity, limits are referred to the corresponding rated value.

Limits for the THD and the TDR are applied to:

$$THD_N = \sqrt{\sum_{h=2}^{h=H} \left(\frac{Q_h}{Q_{N1}} \right)^2}, \text{ and}$$

$$TDR = \frac{\sqrt{Q^2 - Q_1^2}}{Q_1}, \text{ or}$$

$$IDR = \frac{Q_h}{Q_{N1}}$$

where Q_{N1} is the rated RMS value of the fundamental.

NOTE 1 It is important to note that the THD does not include interharmonics, and that the upper limit H is generally 40. The TDR does include interharmonics and frequencies above the order 40 up to 9 kHz. If interharmonics and emissions at frequencies above order 40, are negligible, the THD and TDR are equal.

Assessment of emission should be made under the operating conditions which provide the maximum value of the harmonic content in current according to IEC 61000-3-12, and in reference to the rated value. Nevertheless, interharmonics should be considered separately.

NOTE 2 The harmonic content in current (HCI) is designated as the total harmonic current (THC) in IEC 61000-3-12. Where interharmonics can be disregarded, it represents a good approximation of the total distortion content in current (DCI):

$$THC = HCI = \sqrt{\sum_{h=2}^{h=40} (I_h)^2} \approx DCI = \left(\sqrt{I^2 - I_1^2} \right)$$

B.2.2.2 Systems and installations

A BDM/CDM/PDS is generally a component of a larger system which can be as large as a complete processing line in the paper or metal industry. 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.

B.2.2.3 Load conditions

For the system, the steady state conditions represent the worst-case conditions, provided that the overload conditions (acceleration or other) do not exceed a total duration of 5 % in a 24 h period, and 1 % in a 7-day period. If the load of the system is defined by a cycle, assessment of harmonic emission during a period of highest load should be performed according to the measurement method defined in IEC 61000-4-7.

Overload conditions are not considered for assessment of low voltage EUTs with rated input current below 75 A (see B.3.2.3).

B.2.2.4 Agreed power

The agreed power S_{ST} defines the equivalent reference current I_{TN} (total RMS value):

$$S_{ST} = U_N \times I_{TN} \times \sqrt{3}$$

where

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

I_{TN} is the reference current.

Note that I_{TN} is close to the tripping current value of the main circuit breaker of the installation. S_{ST} represents the power which can be delivered at any time, by the public supply network, to the installation. It can be assumed that, for each agreed internal power, there exists a reasonable short-circuit power (fault level) S_{SC} defined at the PCC. This is the responsibility of the power distribution authority.

NOTE The "agreed power" results from an agreement between the user (owner of the installation) and the distribution network operator.

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. (per unit), the reference current I_{TN1} is by convention equal to I_{TN} .

B.2.2.5 Agreed internal power (extension of the definition of agreed power)

The agreed internal power S_{ITA} , for an installation at a defined IPC " α ", defines the equivalent reference current I_{TNA} (total RMS value) for the part A of the installation fed from α :

$$S_{ITA} = U_N \times I_{TNA} \times \sqrt{3}$$

where U_N is the rated line-to-line voltage at the IPC " α ".

Note that I_{TNA} is the rated current of the feeding section of the part A of the installation. I_{TNA} is close to the rating of the circuit-breaker protecting this part A. It can be assumed that, for each agreed internal power, there exists a reasonable short-circuit power (fault level) $S_{SC\alpha}$ defined at the IPC " α ". This is the responsibility of those in charge of internal power distribution.

B.2.2.6 Short-circuit current ratio of the source in the installation

R_{SI} is the ratio of the short-circuit power of the source at a defined PC to the rated apparent power of the installation, or of a part of the installation, supplied from this PC (see Figure B.2):

$$R_{SIA} = S_{SC\alpha}/S_{ITA} = I_{SC\alpha}/I_{TNA}$$

The subscript "A" indicates the considered part of the installation and the subscript " α " indicates which PC (IPC α) is at the origin of this part.

NOTE 1 IEC 60146-1-1:2009, 3.9.9, defines the relative short-circuit power (R_{SC}) as the "ratio of the short-circuit power of the source to the rated apparent power on the line side of the converters. It refers to a given point of the network, for specified operating conditions and specified network configuration.". This is the same concept. However, R_{SI} refers to the rated apparent power of the total load downstream of the point of coupling instead of the fundamental apparent power of a defined load (the converter) downstream of the point of coupling.

NOTE 2 R_{SI} can be applied to the totality of the installation. In this case, the point of coupling (PC) is the point of common coupling (PCC), and I_{TNA} corresponds to the agreed power.

NOTE 3 R_{SI} can also be applied to a part of an installation of rated current I_{TNA} . The short-circuit current ratio of the source in the installation R_{SIA} is expressed as the ratio of the short-circuit current at the internal point of coupling (IPC α) of the part of the installation to its rated current.

NOTE 4 By extension, this definition can also be applied to a part of an equipment of rated current I_{TNI} . R_{SII} is expressed as the ratio of the short-circuit current available at the internal considered point (delivered by the source) to the rated current of part of the equipment supplied. This extension is strictly dedicated for consideration of internal constraints of equipment.

NOTE 5 In Figure B.2, the installation shows a part A with a short-circuit current ratio of the source R_{SIA} . Part A contains part B, part B has a short-circuit current ratio of the source R_{SIB} , 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.

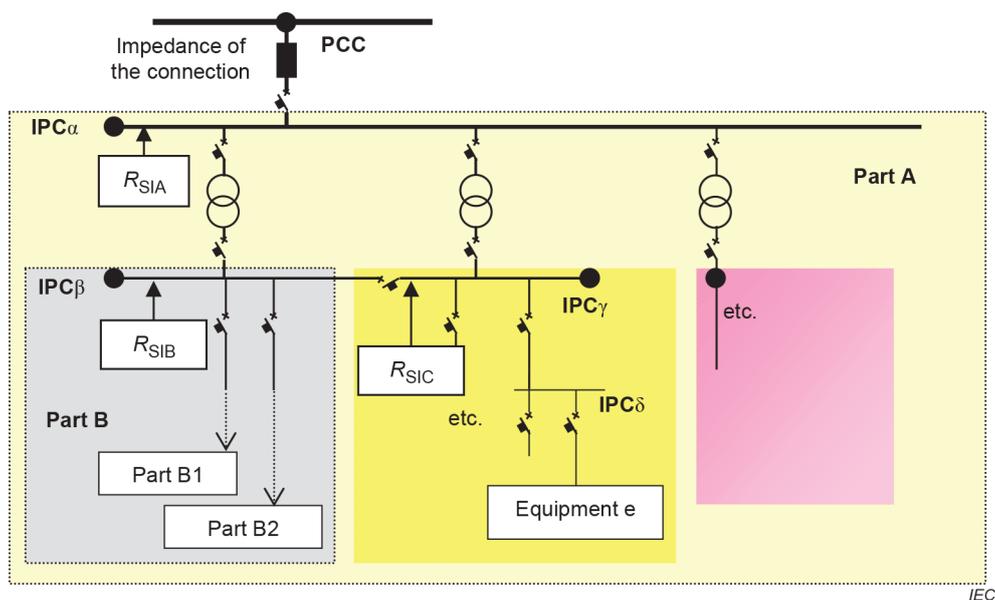


Figure B.2 – PCC, IPC, installation current ratio and R_{SI}

B.2.2.7 Short-circuit ratio

R_{SC} is the ratio of the short-circuit power of the source at the PCC to the rated apparent power of the equipment (see IEC 61000-3-12):

$$R_{SC} = S_{SC}/S_{Ne} = I_{SC}/I_{LNe}$$

NOTE 1 With the example of Figure B.3, it can be expressed as a function of the relevant R_{S1} . The piece of equipment (e) is fed from a bus bar (IPC_{δ}), 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:

$$R_{S1e} = S_{SC\delta}/S_{Te} = I_{SC\delta}/I_{LNe} = (I_{SC\delta}/I_{SC}) \times (I_{SC}/I_{LNe}) = (S_{SC\delta}/S_{SC}) \times (R_{SCE})$$

or

$$R_{SCE} = (S_{SC}/S_{SC\delta}) \times R_{S1e}$$

This definition is suitable, in the application of IEC 61000-3-12, for defining the condition of connection of a piece of equipment to the low voltage public supply network.

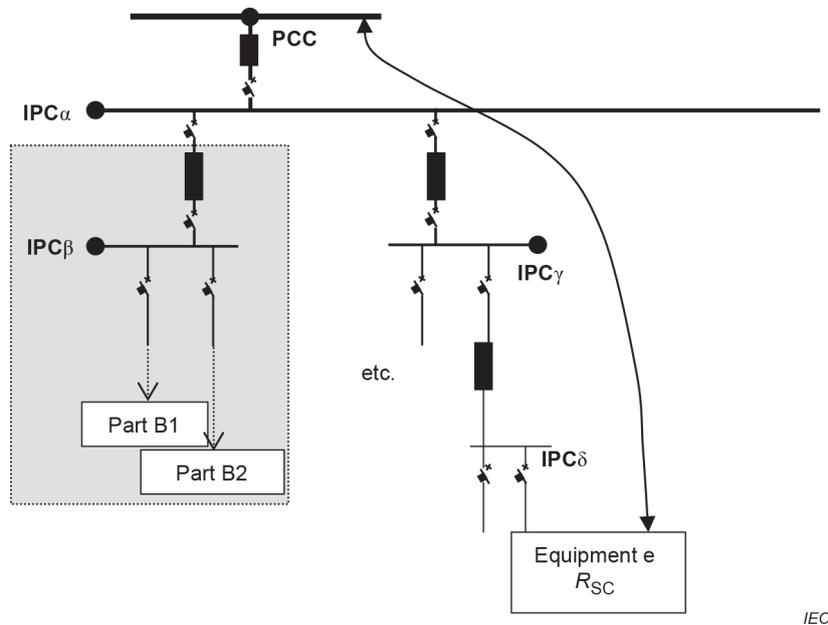


Figure B.3 – PCC, IPC, installation current ratio and R_{SC}

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

B.2.2.8 Non-distorting EUT

An EUT complying with the limits of IEC 61000-3-2, or with the limits for $R_{SCE} = 33$ in IEC 61000-3-12:2011, Table 2, can be labelled: "Non-distorting equipment". The use of such equipment is allowed without any restriction.

B.3 Application of harmonic emission standards

B.3.1 General

In the theoretical study of power converters and their use, converters have been modelled as sources of harmonic currents. Some new converters of voltage source type (using forced commutation and PWM control) are better described as harmonic voltage sources, therefore they are connected to the PC (which is also a voltage source) through an impedance (reactor) which converts them into harmonic current sources.

However, this common model is not suitable when the internal harmonic impedance of the converter is low compared to that of the network. As a simple example, consider the case of a diode rectifier and capacitive filtering, in which both the AC and DC sides are without any decoupling reactor. The circuit component with the lowest harmonic impedance determines the harmonic voltage.

A minimum knowledge of the system is necessary for establishing a model of the harmonic sources. The harmonic current source model is often suitable for most converters and harmonic orders up to 25. However, this model should be revised for frequencies above the harmonic order 40, where harmonic voltage source models are generally more convenient. Special care should be taken to define the appropriate model in the medium range between harmonic order 25 and 40.

Different models have already been given to define the order and the amplitude of the different harmonic components for different types of converters. A summary of these publications is given in IEC TR 61000-2-6:1995, Clause A.1, and in IEC 61800-1:2021, Annex B, which include information from IEC TR 60146-1-2.

Such an analysis is not repeated here.

An EUT is often a harmonic current source which contributes to harmonic voltages. The harmonic voltages should be compared to compatibility levels from IEC 61000-2-2 or IEC 61000-2-4. The influence of operating and installation conditions should also be considered. This is pointed out in IEC TR 61000-2-6, which also gives methods for summation of harmonics. Naturally, this has consequences on the appropriate mitigation methods (see Annex C) and on practical rules for connection of an EUT (see Clause B.4).

Industrial practice, with EUTs of category C4, establishes optimal solutions from both the technical and economical points of view. These include adapted mitigation methods, for example, the use of defined phase shifting transformers applied to different EUTs.

Filtering each EUT individually can cause a severe risk of multiple resonance frequencies. Additionally, because the harmonic impedance and the existing voltage distortion are generally unknown and unstable, the rating of the filter is particularly difficult to define. Therefore, a global approach to filtering of the whole installation should be used. Such an approach is developed in IEEE Std 519™.

B.3.2 Public networks

B.3.2.1 General conditions

For low voltage EUTs of rated input current exceeding 16 A and up to and including 75 A per phase, IEC 61000-3-12 specifies the limitation of harmonic currents injected into the public supply system. The limits given in IEC 61000-3-12 are primarily applicable to electrical and electronic equipment intended to be connected to public low-voltage AC distribution systems.

When an EUT is equipment within the scope of IEC 61000-3-12, the requirements of that standard apply. However, when one or more EUTs are included in equipment within the scope of IEC 61000-3-12, the requirements of that standard apply to the complete equipment and not to the individual EUT.

The test set-up for direct measurement or for validation of a computer simulation for EUTs within the scope of IEC 61000-3-12 consists of a voltage source and measuring equipment as described in IEC 61000-4-7. If a synchronous machine is used as an independent source for the test, it should be noted that its harmonic impedance is determined by the negative sequence impedance, not by the short circuit current.

NOTE 1 If the EUT includes a phase shift transformer, the point of measurement is on the primary side.

Measurements are performed under steady state conditions. Power overload conditions (affecting torque at full speed) are quite exceptional applications, and if any, are sufficiently limited in time not to be considered.

The emission level may be assessed either by direct measurement or by a validated simulation under the conditions defined in IEC 61000-3-12. The following two operating conditions are defined to cover the different types of EUTs:

- rated input current at base speed in motoring mode (voltage source inverter);
- rated torque at 66 % of base speed in motoring mode (thyristor DC drive or current source inverter).

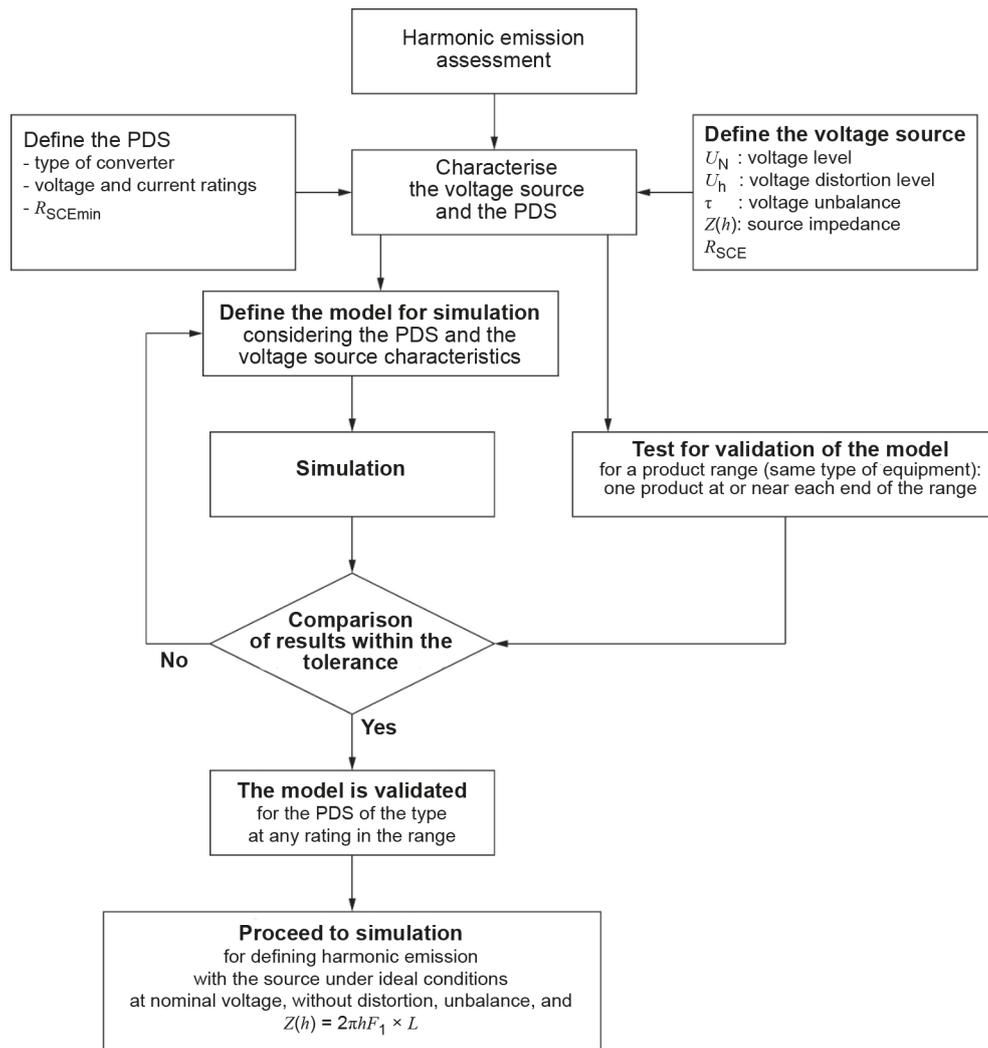
NOTE 2 IEC 61800-1 and IEC 61800-2 use the term "base speed" to refer to the lowest speed at which the motor is capable of delivering maximum output power. In the case of a voltage source inverter, this is often the same speed as if the motor was fed directly from the mains supply.

For equipment neither covered by IEC 61000-3-2 nor by IEC 61000-3-12 (for example rated current above 75 A), recommendations are given in Clause B.4.

NOTE 3 Harmonics of the different electrical components of the equipment can be summed using the more exact analytical physical law suitable to the nature of the EUT and to the nature of the other components (see B.3.3).

B.3.2.2 Assessment by simulation

The simulation assessment of individual harmonic emission of an EUT should follow the basic rules summarised in Figure B.4. Characterisation of the EUT and of the voltage source is the starting stage.



IEC

Figure B.4 – Assessment of the harmonic emission of an EUT

In the case of high power or medium voltage equipment, the validation of the simulation may be a more complex process than the process described here.

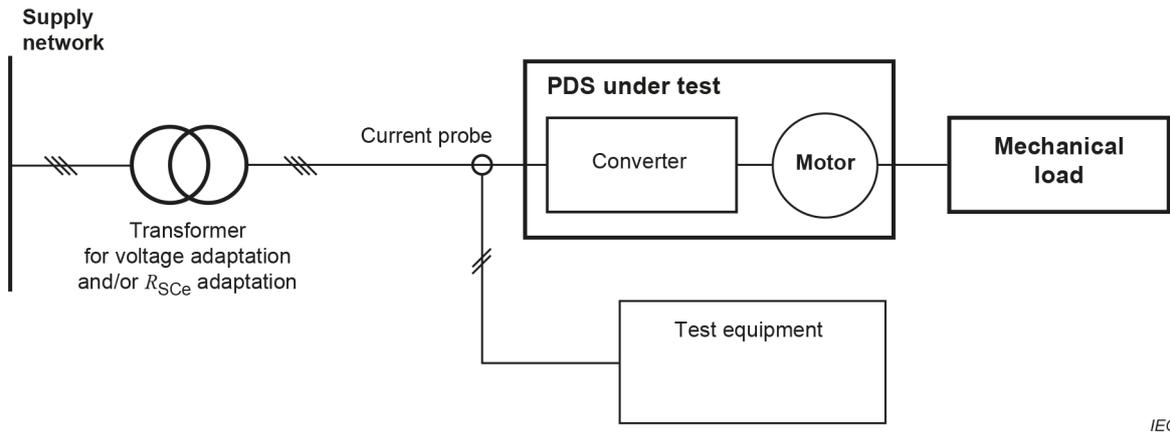
B.3.2.3 Load conditions for assessment by test

B.3.2.3.1 General

When the harmonic emission of an EUT is measured individually, the characterisation of the voltage source and the EUT is performed as in B.3.2.2. For equipment with rated input current above 16 A and up to 75 A, IEC 61000-3-12 requires the R_{SCEmin} during the test to be at least 1,6 times the R_{SCE} which is referenced for compliance declaration. The load conditions are set as follows:

- 100 % rated input current or less, maximising THC;
- motoring operation;
- steady state.

Figure B.5 illustrates the test set-up with a mechanical load. Figure B.6 and Figure B.7 illustrate the electrical possibilities when a mechanical load is not available.



IEC

Figure B.5 – Test set-up with mechanical load

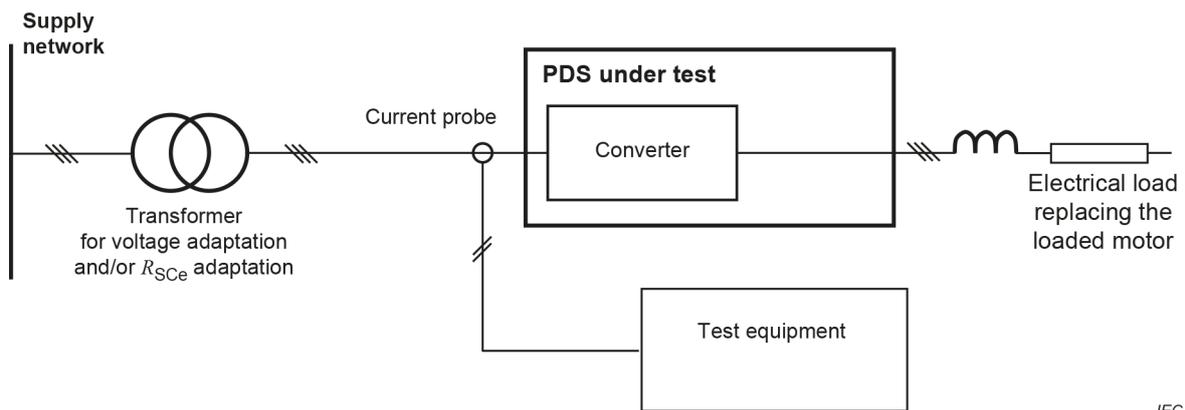
B.3.2.3.2 Diode input rectifier

EUTs with diode input rectifier (or thyristor rectifier, the thyristors being used as diodes with a function of contactor) may be tested at 100 % rated input RMS current as defined by the manufacturer’s specification. The necessary load to obtain the input current may be provided by a motor and a mechanical load for steady state operation.

The loaded motor may be replaced by an electrical load which is connected either at the output of the converter, or at the output of the DC link:

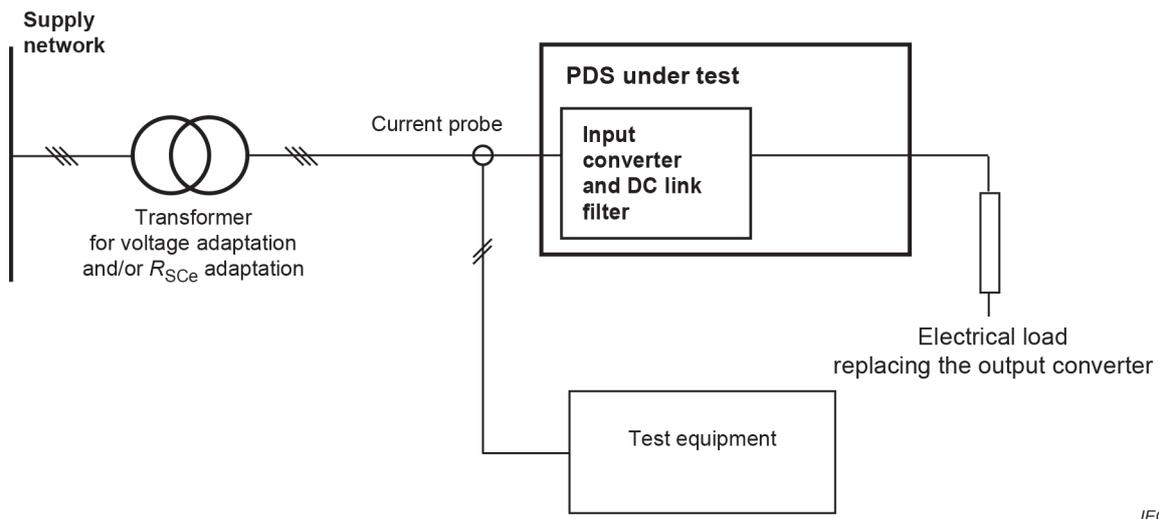
- at the output of the converter, the electrical load should consist of a reactor and a resistor (see Figure B.6);
- at the output of the DC link, the electrical load should consist of a resistor (see Figure B.7).

For rated input currents equal to or greater than 75 A, the rated input current condition may be replaced by the condition maximising the THC.



IEC

Figure B.6 – Test set-up with electrical load replacing the loaded motor



IEC

Figure B.7 – Test set-up with resistive load

B.3.2.3.3 Line commutated input converter

An EUT with a line commutated input converter (thyristor converter) is tested at rated RMS input current as defined by the manufacturer's specification, or less for maximising THC. No test for regenerating conditions is required. The necessary load to obtain the corresponding input current may be provided by a motor defined by the manufacturer and a mechanical load for steady state operation.

In the case of a current source converter, the loaded motor may be replaced by an inductor at the output of the DC link (instead of the motor). In the case of a voltage source converter, the loaded motor may be replaced by a resistor at the output of the DC link (see Figure B.7).

NOTE Conditions producing maximum THC are close to the conditions producing the maximum value of peak-to-peak ripple current, in the DC link at the output of the input converter.

B.3.2.3.4 Self-commutated input converter

An EUT with self-commutated input converter is tested at rated RMS input current as defined by the manufacturer's specification, or less for maximising THC. No test for regenerating conditions is required. The necessary load to obtain the corresponding input current may be provided by a motor defined by the manufacturer and a mechanical load for steady state operation.

The loaded motor may be replaced by a resistor at the output of the DC link. A back-to-back setting for loading is also possible; in such a case, it is obvious that only the current of the input converter is measured.

B.3.2.4 Representative maximum of THC

It is not always necessary to operate at the rated input current to comply with the requirement of maximising the current THC (total harmonic content in current).

NOTE In this document, HC is the harmonic content (see 3.7.15), which is consistent with IEC 60050-551:2001, 551-20-12. THC represents the total harmonic current, which can be considered as an abbreviation of total harmonic content in current. The definition of THC in 3.7.2 is based on IEC 61000-3-12:2011.

For certain types of converters (for example current source), the ripple current in the DC link depends on the speed of the motor. Worst conditions are obtained at zero speed, which is equivalent to the loaded motor replaced by an inductor at the output of the DC link. This case is generally not representative of normal operation of the EUT.

For an EUT of rated input current equal to or above 75 A, two operating conditions are required in order to assess the harmonic emissions of the different types of EUTs:

- rated input current at base speed in motoring mode (voltage source inverter);
- rated motor current at 66 % of base speed in motoring mode (thyristor DC drive or current source inverter).

For other types of EUT, where it is not obvious which of the above conditions is the worst case, both of these conditions should be assessed. In both cases, harmonic currents should be assessed as a percentage of the rated fundamental input current. The case with the higher value of THC should be considered as the worst case.

When these two conditions cannot be assessed (by test or by validated simulation), or for low voltage EUTs of rated input current less than 75 A, as an alternative, it is admitted to verify the maximum THC condition by means of the following simplified method. The current may be set below the rated input current, provided it produces the maximum absolute ripple current in the DC link. The condition can be checked by verifying the waveform of the current at the appropriate location on the DC link.

Conditions providing a representative maximum of THC are also met with electrical loads by adjustment of the mean value of the current in the DC link. They may be taken to specify the load conditions of the test for validation of a simulation.

The IDR (individual distortion ratio, see 3.7.18) measured under those conditions provides an overestimation of the most significant harmonic components of the current. They also may be taken as result of the test when the rated current cannot be achieved, and when simulation is not used.

B.3.3 Summation methods for harmonics in an installation – Practical rules

B.3.3.1 Principle

Harmonic emissions from the different components are summed in the most appropriate way. The chosen method of summation can be a fast but conservative approximation. When more precision is required, the appropriate summation law may be chosen, according to the nature and structure of the converters of the EUTs. The result is referenced to the rated fundamental current of the apparatus or of the system (agreed internal power).

B.3.3.2 Simple arithmetic summation of harmonic currents

In this approach, harmonic currents are summed arithmetically (this approach is simple but often highly conservative). Calculation of the individual distortion ratio IDR (for each order), or of the total harmonic distortion THD, is performed for three-phase components, using the following formula applied to all distorting components (pieces of equipment) belonging to an installation or to a part of an installation.

HD is the generic symbol for IDR or THD. The subscript "eq" indicates that this value is attached to a particular piece of equipment in the system. The subscript "IT" indicates that the example is related to a part of an installation, however the same applies to the whole installation (using subscript "ST").

$$HD = \sum_{eq} HD_{eq} \times \frac{S_{eq}}{S_{IT}}$$

In the formula, HD_{eq} is referenced to the rated fundamental current of the component (piece of equipment), and HD is referenced to the rated fundamental current of the part of the installation (agreed internal power).

Single-phase components are taken into account by means of an unbalance penalty coefficient:

- for single-phase loads, phase-to-phase, the coefficient is $\sqrt{3}$:

$$\sqrt{3} \left(HD_{\text{eq}} \times \frac{S_{\text{eq}}}{S_{\text{IT}}} \right)$$

- for single-phase loads, phase-to-neutral, the coefficient is 3:

$$3 \left(HD_{\text{eq}} \times \frac{S_{\text{eq}}}{S_{\text{IT}}} \right)$$

The penalty coefficient is applied to those terms related to the loads in excess which create the unbalance condition.

EXAMPLE $S_{\text{IT}} = 150 \text{ kVA}$

Piece of distorting equipment n°1: $S_{\text{eq}} = 25 \text{ kVA}$ with $HD = 65 \%$, related to its rated current;

$$HD_{\text{eq1}} = 65 \times (25/150)\% = 10,8 \%, \text{ related to } I_{\text{TN1}} \text{ (or } S_{\text{IT}}).$$

Piece of distorting equipment n°2: $S_{\text{eq}} = 10 \text{ kVA}$ with $HD = 10 \%$, related to its rated current;

$$HD_{\text{eq2}} = 10 \times (10/150) \% = 0,7 \%, \text{ related to } I_{\text{TN1}} \text{ (or } S_{\text{IT}}).$$

Piece of distorting equipment n°3: $S_{\text{eq}} = 1 \text{ kVA}$ with $HD = 85 \%$, related to its rated current,

but single-phase (phase-to-phase), equivalent to 1,73 times its rating as balanced load, with harmonics multiple of three (to be considered):

$$HD_{\text{eq3}} = 85 \times (1,0/150) \times 1,73 = 1,0 \% \text{ related to } I_{\text{TN1}} \text{ (or } S_{\text{IT}}).$$

For the system $HD = (10,8 + 0,7 + 1,0) \% = 12,5 \%$ with $\Sigma S_{\text{eq}}/S_{\text{IT}} = (25 + 10 + 1)/150 = 0,240$

The calculation should be performed for each harmonic order and for THD.

B.3.3.3 Pseudo-quadratic (variable exponent) summation law

The summation of harmonic currents can be made with a more representative law:

- current known to be in phase (for example diode rectifier), arithmetic summation of each order:

$$I_h = \Sigma_i I_{hi}$$

- random phase relationship between currents, exponent and summation of each order:

$$I_h = \left[\sum_i I_{hi}^\alpha \right]^{\frac{1}{\alpha}}$$

where

$$\alpha = 1 \text{ for } h < 5;$$

$$\alpha = 1,4 \text{ for } 5 \leq h < 10;$$

$$\alpha = 2 \text{ for } 10 \leq h.$$

The above formulae can be applied to individual harmonic orders and also to THD.

This method gives an assessment of harmonic current emissions from the system. The result is referenced to the rated fundamental current of the system (agreed internal power) and may be used to show compliance with IEC 61000-3-2 or IEC 61000-3-12 according to the rating of the machine or of the system. It may even be used for assessment of larger industrial systems or installations.

Typical environments where this approach applies are equipment for light industry with "agreed power" between 30 kVA and 100 kVA, or installation for light industry with "agreed power" between 100 kVA and 300 kVA.

B.3.3.4 Approach for industrial networks based on calculation and/or measurements

If compliance with harmonic emission limits cannot be proved by the approximations in B.3.3, a more accurate assessment of harmonic emissions should be used. This concerns the total current demand of the installation.

The total harmonic current produced by the installation, including the load to be installed, should be established by calculation or measurement. The actual phase relationships between harmonic producing loads should be taken into account so that cancellation effects are not ignored.

Typical environments where this approach applies are light industry with "agreed power" higher than 100 kVA or industry.

B.4 Installation rules – Assessment of harmonic compatibility

B.4.1 Low power industrial three-phase system

B.4.1 is intended to provide guidance for the use of EUTs for their incorporation in products, apparatus or more generally in systems. Applying harmonic limits to each EUT can result in an uneconomic solution and/or in a technical nonsense. It is often better to apply a global approach to filtering of the whole installation. This requires a summation of the harmonic currents produced within an installation.

The procedure for the assessment of harmonic emissions is summarised in Figure B.8.

As stated in 6.3.2.2, IEC 61000-3-2 and IEC 61000-3-12 apply to apparatus comprising EUTs that are directly connected to a PCC in a public low-voltage network. Checking of compliance is performed by comparing, with tables in the appropriate referenced standard, the levels of individual harmonic currents and total harmonic current (THC) produced by the system or apparatus.

For EUTs which are not covered by these publications, the following procedure can be used as a guide. The usual approach is to apply limits of harmonic current to the complete installation. The assessment of the total harmonic emission is performed with appropriate summation laws, according to the required approximation (see B.3.3). Simplified methods and criteria are possible when the agreed power is within a medium range (for example between 100 kVA and 300 kVA), as suggested in Figure B.8, or according to local rules. The limits at the PCC apply to the whole installation connected to the PCC. Therefore, it would be inappropriate to apply these limits to an individual equipment such as an EUT.

The manufacturer of each EUT should provide in the documentation of the EUT, or on request, the ratio of the current harmonic level THC (see 3.7.2), under rated load conditions, to the RMS current on the power port, as well as the harmonic currents up to the 40th harmonic. This can be produced by calculation, simulation or test.

For the purpose of calculation or simulation, the supply voltage applied to the EUT should be assumed to have a THD (see 3.7.3) less than 1 %. The internal impedance of the network should be assumed to be purely inductive. If the specific location of the EUT is not known, the harmonic currents should be calculated assuming that the EUT is connected to a PC with the highest value of R_{SI} permitted by the EUT manufacturer.

$$R_{SI} = \frac{I_{SC}}{I_{LN}}$$

where

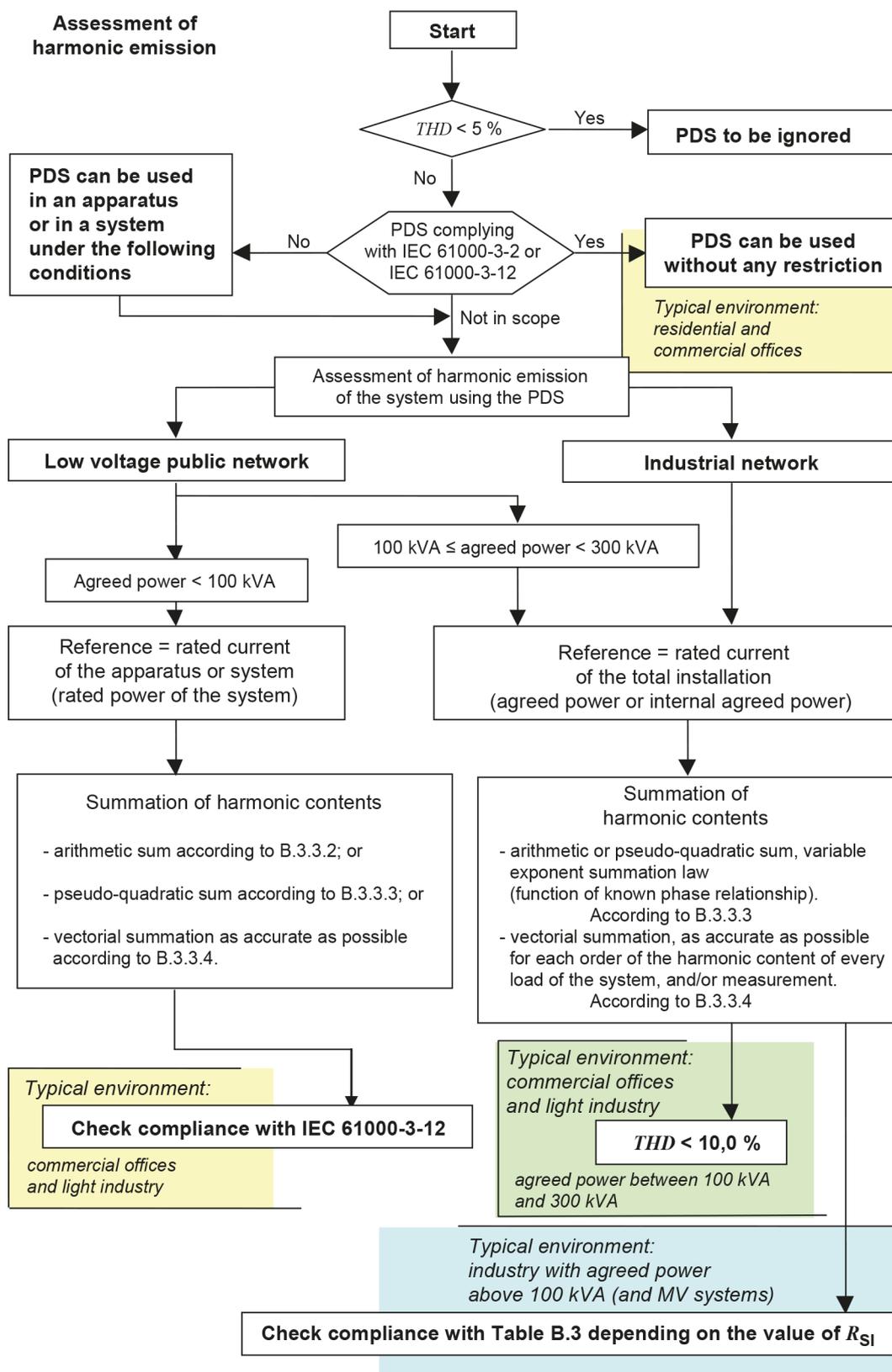
I_{SC} is the short circuit current at the considered PC;

I_{LN} is the rated input current of the EUT.

If a maximum value of R_{SI} is not stated in the documentation for the user, a value of 250 should be assumed. If the specific location of the EUT is known, the supply impedance at that location should be used.

NOTE 1 A guide for calculation of harmonics is given in IEC TR 61000-2-6:1995, Clause A.1 and Clause A.2. Guidelines for the summation of harmonics of different sources are also given in IEC TR 61000-2-6:1995, 7.4.

NOTE 2 Effects of interharmonics are considered in B.4.3. Methods for calculation are given in IEC TR 61000-2-6:1995, Annex C.



IEC

NOTE All harmonic references are made to currents.

Figure B.8 – Assessment of harmonic emission where EUT is used (apparatus, systems or installations)

B.4.2 Large industrial system

B.4.2.1 Principles

B.4.2 is intended to provide guidance for the use of EUTs for their incorporation in systems. Applying harmonic limits to each EUT can result in an uneconomic solution and/or in a technical nonsense. It is often better to apply a global approach to filtering of the whole installation. This requires a summation of the harmonic currents produced within an installation.

The procedure for the assessment of harmonic emissions is summarised in Figure B.8.

IEC TR 61000-3-6 should be applied directly for installations supplied by a medium voltage power supply network, which is the case for large EUTs and particularly those of rated voltage above 1 000 V AC.

It is usual to separate the installation into different parts according to natural decoupling devices (e.g. transformers). The separation should result from the analysis of the complete network, taking possible resonances into account (see Figure B.2).

The location of required filters should be carefully established, but it is evident that filtering each EUT is not practicable.

The usual approach is to apply limits of harmonic current to the complete installation, or to parts of the installation as seen above. In critical cases, a more detailed analysis involving the existing level of voltage harmonic distortion is used.

B.4.2.2 Current distortion determination method for complete installation

In this approach, harmonic current limits are applied to the whole installation. Limits are applied both to individual distortion ratios (IDR) for individual orders and to THD.

The harmonic currents of the total installation should be in accordance with the following Table B.3 at the defined point of coupling. See definition of R_{SI} in B.2.2.6. The EUT supplier and customer should agree on the point of coupling (PCC or IPC) and on the applications of other emission limits coming from local regulations. The point of coupling should be an identified bus bar.

NOTE From the definition of R_{SI} , dedicated to a defined bus bar, it is clear that all loads fed from this bus bar contribute to the definition of the corresponding current (I_{TN}) to be taken into account for calculation of harmonic emission.

In the USA, IEEE Std 519 applies this approach at all voltage levels for electricity distribution networks. Table B.3 gives an example of practical limits already experienced in North America.

Harmonic currents are expressed as percentages of the total current corresponding to the internal agreed power of the AC supply of the total installation (IDR). In the case of a PCC, the load current is defined by the "agreed power", as agreed between the user and the distribution network operator. In the case of an IPC, the rated fundamental load current is equal to the rated load current of the feeder to the IPC. See B.2.2.5 and B.2.2.6.

Table B.3 – Harmonic current emission requirements relative to the total current of the agreed power at the PCC or IPC

R_{SI}	Individual distortion ratio <i>IDR</i>					TDR
	$h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h \leq 40$	
$R_{SI} < 20$	4 %	2 %	1,5 %	0,6 %	0,3 %	5 %
$20 \leq R_{SI} < 50$	7 %	3,5 %	2,5 %	1 %	0,5 %	8 %
$50 \leq R_{SI} < 100$	10 %	4,5 %	4 %	1,5 %	0,7 %	12 %
$100 \leq R_{SI} < 1000$	12 %	5,5 %	5 %	2 %	1 %	15 %
$1000 \leq R_{SI}$	15 %	7 %	6 %	2,5 %	1,4 %	20 %

Even harmonics are limited to 25 % of the odd harmonics.

For systems with a pulse number (= q) higher than 6, the limits for each individual harmonic are increased by the factor $\sqrt{q/6}$. This corresponds for a 12 pulse system to $\sqrt{2}$. The THD limit remains unchanged.

B.4.2.3 Case by case analysis

As an alternative, a complete analysis of the system can be conducted, and should be conducted in critical cases. The results of the analysis can then be used to correctly define the total filtering, or other mitigation methods.

The following procedure should be adopted:

- assess the existing level of harmonic voltage distortion at the PCC (at the responsibility of the operator of the distribution network – public or private);
- calculate or measure the harmonic impedance of the supply at the PC (at the responsibility of the operator of the distribution network – public or private if PCC – and the responsibility of the user if IPC – internal point of coupling); IEC TR 61000-2-6:1995, Clause A.2, gives information on the harmonic impedance encountered in networks;
- calculate or measure harmonic currents that the EUT to be connected is going to inject into the system (at the responsibility of the manufacturer);
- calculate harmonic voltages that can result from this (at the responsibility of the user).

NOTE All the rules and methods listed in IEC TR 61000-3-6, although defined for medium voltage (from 1 kV up to and including 35 kV) or high voltage (> 35 kV) public networks, are applicable to industrial networks, including their low voltage parts.

In the case of a PCC, the resulting harmonic voltages should not exceed the planning levels defined by the distribution network operator. In the case of an IPC, the resulting harmonic voltages should not exceed the compatibility levels.

Compatibility levels for harmonic voltages are defined by IEC 61000-2-2 on low voltage public systems, by IEC 61000-2-12 on medium voltage public systems and by IEC 61000-2-4 on private industrial systems.

At the PC, an available nominal power (called "agreed internal power") can be defined. In the case of a PCC, this is the "agreed power" (see B.2.2.4 and B.2.2.5). A disturbance allowance can be allocated to the EUT to be connected. The reasonable solution consists of defining this disturbance allowance proportional to the ratio of the EUT's rated power to the agreed internal power at the PC, and proportional to compatibility levels defined by standards quoted in B.4.2.3.

B.4.2.4 Telephone interference

In North America and Finland, the parallel construction of energy distribution and telephone lines has led to the introduction of TIF (telephone interference factor). IEEE Std 519-2022, Annex B, presents the result of a weighting of the various harmonics.

- The equivalent psophometric current is defined as $I_p = I \times TIF$.
- The local recommended practices require that $I_p < I_{pA}$.

Within the installation, the common mode harmonic emission on the motor cable can cause interference with telephone lines if they are running in parallel. Such a layout should be avoided (see 6.3.3).

B.4.3 Interharmonics and voltages or currents at higher frequencies

In this frequency range, above harmonic order 40 and up to 9 kHz, the EUT should be considered as a voltage source emitter. There are no emission requirements for EUTs until compatibility levels will be standardised.

However, application of certain types of EUTs can require the consideration of the emission of interharmonics or of currents or voltages at higher frequencies (up to 9 kHz). This is mainly the case for high power EUTs such as cyclo-converters or current source inverters. This can also be the case for active front-end converters where the PWM switching is directly coupled to the network.

Interharmonics at frequencies slightly different from the fundamental or from predominant harmonics can also cause voltage fluctuations (see B.6.2). They result from beat frequencies which can be seen on non-linear systems such as lighting (function of the square of the voltage). The non-linear response of the disturbed equipment causes the sum and difference of the different harmonic or interharmonic frequencies to appear. The difference frequency can be in the range that causes flicker. The main origin is cyclo-converters or current source inverters. This case is covered by compatibility levels given in IEC 61000-2-4.

B.5 Voltage unbalance

B.5.1 Origin

Voltage unbalance on a three-phase system is generally caused by unequal loading on two of the three phases by single-phase loads. The voltage unbalance is directly related to the amount of the single-phase load as a percentage of the rating, and to the impedance of the mains supply. As an example, consider a three-phase transformer with a defined regulation, and only a single-phase load connected between two phases. If the load is a significant percentage of the kVA rating of the transformer, the output voltages (phase to neutral) of the two phases connected to the load will be reduced while the third winding without any load will remain the same.

Significant unbalance on transformers will cause excessive heating. The manufacturer should be consulted to determine if the transformer is capable of supplying single-phase loads that are a significant percentage of its rated kVA capacity.

Other three-phase loads connected to an unbalanced three-phase source of power are generally affected in a detrimental manner. As an example, the unbalance will cause a reverse sequence current to flow in a three-phase induction motor, which will reduce the torque output at rated current or cause excessive heating at rated output of the motor. In some motors, an unbalance of 3 % can result in a 10 % derating of their output. If an unbalance condition exists on the mains supplying a three-phase motor, it is important to consult the motor manufacturer to determine the proper derating for safe operation.

B.5.2 Definition and assessment

B.5.2.1 Definition

Voltage unbalance is defined in IEC 61000-2-2, IEC 61000-2-4 or IEC 61000-2-12. Some methods of calculation are given below.

In a polyphase system, voltage unbalance is a condition in which the RMS values of the fundamental component of the line-to-line voltages, or the phase angle between consecutive phases, are not all equal. For the purposes of this document, the degree of that inequality is expressed as the ratio of the negative sequence component to the positive sequence component.

In some circumstances, the zero-sequence component should be included in the assessment of voltage unbalance.

B.5.2.2 Complete analysis

The accurate definition relates to symmetrical component analysis of the three-phase system. This type of analysis is based on the concept that any phase voltage deviation from the ideal three-phase system can be described by the addition of three vectors. They are called the zero, positive and negative sequence vectors and are defined as follows:

$$\begin{aligned}\underline{U}_A &= \underline{U}_{A0} + \underline{U}_{A1} + \underline{U}_{A2} && \text{phase A voltage;} \\ \underline{U}_{A0} &= (\underline{U}_A + \underline{U}_B + \underline{U}_C)/3 && \text{zero sequence component;} \\ \underline{U}_{A1} &= (\underline{U}_A + a \underline{U}_B + a^2 \underline{U}_C)/3 && \text{positive sequence component;} \\ \underline{U}_{A2} &= (\underline{U}_A + a^2 \underline{U}_B + a \underline{U}_C)/3 && \text{negative sequence component}\end{aligned}$$

where

\underline{U}_A , \underline{U}_B , and \underline{U}_C are the phase voltage vectors;

a is the operator and $a = - (1/2) + j (\sqrt{3}/2)$.

The ratio of the negative sequence to the positive sequence voltage is the voltage unbalance. This is as follows:

$$\tau \% = 100 U_2/U_1$$

EXAMPLE 1 Amplitudes and phase angles of line-to-neutral voltages are known allowing the line-to-line voltages and the corresponding phase angles to be calculated.

$$U_{AN} = 231,00 \text{ and } 0,0^\circ, \quad U_{BN} = 220,00 \text{ and } -125,1^\circ, \quad U_{CN} = 215,00 \text{ and } 109,8^\circ$$

$$U_{AB} = 400,26 \text{ and } 26,7^\circ, \quad U_{BC} = 386,03 \text{ and } -98,0^\circ, \quad U_{CA} = 365,01 \text{ and } 146,3^\circ$$

resulting in zero sequence $U_0 = 12,91$ and $35,2^\circ$,

positive sequence $U_1 = 221,41$ and $-5,0^\circ$,

negative sequence $U_2 = 11,78$ and $90,7^\circ$,

and voltage unbalance: $\tau = 100 (11,78/221,41) = 5,32 \%$, with a zero-sequence component of $5,83 \%$.

EXAMPLE 2 Amplitudes and phase angles of line-to-neutral voltages are known allowing the line-to-line voltages and the corresponding phase angles to be calculated:

$$U_{AN} = 230,00 \text{ and } 0,0^\circ, \quad U_{BN} = 280,00 \text{ and } -135,0^\circ, \quad U_{CN} = 170,00 \text{ and } 130,0^\circ$$

$$U_{AB} = 471,57 \text{ and } 24,8^\circ, \quad U_{BC} = 340,00 \text{ and } -105,1^\circ, \quad U_{CA} = 363,41 \text{ and } 159,0^\circ$$

resulting in zero sequence $U_0 = 34,26$ and $-138,7^\circ$,

positive sequence $U_1 = 223,09$ and $-3,7^\circ$,

negative sequence $U_2 = 49,59$ and $48,1^\circ$,

and voltage unbalance: $\tau = 100 (49,59/223,09) = 22,23$ %, with a zero-sequence component 15,36 %.

B.5.2.3 Approximate method

Three approximations are given below. The first one usually provides the best results, with an error less than 5 % for any kind of unbalance for which the line-to-neutral voltages have phase angles within a tolerance of $\pm 15^\circ$, and the amplitude within a tolerance of ± 20 % compared to the corresponding ideal balanced system (positive sequence or negative sequence).

U_{12} , U_{23} and U_{31} are the three line-to-line voltages, with $\delta_{ij} = (U_{ij} - U_{\text{average}})/(3 \times U_{\text{average}})$ for each of the three line-to-line voltages, and τ the voltage unbalance as the ratio of the negative sequence voltage amplitude to the positive sequence voltage amplitude:

$$\tau \approx \sqrt{6 \sum_{1}^3 \delta_{ij}^2}$$

The following much simpler approximation provides acceptable results (absolute error generally less than 1 %) for τ up to 7 %:

$$\tau \approx \left(\frac{2}{3}\right) \times \left[\frac{U_{\text{max}} - U_{\text{min}}}{U_{\text{average}}} \right]$$

The formula proposed by the American association NEMA (National Electrical Manufacturers Association) also gives acceptable results (absolute error generally less than 1 %) for τ up to 10 % or where phase shifts are large:

$$\tau \approx \frac{\text{MAX} |U_{ij} - U_{\text{average}}|}{U_{\text{average}}}$$

EXAMPLE 1 As above:

$U_{AN} = 231,00$ $U_{BN} = 220,00$ and $U_{CN} = 215,00$

$U_{AB} = 400,26$ $U_{BC} = 386,03$ and $U_{CA} = 365,01$

$U_{\text{average}} = (400,26 + 386,03 + 365,01)/3 = 384,07$ and without decimals $U_{\text{average}} = (400 + 386 + 365)/3 = 383,66$

$\delta_{12} = 1,433$ % $\delta_{23} = 0,197$ % $\delta_{31} = -1,629$ %

The voltage unbalance is $[6 (1,433^2 + 0,197^2 + 1,629^2)]^{1/2} = 5,3$ %

or $(2/3) \times (U_{\text{max}} - U_{\text{min}}) / U_{\text{average}} = (2/3) \times (400 - 365)/383,7 = 6,1$ %, or using the last approximation: $19,1/383,7 = 5,0$ %.

EXAMPLE 2 As above:

$U_{AN} = 230,00$ $U_{BN} = 280,00$ and $U_{CN} = 170,00$

$U_{AB} = 471,57$ $U_{BC} = 340$ and $U_{CA} = 363,41$

$U_{\text{average}} = (471,57 + 340 + 363,41) / 3 = 391,66$

$\delta_{12} = 6,801$ % $\delta_{23} = -4,397$ % $\delta_{31} = -2,404$ %

The voltage unbalance is $[6 (6,801^2 + 4,397^2 + 2,404^2)]^{1/2} = 20,7$ %

or $(2/3) \times (U_{\text{max}} - U_{\text{min}}) / U_{\text{average}} = (2/3) \times (472 - 340) / 391,7 = 22,4$ %, or using the last approximation: $80,6/391,7 = 20,6$ %.

B.5.3 Effect on BDM/CDM/PDS/MTs

The effect on the BDM/CDM/PDS/MTs will vary depending on the type of power circuit and control method used. Each type of control and circuit should be analysed in detail. Generally, the effect will be small on controlled or uncontrolled converters that supply resistive loads. Phase controlled converters of the type that use phase shifted line voltage for their reference will be affected less than converters that use a voltage ramp synchronised to the line using zero crossings for their reference. Controlled or uncontrolled converters that supply capacitor banks, used in the DC loop of indirect converters (voltage source inverters), will have current unbalances that are significantly larger than the voltage unbalance and larger than converters that supply an inductive load such as a DC motor.

Special care should be taken with the design of converters that supply capacitor banks, since the peak current is greatly magnified by the voltage unbalance. For very large capacitor banks where the ripple voltage is small, the peak current from each phase is limited only by the source impedance and any additional impedance in the EUT and the difference between the capacitor bank voltage and the line voltage. The ratio of peak currents between phases can be as large as 20 % for 3 % voltage unbalance with a 1 % source impedance. Fortunately, this is an extreme condition since it is unlikely that single-phase loading could cause this magnitude of unbalance with a 1 % source impedance.

B.6 Voltage dips – Voltage fluctuations

B.6.1 Voltage dips

B.6.1.1 Definition

Perhaps the most common form of low-frequency disturbance is the voltage dip or a reduction of voltage on one or all of the three phases. A voltage dip is a sudden reduction of the voltage at a point in the electrical system, followed by voltage recovery after a short period of time, from half a cycle to a few seconds. A voltage dip is generally caused by the clearing of faults by the distribution network operator supplying the mains or by the starting of large motors in or near the user's location. Surveys by different utilities in different countries have shown that voltage dips can range from a time of half a cycle to 15 cycles or more at voltages outside the 10 % voltage tolerance. The residual voltage (lowest value of the voltage during the dip) is now preferred to the depth of the dip to characterise the magnitude (the depth is the difference between the reference voltage and the residual voltage). The residual voltage largely depends on the relative location of the voltage source (generally a high voltage/medium voltage substation), the event equivalent to a short circuit and the observation point. Comprehensive information is available in IEC TR 61000-2-8.

B.6.1.2 Effect on BDM/CDM/PDS/MTs

B.6.1.2.1 Fundamentals

Voltage dips can have detrimental effects upon the performance of BDM/CDM/PDS/MTs. When the supply voltage is reduced, usually the power that can be transferred from the mains to the motor is also reduced. However, some PDS converters compensate for voltage dips over limited ranges by changing control angles for input rectifiers. Also of concern, regenerative converters that transfer mechanical power from the motor back to the mains may encounter issues with voltage dips.

The effect of voltage dips on EUTs should be considered according to the physical nature of the driven equipment. Moreover, the electronic control of the EUT and the power converter components should be distinguished (see IEC TR 61000-2-8).

The control part could be immune, with performance criterion A, to certain types of dips, and this could be of no use unless it is consistent with the behaviour of the converter or of the driven equipment. The converter has no energy storage capability. The driven equipment generally has little energy storage capability, which can be used under certain conditions. To claim that

an EUT is immune to voltage dips purely on the basis of the immunity of the control part would be misleading. The use of a specific sequence in the control should be documented to make it possible for the user to define the suitable adaptation to the driven equipment.

B.6.1.2.2 Controlled converters

Controlled converters, such as those that are made up of thyristors, GTOs (gate turn off thyristor), or transistors, are generally used to convert the AC mains to a variable DC voltage. The logic that is used to synchronise the control of the power semiconductors is often designed to inhibit rectification when the mains voltage drops below a specific value. In some cases, the control is shut off until the user resets the logic, or, in others, operation will be resumed only if the voltage returns within a specified amount of time. Normally, the EUT will not be able to control the motor during the dip interval and control could be lost until the logic is reset. If the process that the EUT is controlling is critical, discussions with the EUT manufacturer should occur such that the reaction of the logic to the voltage dip is compatible with the process needs. In some critical cases, it is necessary to apply additional measures (for example alternative power sources) to carry the process through severe voltage dips.

During voltage dips, the power available from the BDM/CDM to the motor is reduced. This can affect operation depending on the motor operating points. Consider the case of a controlled 6-thyristor bridge supplying power to a DC motor. If the motor is running at high speed, a voltage dip can cause the peak line voltage to drop below the armature voltage. The thyristors will be commutated off by the armature circuit and the current in the armature circuit will be reduced. If on the other hand, a voltage dip occurs when the motor is running at low speed, the control circuitry can advance the control point to compensate for the reduced voltage. In this case, the control of the motor will not be affected. For critical loads, the effect of a voltage dip should be discussed with the manufacturer of the EUT to determine how the control circuitry will react.

Regenerative converters of the type that use the line voltage to commutate the thyristors in the bridge are particularly sensitive to voltage dips. If the line voltage drops too low during this reverse power flow, control of the power flow from the motor to the mains is lost since the thyristors cannot be turned off. If the control circuitry does not react or if the dip is particularly abrupt or occurs after a thyristor is turned on, the previously conducting thyristor cannot be turned off and excessive uncontrolled currents can flow from the motor. These currents can result in potentially detrimental effects on the process or even damage to the motor. For critical loads, the effect of voltage dips on regenerative converters should be discussed with the manufacturer of the EUT to determine how the control and power circuits will react during this interval. For critical loads, additional circuitry can be added to force-commutate the thyristors or alternative power sources can be used to carry the EUT through the dips.

Regenerative converters of the type that are force commutated by some means can also be affected by voltage dips. This is because the reduction in voltage during the dip can reduce the amount of power that can be transferred from the load to the motor and to the mains. If this condition exists, control of the motor can be lost during this interval.

B.6.1.2.3 Uncontrolled converters

Uncontrolled converters such as diode bridges are not greatly affected by a voltage dip, with the exception of the high inrush currents which can flow into the capacitor banks of voltage source converters after the voltage reappears. However, their output power and voltage are reduced during the voltage dip. This can cause detrimental effects on other parts of the EUT. If, for example, the converter is supplying power to an inverter, the output voltage of the inverter will be limited, and control of the AC motor will be lost.

Some manufacturers also inhibit operation when the voltage feeding the inverter drops below a specific value. Some designs also require that the logic be reset before operation can continue. Other designs will restart operation when the voltage returns, but control of the motor is lost during the interval that the logic is inhibited. This interval can be extended by the time needed to synchronise the inverter control logic with the actual speed of the motor after control is lost.

The synchronisation is needed to match the output frequency of the inverter to the actual speed of the motor. The synchronisation process determines the appropriate frequency and voltage that should be applied to the motor for smooth transition from coasting to control.

EUTs of the type that would have a very large capacitor bank could ride through short voltage dips because of the energy stored in the capacitor bank. Generally, it is not economical to make a capacitor bank large enough to operate through voltage dips. In the case of critical loads, a battery can be used to supply power during the voltage dip. EUTs with adapted control can continue operation during voltage interruption, provided the output power is near zero. In all cases, the effects of voltage dips on the operation of the EUT should be discussed with the manufacturer to determine if the EUT is compatible with process needs.

B.6.1.2.4 General protection types

It has been shown that immunity to voltage dips is very dependent on the nature of the converter and on the load behaviour. Absolute protection can be very expensive, and the choice of the protection should be carefully compared with the process requirements.

- Absolute protection requires a backup power supply. For example, this can be a UPS (uninterruptible power system), external to the EUT, or a DC source (battery) supplying the DC link of a voltage source inverter.
- Ride-through sequence is a technique which uses the possibilities of the command to avoid transient overcurrent, but without backup energy. Therefore, the speed of a passive load will necessarily decrease with a rate approximately given by the ratio of the load torque to the inertia. For safety reasons, this kind of protection cannot be used with active loads (example of hoisting during regeneration where mechanical braking is necessary).
- Flying restart is the continuation of the ride-through sequence which can be used in case of passive loads with long or very long coast down times. This can also be a protection against dips or short interruptions.
- Automatic restart always implies safety conditions, which are the responsibility of the user.

B.6.2 Voltage fluctuation

Interharmonics can cause flicker on lighting equipment, as explained in B.4.3, and compatibility levels are given in IEC 61000-2-2, in IEC 61000-2-4 or in IEC 61000-2-12 according to the type of network. Interharmonic emission of an EUT should be limited in such a way that the calculated interharmonic voltage at the IPC, due to a given EUT, does not exceed 80 % of the voltage compatibility levels.

EUTs driving large loads such as punch presses, flying saws and machine tools will require large currents from the mains periodically. This will cause voltage fluctuations of the mains voltage. The source impedance of the mains supplying these EUTs should be sized so that the voltage fluctuation does not exceed the 10 % tolerance.

Peak loads that on average do not exceed the ratings of the supply system but will produce deviations of the supply voltage that exceed the tolerance should also be considered when sizing this impedance. On the public network, the voltage fluctuation from a single piece of equipment is not supposed to exceed 3 %. If fluctuations are frequent, flicker limits should be applied to the public network and to any network which supplies a lighting load (see 6.3.2).

Annex C (informative)

Reactive power compensation – Filtering

C.1 Installation

C.1.1 Usual operation

A user of electricity, supplied by a distribution network, generally has several or many apparatuses finally connected at the same PCC. The term "installation" is used to describe the combination of apparatus, equipment or systems and their feeding systems which are connected at the PCC.

In the same way, many industrial apparatuses include more than a single EUT.

A discussion of power factor, reactive power and harmonic emission of a single EUT is not sufficient and can cause unnecessary technical difficulties. In reality, the solution which is required is a solution for the installation. The installation contains many different loads.

C.1.2 Power definitions under distorted conditions

Under distorted conditions, there is an extension of the definition of power compared to sinusoidal or non-distorted conditions. The total apparent power S , to which an electrical component is subjected, is defined in balanced three phase systems as follows:

$$S = 3 V I = 3 \sqrt{\sum_1^{\infty} V_k^2 \sum_1^{\infty} I_k^2}$$

Due to the presence of high-order harmonics of voltage and current superposed to the fundamental, the expressions of the active power P and reactive power Q become:

$$P = 3 \sum_1^{\infty} V_k I_k \cos \varphi_k$$

$$Q = 3 \sum_1^{\infty} V_k I_k \sin \varphi_k$$

and the apparent power is defined as:

$$A = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

This power is different from the total apparent power. In particular, the following relation applies:

$$S^2 = P^2 + Q^2 + D^2$$

where

D is the distortion power and takes into account the power resulting from voltage and current components with different ordinal numbers.

The sum of the squares of the reactive power Q and the distortion power D gives the square of the non-active power N :

$$N^2 = Q^2 + D^2$$

This power is defined as non-active because it is the difference between the square of the total apparent power S and the square of the active power P :

$$N^2 = S^2 - P^2$$

The total power factor λ between the active power P and the total apparent power S seen from the network can be written as:

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

The power factor correction refers to this parameter.

The total displacement factor under distorted conditions, $\cos\phi$, is an extension of the usual displacement factor under sinusoidal conditions, and is defined as:

$$\cos\phi = \frac{P}{A}$$

If there is no distortion in the waveforms of voltage and current, both displacement factors coincide.

In order to express the influence of the distortion power D , a distortion factor $\cos\psi$ can be introduced and defined as:

$$\cos\psi = \frac{\lambda}{\cos\phi} = \frac{A}{S}$$

C.1.3 Practical solutions

C.1.3.1 Common practice

It is well-known that, to avoid overrating of the installation and an unnecessary increase of the current flowing in the distribution network, it is necessary to work with a good power factor. But practical use considered this power factor only from the reactive power point of view; in fact, it has been seen here that harmonic content is also concerned.

It has usually been the case that an industrial installation consumes reactive power. Therefore, it has also been usual to install a global compensation in order to reduce the displacement factor and so reduce the installation's consumption of reactive power. In order to do that, capacitors were installed whether close to the consumer of reactive power, or globally close to the PCC. In some countries, utilities introduce taxes for that displacement factor, particularly when the distribution network is heavily used.

C.1.3.2 Evolution of common practice

Because power factor is of concern and because of increasing use of distorting loads, harmonic compensation is also necessary. This harmonic compensation can be performed globally with filtering of the complete installation or locally with filters close to the distorting loads. It can also be better to use non-polluting loads.

From this introduction, it can be seen that two types of compensation are necessary: displacement factor and current harmonic content. Two methods can be used for each of these compensation types: a global approach for the total installation or a local approach for each distorting load. Four cases can be seen, but none is independent, so this problem should be discussed in more detail.

C.1.4 Reactive power compensation

C.1.4.1 General compensation criteria

Power factor correction equipment is composed of capacitor banks connected to the power line by electromechanical or static contactors. The following covers phenomena related by use of capacitor banks connected by electromechanical contactors.

The size of the capacitor bank to be installed is a function of the active and reactive power compensation needed by the system, and also of their variation during the day (load-time characteristics). It is also a function of the pricing practice of the distribution network operator and the electricity "supplier".

The correction is frequently defined with the mean value of energy consumption (active and reactive) during the heavy-duty times of the day, within a one-month period.

NOTE The concept of reactive energy used in Annex C is defined by the time integral of the reactive power.

For rating, it is necessary to know the criteria defined by the distribution network operator and electricity "supplier":

- heavy duty times in a day;
- limits of reactive power ratio free of charge (for example $\tan \varphi$);
- user data such as load-time characteristic.

It can be seen that correction of reactive power consumption cannot be constant nor permanent. A permanent correction would actually lead to reactive power injection in the supply network at certain times. The result would be an increase of the voltage in the user's installation which is not necessarily an advantage. Such a study is of concern for a complete installation and almost impossible for each EUT.

Another point is that capacitors can be installed either on the low-voltage side or on the medium-voltage side. Common practice shows that the installation on the MV side has an economical advantage, as soon as reactive power correction reaches 600 kvar. For lower ratings, the LV side should be preferred.

If power factor correction capacitors are to be installed in networks with harmonic current sources, it is recommended that reactors should be added in series with the capacitors. This is so that the resulting resonance frequencies are shifted below the lowest frequency of the characteristic harmonics, normally the 5th (see C.1.4.4).

C.1.4.2 Application to low-voltage correction

C.1.4.2.1 Different solutions

According to local conditions, three types of correction can be defined (see Figure C.1):

- individual apparatus correction;
- section correction;
- global correction.

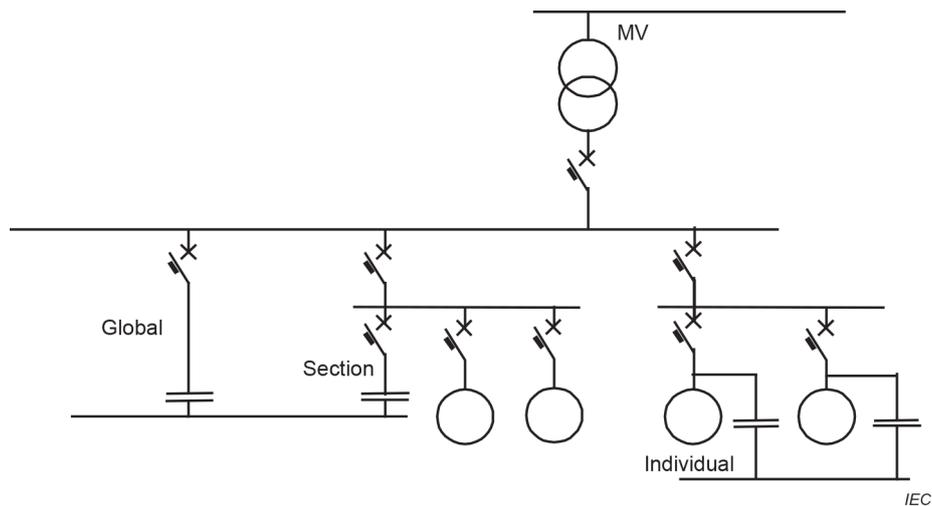


Figure C.1 – Reactive power compensation

C.1.4.2.2 Individual compensation – for motor directly coupled to network

Individual compensation is particularly advisable when a fixed speed motor rated higher than 25 kW exists and if it is to be run for the majority of working hours. This applies in particular to motors driving high-inertia machines, such as fans. The operating switch of the motor automatically connects or disconnects the capacitor. It is advisable to verify that there is not a risk of resonance.

- Advantages:** The reactive energy is produced directly at the point at which it is consumed. A reduction in the reactive current load results along the whole length of the power supply cable. Individual compensation thus makes the most important contribution to the reduction of apparent power, and of voltage drops and losses in the conductors.
- Disadvantages:** The individual compensation is relatively costly, several small capacitors being more expensive than a single large capacitor bank. When the capacitors are connected, they raise the voltage of the plant network locally. It would thus seem necessary to be able to disconnect them during periods of low load (and therefore increased voltage) in the public network in order to reduce the voltage. Indeed, a high voltage would entail the risk of placing excessive stress on the equipment, thus causing its premature ageing. The capacitors should consequently be connected, if possible, to the network by means of their own switchgear. Another important disadvantage is that the proliferation of capacitors in an industrial network increases the risks of resonance. All these factors significantly reduce the potential advantages to be gained from individual compensation.

C.1.4.2.3 Compensation by section

In the case of compensation by section, a single bank of capacitors, operated by means of its own switchgear, compensates a group of consumers of reactive energy located in a workshop or in an area.

- a) Advantages: The compensation by section requires less investment than individual compensation. However, the load curves should be well-known in advance to enable correct sizing of the batteries of capacitors and to avoid the risks of overcompensation (when the reactive power supplied is greater than that required), which produces permanent overvoltages, leading to premature ageing. The bank of capacitors have their own switchgear, thus making it easy to disconnect them during periods of low loads on the public network, even when the corresponding power consumers remain connected.
- b) Disadvantages: The power supply cables of the various power consumers should be sized to carry both the reactive and active currents. In addition, provision should be made to protect the capacitors (for example fuses, circuit-breakers, etc.), and discharge them for safety purposes (discharging resistors) during maintenance operations. The fuses should also be regularly monitored.

C.1.4.2.4 Global compensation

In the case of global compensation, the production of reactive energy is concentrated at a single point, most frequently in the substation, or in an area which is sufficiently large and well-ventilated. In installations which have only small power consumers, it is generally advisable to adopt automatically controlled central compensation, again so as to avoid overcompensation. Where the load curve shows little fluctuation, it is necessary merely to engage the whole battery during the periods of operation of the installations.

- a) Advantages: The capacitors have a good utilisation factor, and the installation is easier to monitor. In addition, with automatic control by the capacitor bank, the load curve of the plant can be followed effectively, while avoiding manual intervention (i.e. manual engaging and disengaging). This solution is potentially beneficial from an economic point of view if the load variations are not attributable to specific power consumers.
- b) Disadvantages: The installations downstream of the global compensation connection carry all of the reactive power.

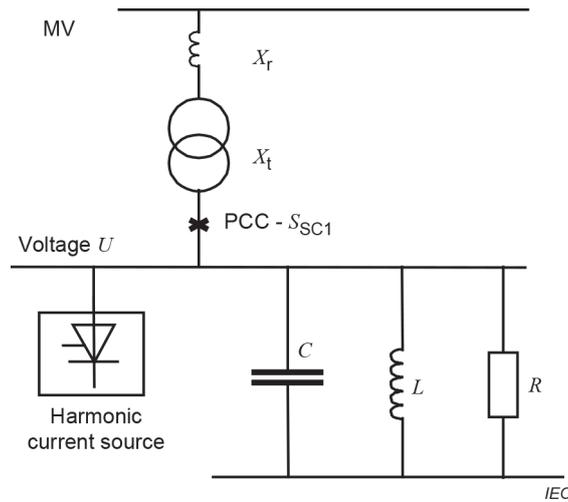
C.1.4.3 Application to medium-voltage correction

Compensation is generally carried out on a centralised basis. The capacitors are grouped in banks in the medium-voltage substation. The banks are connected to the medium-voltage bus via a circuit-breaker. Their power can reach several megavars (Mvar), and they can be divided into smaller sections which are brought into operation successively in order to obtain optimum compensation as a function of the daily load curve. Each section is operated by a switch provided for this purpose as a function of daily load curve or on-line control.

- a) Advantages: When the banks of capacitors have power levels greater than 600 kvar, the cost of medium voltage compensation is typically less than that of low-voltage compensation.
- b) Disadvantages: This method of compensation provides no relief to the part of the network which is located downstream of the capacitors. Engaging the capacitor bank causes voltage transients. Operation requires more attention than with capacitors in the low-voltage section.

C.1.4.4 Risks of resonance

Risks of resonance are due to the simultaneous presence in a network of capacitors for compensating reactive power and sources of harmonic currents comprising static converters. A simplified single-line diagram of a network, including a passive load R-L and a battery of capacitors compensating the load on a global basis, is shown in Figure C.2.



Key

- P active power of the passive load and losses
- Q reactive power of the passive load
- X_r impedance of power supply network of short-circuit power S_{sc0}
- X_l impedance of transformer of apparent power S_N (reactance x_{sc})
- PCC point of common coupling on the secondary bus with short-circuit power S_{sc1}
- R, L resistance and reactance corresponding to the active and reactive power P and Q of the load
- C capacitor for compensating reactive energy of power Q_{cond}

Figure C.2 – Simplified diagram of an industrial network

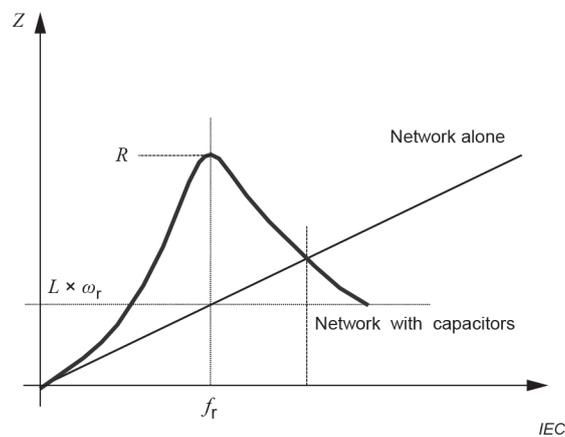


Figure C.3 – Impedance versus frequency of the simplified network

Figure C.3 illustrates the changes of the harmonic impedance of the network at the PCC and the risks of resonance associated with the presence of a source of harmonic currents. The upstream impedances X_r and X_l contribute to a reduction in the short-circuit power available at PCC from the value S_{sc0} to the value S_{sc1} :

$$S_{sc1} = (1/S_{sc0} + X_{sc}/S_N)^{-1}$$

Therefore, Z_h , the equivalent harmonic impedance of the network at the PCC, for harmonic order h , has the following value:

$$Z_h = (h U)^2 [(h^2 Q_{\text{cond}} - S_{\text{sc1}} - Q)^2 + h^2 P^2]^{-1/2}$$

and the resonant frequency is:

$$f_r = f_1 [(S_{\text{sc1}} + Q)/Q_{\text{cond}}]^{1/2}$$

where

f_1 is the frequency of the fundamental.

Figure C.3 shows the variation in the impedance Z_h as a function of frequency, and the impedance of the network only due to X_r and X_t . Note that Z_h shows an amplification at the resonant frequency f_r compared to the impedance of the network alone. Examples of network impedance and damping considerations are given in IEC TR 61000-3-6.

When, at certain harmonic frequencies, the network impedance is high and injection of harmonic currents arises at the corresponding frequencies, considerable harmonic voltages result, as can be found by applying Ohm's law. There is resonance between the inductive reactors and the network capacitors. This has a variety of consequences.

- a) There is a risk of overloading the capacitors due to the overcurrents flowing through them, particularly due to the high frequencies of harmonics.
- b) There is a risk of breakdown at the terminals of these capacitors due to the considerable harmonic voltages.
- c) A high harmonic voltage at the terminals of an industrial installation can give rise to abnormal operation of apparatus with sensitive electronics and to overheating in motor windings.
- d) The occurrence of harmonic voltages will lead to a generation of harmonic currents in the distribution network and in other customers' installations.

Care should be taken either to reduce the emission of the harmonic current sources, or to install filters. The location of capacitors in an industrial network is thus an important factor in the occurrence of resonances.

Problems of resonance often necessitate a detailed analysis of the electrical network before they can be solved. These problems are not systematic in nature but, when they do occur, their consequences often mean damage to equipment, not to mention the effects of accelerated ageing.

The above analysis is limited to one reactive power compensation circuit. It is pointed out that multiplication of such circuits in a network multiplies the resonance risks.

C.1.5 Filtering methods

C.1.5.1 Criteria

Filtering of an installation is not relevant for this document. The application to EUTs has similar difficulties as that of filtering an installation. Moreover, the analysis developed in C.1.4.2, C.1.4.3 and C.1.4.4 about reactive power compensation could be followed with a similar approach and similar conclusions, only the initial criteria are specific.

When an excessively high-voltage distortion level can be expected, filtering should be applied. The voltage distortion level is assessed according to Clauses B.3 and B.4. A particular EUT to be filtered is known with its conventional harmonic emission characteristics, i.e. levels of harmonic current are known. But this characteristic is not sufficient to define a filter.

A filter generally consists of equipment which is connected to the network and which presents a very low impedance at the particular frequencies which are filtered. Therefore, the filter absorbs harmonic currents of those particular frequencies. However, there is no discrimination between the harmonic current coming from the PDS, and whose preferred path of low impedance is through the filter (instead of the network of higher impedance), and the harmonic current coming from the existing harmonic voltage on the network. The latter current is only limited by the sum of harmonic impedance of the network and impedance of the filter (see Figure C.4). From this discussion, it can be seen that designing a filter is a rather complex affair which requires the knowledge of the three basic parameters:

- current to be filtered, the origin of which is the EUT (responsibility of the manufacturer of the EUT);
- existing harmonic voltage (compatibility levels could be chosen but would generally lead to overrating of the filter);
- harmonic impedance at the PC (responsibility of the operator of the distribution network, who is the user inside the factory in case of IPC, or the operator of the public distribution network in case of PCC).

The design of such filters requires exchange of information between the system supplier and the user.

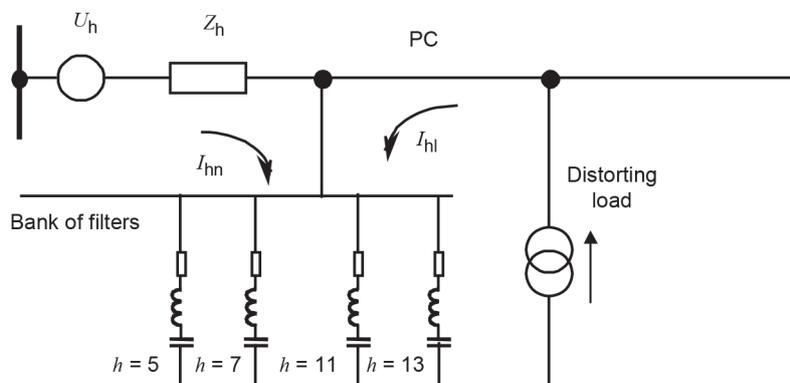
It is important to note that knowing the harmonic voltage is of no use if the harmonic impedance is unknown. Often, preliminary measurements of voltages and impedance are needed for a correct rating of the filter.

Finally, the risk of multiple resonances is pointed out for similar reasons which have been developed in C.1.4.4.

C.1.5.2 Passive filter

The most traditional filters are resonant circuits (inductance and capacitors in series) or damped circuits by addition of resistors or more complex structures adding poles and zeros to the impedance of the filter.

A filter presents a very low impedance at a particular frequency which is a multiple of the power frequency. A bank of filters using different resonant circuits in parallel provides filtering of several harmonic orders 5, 7, 11, and 13 for example (see Figure C.4). They also may include high pass circuits. They are designed for a fixed power frequency and, in particular when they are only slightly damped, the effectiveness of the filter is dependent upon the stability of the power frequency.



IEC

Figure C.4 – Example of passive filter battery

Note that filtering of interharmonics requires damped filters and is only efficient in a narrow band of frequencies.

Two main phenomena are pointed out regarding the risk of resonances.

- A resonance generally exists at a frequency which is a little bit lower than the tuning frequency. It is necessary to verify that this will not affect the ripple control or mains signalling which can be used on the network. The manufacturer will not know the details of the signalling present at the user's location. Therefore, the user, with help from the distribution network operator, should inform the manufacturer of such possible mains signalling and the characteristics of the carrier frequency.
- Filtering of each EUT multiplies the risk of resonances, and the result can affect a large part of the installation. Generally, only a case by case analysis can get rid of these difficulties, which is the reason why a global compensation should be preferred.

C.1.5.3 Location of the filter

In the case of an individual filter, the filtering equipment should be as close as possible to the distorting EUT.

However, with the preferred method of global compensation, the location and structure of the filter should be chosen in regard to the parameters of the installation:

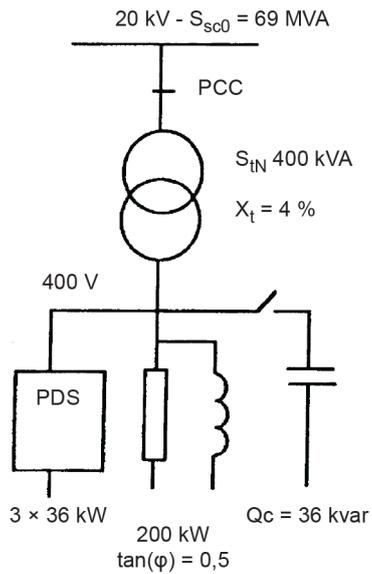
- natural uncoupled sections in the network;
- other distorting EUTs or distorting loads with their distorting characteristics, i.e. conventional harmonic current emission;
- impedances of the distribution network particularly presence of long lengths of cable, or reactive power compensation circuits (see Clause C.2).

C.2 Reactive power and harmonics

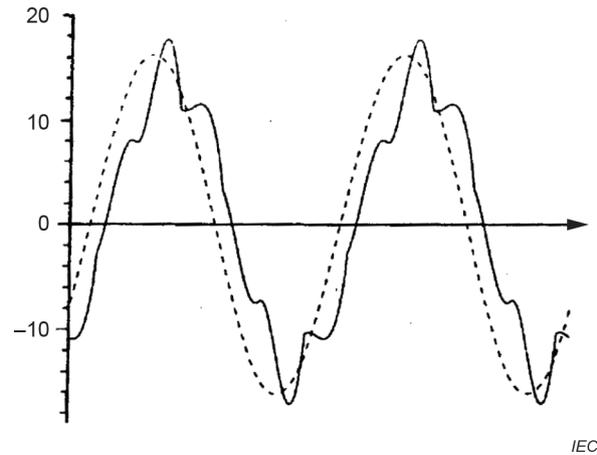
C.2.1 Usual installation mitigation methods

As indicated in C.1.1, reactive power compensation and harmonic current filtering techniques are quite linked, so they cannot be correctly applied independently.

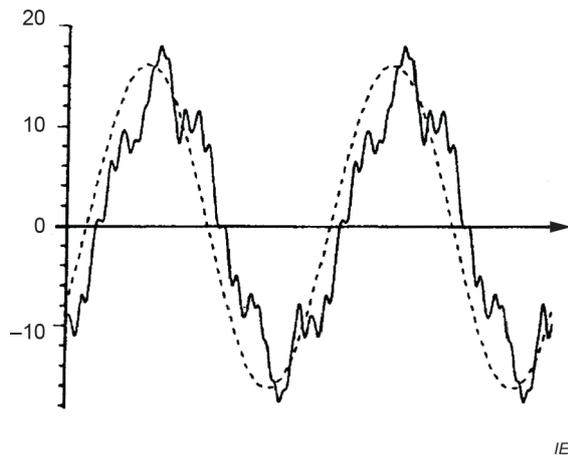
Referring to C.1.4.4, the risk of resonance exists as soon as a capacitor is connected to a network which is naturally inductive. Electric cables also introduce capacitances into a network. The example illustrated in Figure C.5 a) shows a capacitor compensating reactive power. Figure C.5 b) shows the current at the PCC when the capacitor is disconnected. When the capacitor is connected, the harmonic currents at the PCC are increased, as shown in Figure C.5 c). Significant harmonic currents also flow to the capacitor, as shown in Figure C.5 d).



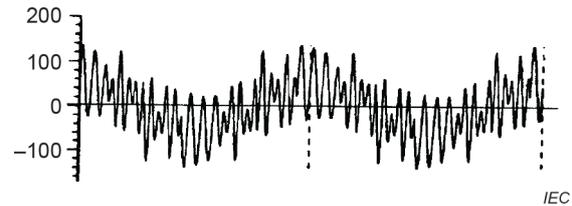
a) Circuit diagram



b) Waveforms at PCC when Q_c is not connected



c) Waveforms at PCC when Q_c is connected



d) Current in Q_c

Key

- solid line current in amperes
- dashed line line to neutral voltage in kV

Figure C.5 – Example of inadequate solution in reactive power compensation

It can be seen in Figure C.5 a) to d) that the problem is complex with only one capacitor and increases with the number of capacitors used for compensating reactive power. The multiplication in a network of capacitors for passive filtering, and for compensation of reactive power as well, increases the number of possible resonance frequencies. Therefore, global compensation, taking the whole system into account, will show the best results.

Moreover, proceeding separately to reactive power compensation and to filtering increases the risk of over production of reactive power. Actually, efficient passive filtering also produces a significant amount of reactive power. Therefore, considering both phenomena together gives the opportunity to define a better solution by designing optimum equipment for the whole installation.

C.2.2 Other solutions

C.2.2.1 General

The main drawback of passive filters is often their inability to adapt to network changes and filter component variations (ageing, temperature, etc.). A passive filter is efficient if its impedance at given frequency is very low compared to that of the source. However, in certain cases, compensation becomes difficult if the source (i.e. the network) impedance is low or if the filter frequency characteristics are not accurately tuned to the harmonics generated by the load. But, above all, the most serious problems are series or parallel resonances with the network which can occur.

Consequently, both for the distribution network operator and/or the user, other compensation methods can be required to make optimum use of the energy drawn from the network. New solutions, offering better performance, are under consideration and some have already reached the production stage. These solutions are active power filters, and non-polluting EUTs including power factor correction network controls.

C.2.2.2 Active filters

All active filters have been developed based on the active PWM converters. They can be divided into two types, regardless of the configuration topology.

- Power factor correction converters (PFC) normally used for low power applications. These do not have any influence on the active power, or the ability to operate as rectifiers. They work in DC and are in cascade with AC-DC converters.
- Active infeed converters (AIC), often known as active front end (AFE). These are AC-DC converters which can pass active power as well as influencing the reactive power. AICs operate in four quadrants. They can be classified as current source inverters (CSI) or voltage source inverters (VSI). The CSI PWM modulated bridge inverters behave as a source of non-sinusoidal current and have current harmonics due to non-linear loads. They have an inductance on the DC bus which ensures the circulation of a continuous current in the DC link. CSI inverters have a good reliability but have large losses and require high values of capacitive filters in parallel to the network terminals, to eliminate the unwanted harmonic currents. Furthermore, CSI inverters cannot be used in a multilevel configuration for high power compensation. The other type of AIC converter is the VSI PWM modulated inverter. This converter is more convenient for active power filter applications because it is lighter, cheaper, and extensible to multi-level and multi-phase versions, in order to improve its performance for power factor correction for higher powers and lower switching frequencies. The VSI PWM modulated shunt inverter can be connected to the DC bus through a coupling reactor and an electrolytic capacitor that maintains a constant voltage at its ends and free from ripple. Active filters can be classified taking into account the type of converter, the control scheme and the characteristics of compensation.

From the topological point of view, active filters can be shunt type or series hybrid, the latter intended as a combination of passive and active compensation. The active shunt filters are used to compensate the harmonic currents, reactive power and unbalanced loads.

The shunt active filters, shown in Figure C.6 a), compensate current harmonics by injecting equal but opposite harmonic current. In this case, the active filter operates as a current source that injects harmonic components that are 180° out of phase with those generated by the load. As a result, the components of the harmonic currents are eliminated by the active filter; and the current flowing from the source (AC generator) remains sinusoidal and in phase with the relative phase to neutral voltage. This principle is applicable to any type of load considered as a source of harmonics. Furthermore, with a control system of this type, the power active filter can also compensate the power factor of the load. The energy distribution system sees the combination of non-linear load and active filter as an ideal resistor.

The series type active filters, shown in Figure C.6 b), are connected in series between the load and the mains network. The series active filter is frequently connected through a transformer type coupling.

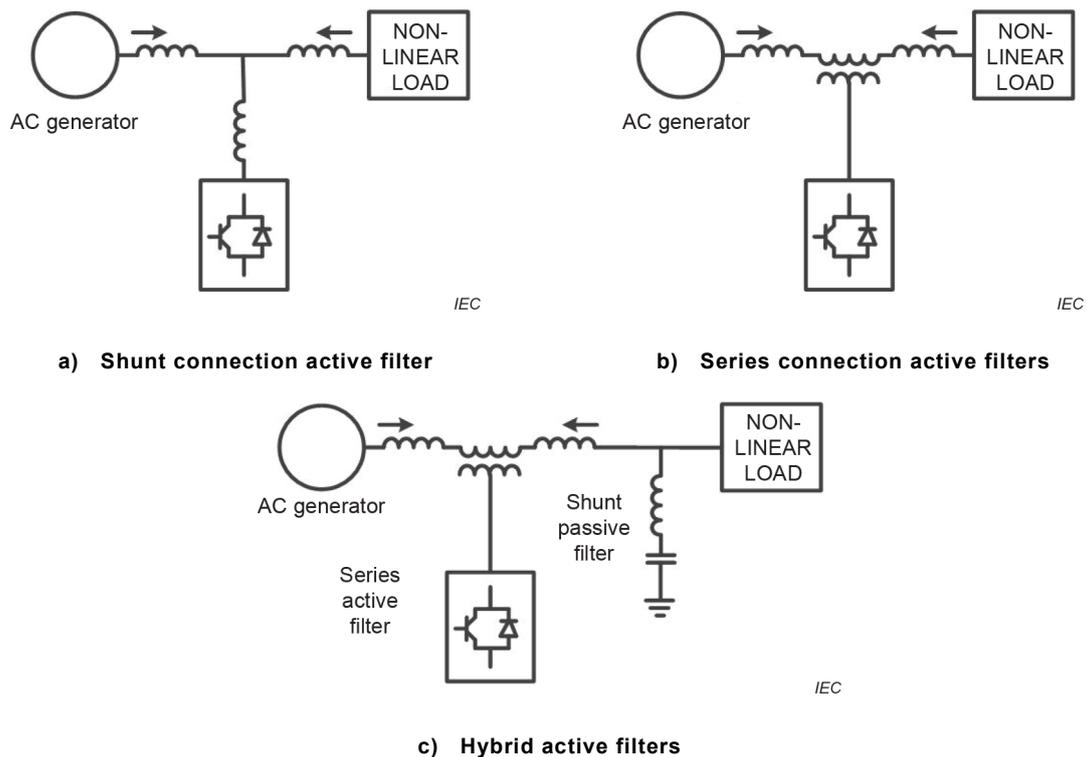


Figure C.6 – VSI PWM active filter topologies

The hybrid configuration, shown in Figure C.6 c), is a combination of a series active filter and a shunt passive filter. This topology is suitable for reactive power compensation of high-power systems, because the power rating of the active filter as the PFC is a small percentage (about 10 %) of the power rating of the load. Most of the hybrid filter is formed by the shunt passive filter LC, used to compensate the lower order harmonics and reactive power.

The active filter for the compensation of the harmonics and the reduction of the phase shift is located, regardless of the connection, between the network and the non-linear load and is often made by placing a switching converter between the input rectifier and the storage capacitor. The control is carried out so that the input current follows the input voltage. The most widely used type of switching circuit is a boost converter. It does not mean that the converter operates in boost mode, i.e., step-up, but only that the circuit is boost type of circuit. See Figure C.7.

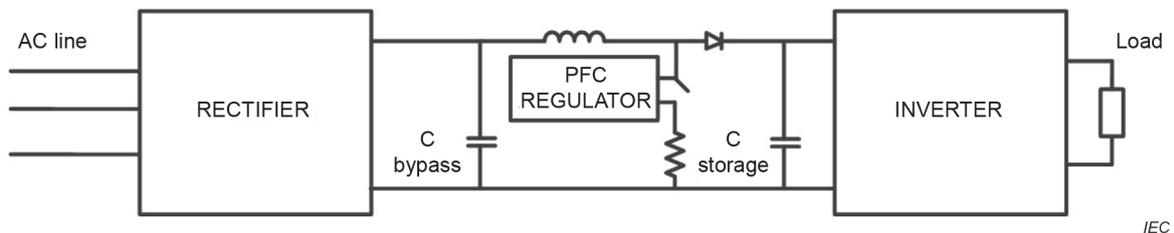


Figure C.7 – Boost mode converter

The PFC changes a distorted waveform to build a sinusoidal current that is in phase with the input voltage. There are various techniques to achieve a sinusoidal waveform of the input current with low distortion, i.e. with low harmonic content.

In the PFC boost circuit, the inductor is in series with the AC power line. Therefore, the current input to the rectifier block is not a pulse waveform. The use of PFC includes the active regulation of the waveform of the input current I_1 , the filtering of the switching frequency, feedback sensing of the current source for the control of the waveform and the feedback control for output voltage regulation.

An active PFC has a higher efficiency and is significantly smaller and lighter than the passive filter. In fact, it can operate at a higher switching frequency than the line frequency, allowing a strong reduction of the size and cost of passive filter elements.

C.2.2.3 Active infeed converter

The term "active infeed converter" (AIC) refers to a power converter placed on the network side with switching components such as IGBTs. The system includes, in addition to the front end, a bank of DC link capacitors and a load side inverter. The front end works as a rectifier, but during a regenerative mode can operate as an inverter feeding the network with recovered energy.

During periods when the energy flows from the network to the load, the converter operates as a rectifier with voltage AC input and voltage DC output. It works as a step-up chopper as the voltage on the DC link might be higher than the peak voltage of AC grid. The requirement of a constant voltage on the DC link is present both in rectifier and inverter operations. The voltage ripple can be reduced by placing the capacitor bank on the DC link.

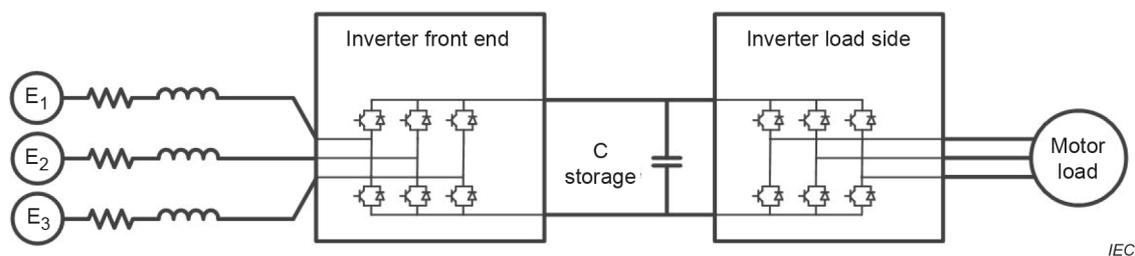


Figure C.8 – Front-end inverter system

Figure C.8 shows the system with the two converters, including the presence of the inductance necessary for boost operations in the line side. Additional filtering may be necessary on the mains side to comply with compatibility levels at the PWM frequency and its harmonics (see IEC TS 62578). An AIC can be considered as a synchronous voltage source connected in shunt mode and a compensator together with an element that can store energy such as the capacitor in the DC link. Because of its ability to regulate energy, the AIC has some advantages used to maintain compatibility levels required by the network.

These capabilities can be summarized as follows.

- The maximum achievable compensation is limited only by the value of the maximum permissible current of the switches and the ratio between the AC voltage and the DC link voltage. The AIC can keep the maximum value of volt-amperes reactive compensation and the desired voltage on the DC link even in the presence of severe dips in the mains voltage.
- The AIC can operate over the whole range of current, even with voltage reduced. Sometimes it can tolerate network voltages reduced even by 20 %.
- By doing so, both with the elimination of harmonics and production of reactive currents, it increases the margin of stability in presence of failure.
- The response time of an AIC, acting as a compensator, can be a fraction of a half cycle (10 ms). By comparison, in the case of controlled thyristors, the dynamic response time is as long as 5 to 6 cycles.
- The control strategy allows the AIC to exchange active and reactive power to and from the system to the AC line.

- Due to the ability to exchange active power, the AIC can be used to adjust the damping of oscillations in the secondary winding of a transformer.

C.2.2.4 Application

The costs of such systems are or can be an important part of the costs of the distorting loads that they correct (PDSs or others). This should be understood regarding investment, operation and maintenance as well. Note that operation generates costs with increasing losses and also gains with decreasing reactive power consumption. Costs are balanced with the technical objective which does not allow any alternative to "ensure EMC" (i.e. compliance with compatibility levels).

Another point is that the compensation can be global, local or combined more easily than with passive solutions because of reduction of resonance risks.

Last but not least, these active solutions increase the number of commutating electronic power devices and are responsible for an increase in high-frequency emissions.

The ideal solution does not exist, and all these elements should be considered. However, the definition of the solution of a particular problem should take into account the particular environment of this problem. The particular environment belongs to a generic class but is refined by the very knowledge of the industrial conditions in each case.

Annex D (informative)

Considerations on high-frequency emission

D.1 User guidelines

D.1.1 Expected emission of BDM/CDM/PDS/MTs

D.1.1.1 PDS and its components

In industrial environments, or public networks which do not supply buildings used for residential purposes, the customers who use PDSs on these networks have a general technical competence and are aware of EMC phenomena.

When selling the components of a PDS, the manufacturer cannot build-in mitigation methods against radio interference, because they are not aware of the EMC boundary conditions of the final installation. Moreover, the user of the components should have a free decision from the economical point of view, to use global or local filtering or screening methods, natural mitigation through distances, or the use of distributed parasitic elements of the existing installation, to achieve electromagnetic compatibility in a case-by-case manner.

D.1.1.2 Mains terminal disturbance voltage

The methods and values of quantitative judgement to achieve EMC are well-described in the normative part of this document. The level of mains terminal disturbance voltage in the frequency range of 150 kHz up to 30 MHz is important information for the user of an unfiltered EUT, in order to evaluate possible mitigation methods.

The following results showed in Figure D.1 are based on measurements made on converters, mainly PDSs, located in various countries in 2012. For an evaluation of the range of emission levels which can usually be expected, the frequency range was divided into the three usual parts (CISPR 11:2015: 0,15 MHz to 0,50 MHz; 0,50 MHz to 5,0 MHz and 5,0 MHz to 30 MHz), and the maximum level from each EUT in every part was recorded as representative of that section. The measurements were made using quasi-peak detectors. Different load conditions (light load and maximum load), different rated input voltages (400 V to 690 V) and different rated powers (75 kVA to 1 000 kVA) were measured.

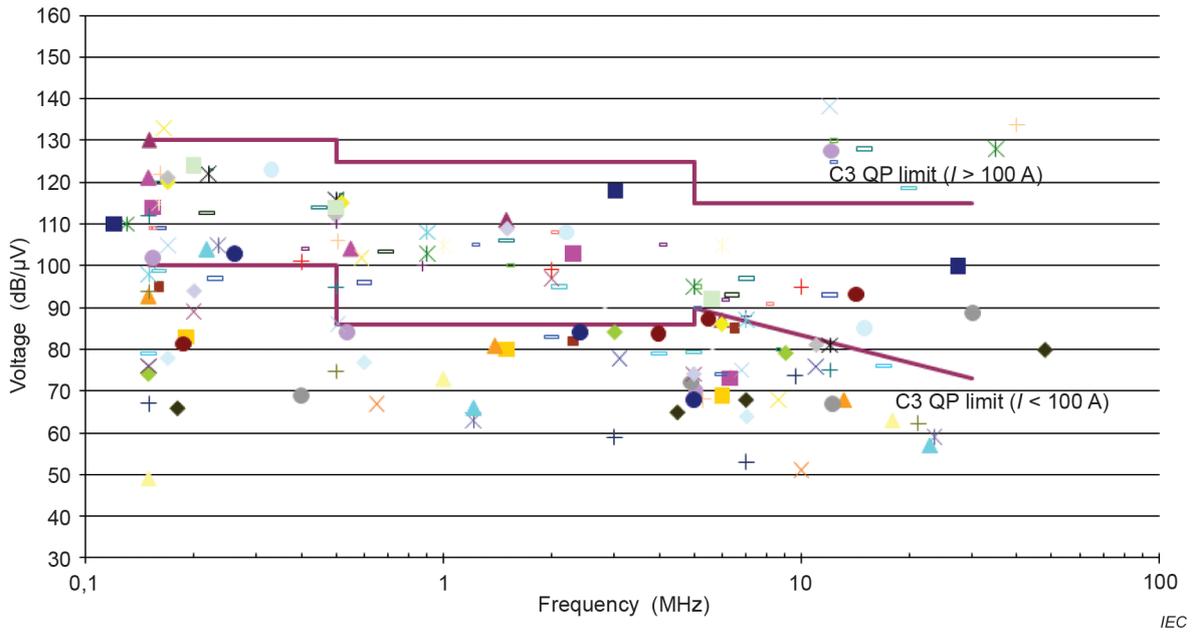


Figure D.1 – Conducted emission of various unfiltered EUTs

In most cases, this equipment is used without interference, but mitigation methods (for example HF filtering) should be taken in the vicinity of a radio-receiver or of a sensitive apparatus, such as for very low-voltage measurements.

D.1.1.3 Radiated disturbances

Measurements related to the radiated emissions have not been deeply investigated due to the lack of complaints in this range. However, what can be expected from the equipment is shown in Figure D.2. The evaluated results represent measurements corrected to peak values at 10 m measuring distance for EUTs with or without different applied mitigation methods.

The continuation of the expected disturbance voltage ranges from Figure D.1 in the area above 30 MHz is only a rough approximation with very few representative values but could show enough data to explain why there is a lack of complaints. As can be seen from this figure, the mean values of radiated emissions above 100 MHz are frequently crossing below the limits of CISPR 11:2015 without mitigation methods.

An analytical approach is not presented in this range. The reason for that is the main sources of radiated emissions in most of the cases are the microprocessors or some active driven power supplies within the equipment and not the main power electronics of the converters at all.

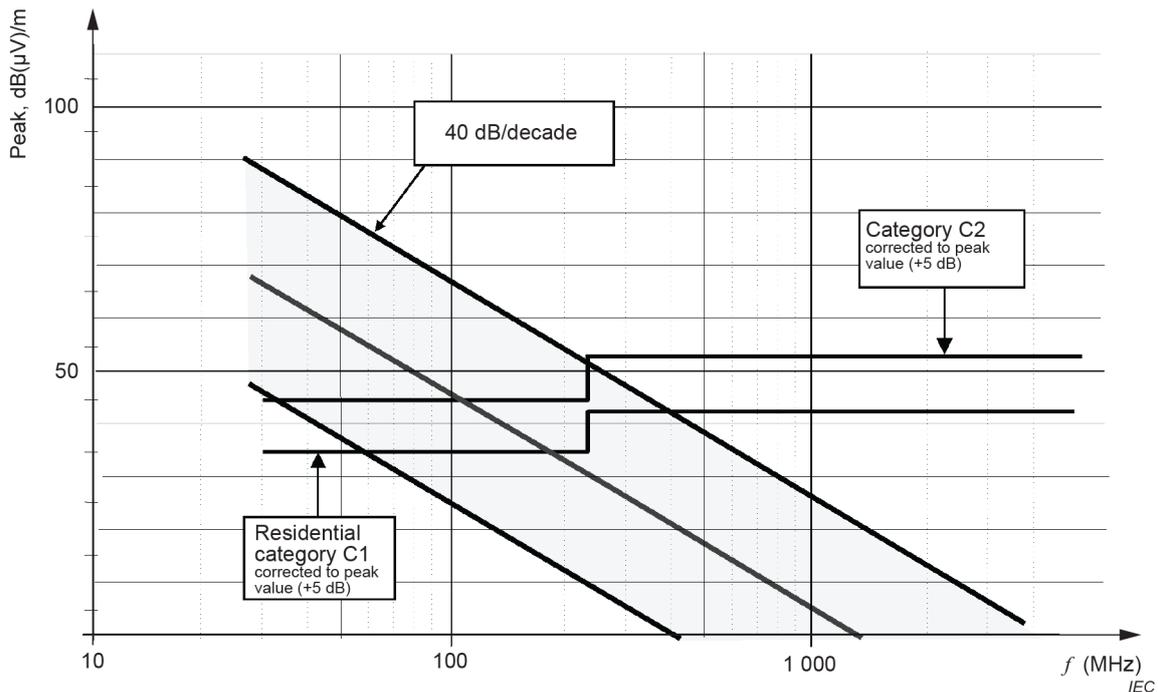


Figure D.2 – Expected radiated emission of EUT up to rated voltage 400 V – Peak values normalised at 10 m

D.1.1.4 Emission from the power interface

The emission from the power interface is mainly due to common mode voltage. The common mode voltage on the power interface can have a high dv/dt . This high dv/dt induces current in the stray capacitance of both the cable and the electrical load (generally, the electrical load consists of the windings of the armature of a motor). These stray currents come back to their source through earth and either the supply network or input filters of the corresponding converter. Therefore, the emission from the power interface is linked with the disturbance voltage which is measured on the power port.

D.1.2 Guidelines

D.1.2.1 Public low-voltage network

The potential effects of the disturbances produced by an EUT depend upon the environment in which the EUT is used.

In some countries, small commercial or light industrial premises can be supplied by a public low-voltage supply which also supplies residential premises. In this system, there is no galvanic isolation between the three-phase input terminals of the EUT in the commercial or light industrial premises and the mains supply sockets in the residential premises.

Where an unsuppressed EUT is directly connected to a public low-voltage supply which supplies residential premises, there is a significant risk of disturbance to radio and television reception. In this environment, it is strongly recommended that the mains input of the EUT be filtered. Therefore, the user should select an EUT which complies with the appropriate limits given in 6.4.

D.1.2.2 Industrial locations

In an industrial location, not on a public low-voltage supply, the common practice for many years has been to use unfiltered EUTs. In general, these have worked correctly and have not disturbed other equipment. This has been shown by a general lack of complaints about radio interference in industry. Therefore, they are compatible.

If problems do occur, they are likely to be due to the conducted disturbances from the EUT. These disturbances propagate along the supply and motor cables and can be coupled into other equipment by conduction, inductive or capacitive coupling, or radiation.

There can be problems if an unfiltered EUT is used in close proximity to particularly sensitive equipment. However, an EUT may not be the only source of disturbance and the sensitive equipment is usually of lower power rating than the EUT. Therefore, improving the immunity of the sensitive equipment can be a more economical solution than filtering the emissions from the EUT.

Problems are usually prevented by following normal installation guidelines, involving segregation of signal and power cables. If these are insufficient, either the immunity of the victim should be increased or the emissions from the EUT should be reduced, depending on which is the most economical solution.

Equipment damage is likely to occur if an EMC filter designed for the mains input of equipment is connected on the power interface between the BDM/CDM and the motor. It is likely that the capacitors in this filter would be damaged by the fast switching edges present on the BDM/CDM end of this interface.

If a shielded or armoured cable is used for the connection between the BDM/CDM and the motor without the BDM/CDM input being filtered, the coupling from the motor cable will decrease, but the conducted disturbances in the mains supply will increase, due to the capacitance of the armoured cable. Therefore, if a shielded or armoured cable between BDM/CDM and motor is being used to solve an EMC problem, a filter should be connected to the mains input of the BDM/CDM. However, minimising the length of the motor cable will generally assist in reduction of radiated emission of this cable.

Since filtering would cause safety problems in systems which are isolated from earth, the only solution in this case is to ensure that other equipment has sufficient immunity for this environment. In the case of systems in which one live line is connected to earth (known in some countries as "corner grounded" systems), the Y-class (line-to-earth) capacitors should be rated for the full line-to-line voltage.

D.1.2.3 Categories C1, C2 and C3

The manufacturer should provide the information necessary for the user to select the correct emission category and to install the equipment correctly. This information should include clear instructions on the installation of any filters supplied as loose items. If special cables are required, this should also be stated.

Cabinet builders often use insulation withstand tests to check the quality of their wiring. However, an EMC filter is usually less able to withstand this test than the power converter. Therefore, the manufacturer should provide clear instructions on this subject to the user.

If the EUT is unsuppressed or is of a high emission category, the manufacturer should indicate this clearly in the user documentation. In this case, 6.5.1.1 and 6.5.1.3 require that the instructions for use shall include a statement that the EUT could cause interference if used in a public low-voltage network which supplies residential premises.

If the EUT generates commutation notches on the input, this should be indicated in the user information.

In case of problems, the manufacturer should offer the solution necessary to make the EUT comply with a lower emission category.

D.1.2.4 Category C4

In this case, the user has the technical competence to apply a correct EMC concept for the installation. The manufacturer should provide information about the emission category of the EUT.

The user will be able to select the correct combination of emission category and mitigation measures to provide the most economical solution for the installation.

D.2 Safety and RFI-filtering in power supply systems

D.2.1 Safety and leakage currents

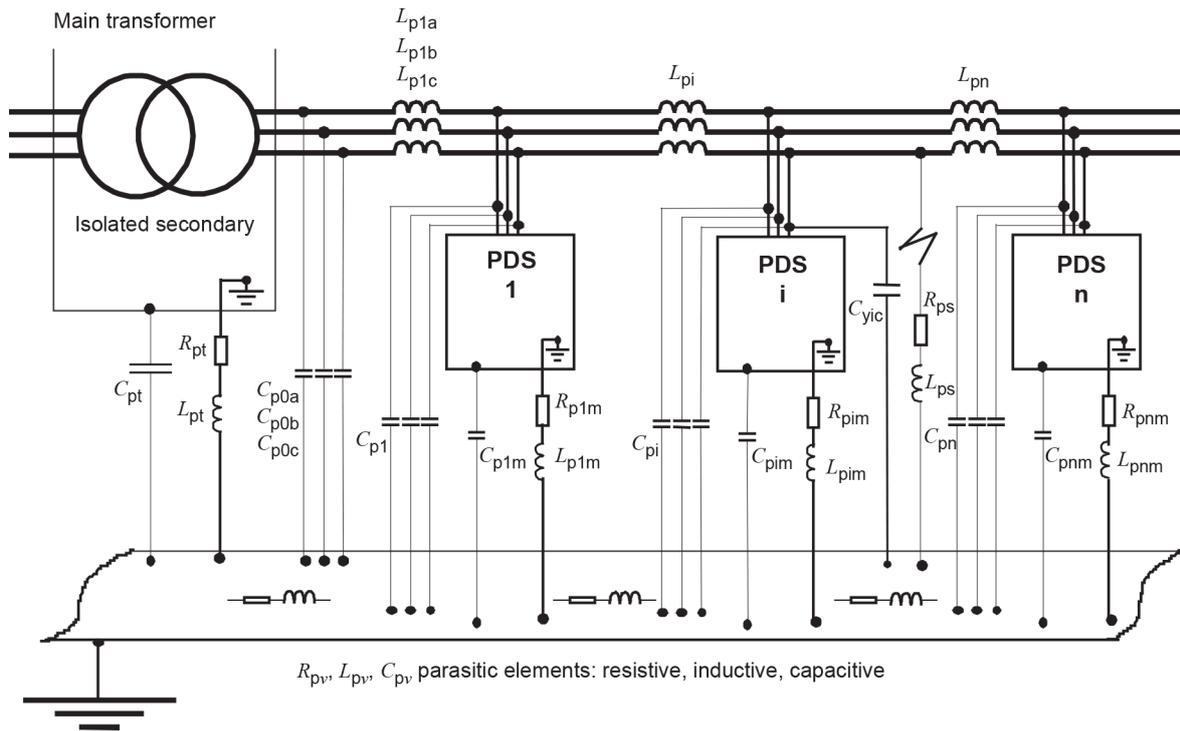
The RFI-filtering sufficient to meet the emission limits is well-known in the state of the art. It is important to consider that the capacitance values and therefore the energy content and finally the effectiveness of Y-type capacitors used for the filters are limited by the normative requirements of safety standards, such as IEC 60065 in the case of plug-in apparatus and IEC 61140 for equipment in general. If the leakage current through this RFI-filtering capacitance to earth is too high, the effectiveness of protective measures with RCDs or RCMs within these supply systems can be compromised.

Safety requirements related to leakage current, including requirements for warnings, are given in IEC 61800-5-1.

D.2.2 Safety and RFI-filtering in power supply systems isolated from earth

In complex processes like rolling mills, bar mills or paper mills as well as centrifugal and auxiliary equipment in the sugar industry, crane equipment and chemical industry, it is useful and state of the art to have a distributed IT power supply system. Even if, for example, the motors are installed outside the building and are exposed to high humidity, it may be necessary to continue the process in spite of one insulation fault to earth. This insulation fault is detected via an insulation monitoring device (IMD) which may be combined with an insulation fault location system (IFLS) according to IEC 61557-9. This measure allows the whole process to be safely run until the next service interval.

This "process safety philosophy" in industrial installations could be disturbed by a lot of parasitic elements as shown in Figure D.3 for example by capacitances C_{pv} between supply network and earth. The resulting capacitance is the sum of all Y-type capacitances and parasitic capacitances. The sum of all C_{pv} can reach values of several microfarads. Any RFI-filtering system would increase this capacitance-to-earth to an extremely high value because of the large number of Y-type capacitances used (for example n -times the capacitors C_Y). With increasing capacitance, it would become more and more difficult and finally impossible to detect an insulation fault correctly.



Several PDS are working together in a complex process with distributed isolated power supply.

IEC

Figure D.3 – Safety and filtering

With RFI-filtering devices (C_y), any insulation fault to earth will cause very high current values to flow through the semiconductor switches within the power drive system. This is equivalent to short circuit conditions in the earthing network on any output failure. This would lead to a tripping of function and releasing of electronic emergency protective devices and finally to an undesired process shutdown with unforeseeable economic consequences.

These are the reasons why RFI-filtering is not compatible with isolated networks of distributed processes and therefore is not discussed in the above-mentioned examples. On the other hand, it can be expected that RFI-filtering would not be very effective in these networks. This is because the return path of disturbance current flow to the disturbing source in systems isolated from earth is only capacitive. It will be hard to define or calculate because of resonances with the parasitic line inductances L_{pv} . Finally, an increase of the disturbance currents flowing through some C_y 's through this less defined path could lead to interference problems with other equipment working on the same supply system.

Annex E (informative)

EMC analysis and EMC plan for EUTs of category C4

E.1 General – System EMC analysis applied to EUTs

E.1.1 Electromagnetic environment

E.1.1.1 General

Following the classification of locations and equipment categories (see definitions in 3.3), a more detailed and adapted description may be conducted. Various approaches may be used to describe the electromagnetic environment (EM environment). The general characteristics of the environment on which compatibility levels may be based should be defined. If electromagnetic compatibility of systems is to be achieved, the immunity characteristics of equipment should be considered together with installation practices and design, physical separation, filtering, and shielding.

According to the types of EUTs, particular classes of environment can be determined.

E.1.1.2 General modelling

A system consists of some subsystems. The existing devices (subsystems) can have two functions: emission and/or susceptibility (Figure E.1).

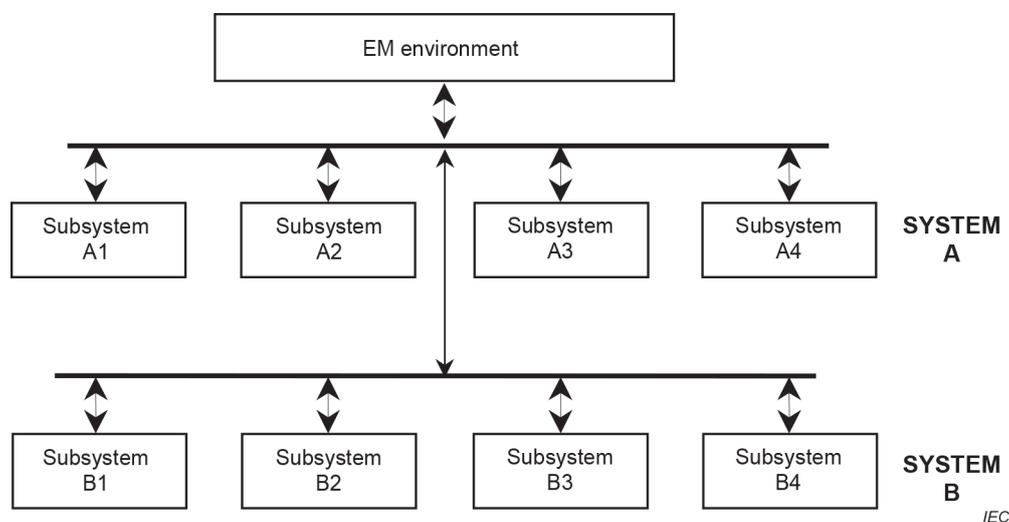


Figure E.1 – Interaction between systems and EM environment

Emitting devices determine the electromagnetic environment. Emission may reach the susceptible devices through various coupling types. General interactions are defined between subsystem i and subsystem j , and subsystem i and the environment. These interactions are defined with a coupling model using various coupling types (common impedance coupling, coupling by induction, and radiation – see Table E.1).

This model helps to define various EMC problems and to define specific limits. Some examples are given in Figure E.1 and Table E.1.

E.1.2 System EMC analysis techniques

E.1.2.1 Zone concept

The system EMC analysis tasks should be performed utilising knowledge of signal characteristics in each subsystem, noise immunity levels of critical circuits, engineering evaluation tests, and consideration of the operational EM environment. Models for sources (transmitters), receivers, antennas, propagation media and coupling paths should be developed as necessary. The objective of the system EMC analysis is to assist in the development of design requirements and procedures to ensure that the drive system meets the EMC requirements.

A zone concept for the drive system or machine tool should be defined based on the operational electromagnetic environment and the susceptibility of subsystems and equipment. Specific performance (acceptance) criteria should be established for each zone prior to each EMC test. These criteria should define the procedure used for the drive system performance during the immunity testing and to detect malfunctions or deviations from specification requirements. The performance (acceptance) criteria for a particular subsystem (or equipment) should be included in the applicable EMC test procedure. The zone concept is illustrated in Figure E.2.

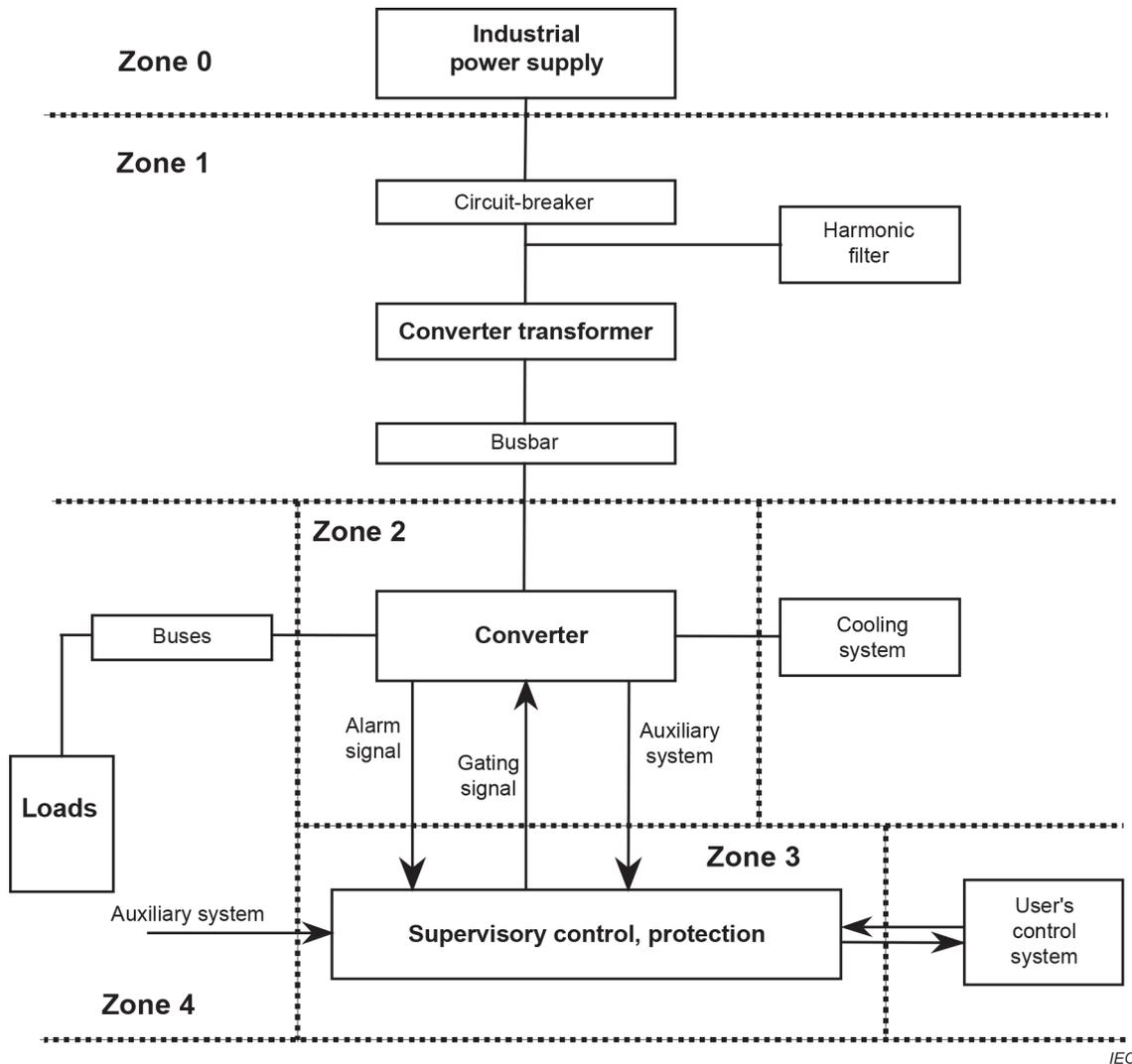


Figure E.2 – Zone concept

E.1.2.2 Interfaces

Table E.1 gives an example of the power interfaces between the subsystems of the EUT (as shown in Figure E.3), and the types of interference (conducted, radiated).

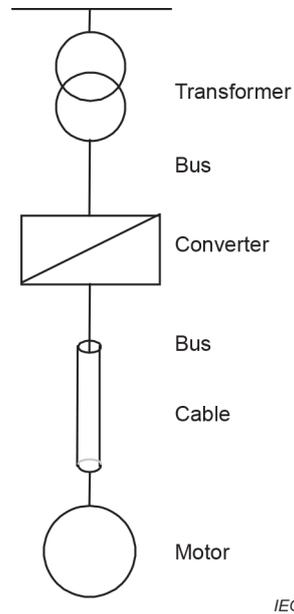


Figure E.3 – Example of drive

Table E.1 – EM interaction between subsystems and environment

Subsystems as EM-source	Subsystems as susceptible device				
	Environment	Transformer	Converter	Cable	Motor
Environment	N/A	CI	CI Rad.	CI	CI
Transformer	CI E, H, Rad.	N/A	CI	N/A	N/A
Converter	CI Rad.	CI	N/A	CI	N/A
Cable	CI Rad.	Rad.	CI Rad.	N/A	CI
Motor	Rad.	N/A	CI	CI	N/A
NOTE Coupling model: – common impedance coupling – coupling by induction CI: both resistive and reactive E: electrical field coupling coupling H: magnetic field coupling N/A: not applicable Rad: radiation coupling					

E.1.2.3 Equipment

The electromagnetic characteristics of each equipment (emission, immunity) and the zone to which it belongs should be determined.

In cases where an EMC plan is required, the form in Clause E.2 can be used.

NOTE This plan is based on IEC TR 61000-5-1.

This EMC plan covers the use of an EUT in a specific installation. The purpose of the plan is to make an EMC analysis at installation level. Based on the EMC analysis, the measures to achieve electromagnetic compatibility will be defined.

E.2 Example of EMC plan

E.2.1 Project data and description

The EMC plan reflects the agreement and the exchange of technical data between the user and the manufacturer. It should define the responsibilities of the manufacturer of the EUT, the installer and the user. The EMC plan is established jointly by all three parties. Any question which is not relevant to the particular application may be omitted.

The EMC plan is divided into two parts:

- Clause E.2 defines the items which should normally be agreed;
- Clause E.3 defines additional items that may be necessary in certain applications.

NOTE The marking N/A is used if the requirement is not applicable. An explanation is provided in such a case.

The example proposed below contains questions, the answers to which can constitute an EMC plan.

Name of manufacturer/supplier
 Name of end user
 Order No. Date

Type of facility (e.g. chemical factory, paper machine, machine tool)
 Application (e.g. pump, fan, conveyor, forming press)
 EMC responsible person(s)

E.2.2 Electromagnetic environment analysis

E.2.2.1 Facility data

Installation location

Description of the neighbourhood (next to the industrial location in which the EUT is installed)
 Residential environment Commercial or light industrial environment Industrial environment
 The distance from the building/room of EUT to a residential location:..... metres
 The distance from the building/room of EUT to non-residential premises: metres

Building and room construction

Type (wood, brick, concrete, steel, aluminium, etc.)

Reinforcement (steel, etc.)	Yes	No
Dedicated room for system	Yes	No

Room layout

Sketch room layout as close to scale as possible. Shows all major equipment: windows, doors, etc.

E.2.2.2 Power and earthing dataPower distribution

Power distribution system for EUT:

Identification of the point of coupling (identification code for distribution panel, switchgear or transformer)

Type of distribution system (example TN-C, TN-S; TT, IT)

The type of power supply for EUT:

Wye..... Delta Number of phases Number of wires

Earth bus: how and where bonded?

Wiring diagram

Draw a single-line diagram of site power distribution system from the main supply transformer to the EUT. Show all transformers, distribution panels, etc. Also indicate nominal voltage, power rating, cable routing and method, number of conductors and approximate length of cables/busbars involved.

E.2.2.3 EMC dataEUT earthing

EUT earth reference? Single point..... Meshed

Provide a schematic of equipotential bonding.

EUT shielding

Are shielded cabinets for EUT used? Yes No

Describe:

Are shielded cables used? Yes No.....

Describe:

Other measures used (e.g. container)? Yes No.....

Describe (consider also motors and cables):

RFI sensitive equipment in facility

Any equipment in the building or near installation location sensitive to RF disturbances?

Yes No.....

Describe: (e.g. process control and measurement, data buses, computers, etc.)

Approximate distance from EUT / cabling of EUT:..... metres

Most likely coupling path for disturbance: Conducted Radiated.....

RFI sensitive equipment outside facility

Any broadcast or communications receiver antennas visible or near facility?

Yes No.....

Describe (e.g. radar, radio/TV broadcast, amateur, microwave or other):

Frequency..... Distances from the antenna..... metres

Citizen band (CB), walkie-talkies, wireless communication, remote control or clock synchronisation system used on facility?

Yes No.....

Describe:

E.2.3 EMC analysis**E.2.3.1 Identify the most sensitive equipment or systems**

Analyse electromagnetic environment constraints to installation.

E.2.3.2 Identify the most likely disturbing parts of EUT

Analyse electromagnetic environment constraints to installation.

E.2.3.3 Are there risks of malfunction of items listed in E.2.3.2, due to disturbances from the EUT?

Yes No.....

Describe:

E.2.4 Establishment of installation rules**E.2.4.1 Earthing**

Note the recommendations given by the manufacturer of EUT, when determining the installation rules. To ensure the EMC effectiveness of the earthing, assess the items below:

- earthing system of EUT (single point/meshed);
- equipotential bonding:
 - interconnection of exposed conductive parts;
 - interconnection of metal structures of EUT to the earthing system;
- high-frequency quality of connections:
 - metal-to-metal bonding by fasteners;
 - removal of paint or any other insulating material where necessary;
- describe (EMC solutions).

E.2.4.2 Cables and wiring**E.2.4.2.1 Cable selection**

Note the recommendations given by the manufacturer of the EUT, when determining the installation rules. To ensure the EMC effectiveness of cables, assess the items below:

- the signal type (e.g. digital data, PWM to a motor);
- unused conductors;
- type of cable and type of shielding (if any);
- describe (EMC solutions).

E.2.4.2.2 Routing

Note the recommendations given by the manufacturer of the EUT, when determining the installation rules. To ensure the EMC effectiveness of cabling, assess the items below:

- separation of high-power and low power, or signal cables;
- minimisation of parallel length;
- segregation distances;
- cable intersection at 90°;
- use of conduits and cable trays as parallel-earthed conductor;
- cable positioning in cable trays;
- earthing of cable trays;
- describe (EMC solutions).

E.2.4.3 Shielding of EUT cabinet

Note the recommendations given by the manufacturer of the EUT, when determining the installation rules. To ensure the EMC effectiveness of enclosures, assess the items below:

- continuity of metallic enclosure;
- dimension of slots and openings;
- cable entry through the earth reference plane;
- connection of cable shields to earth reference plane (360° preferred);
- describe (EMC solutions).

E.2.4.4 Dedicated transformer

Note the recommendations given by the manufacturer of the EUT, when determining the installation rules. To ensure EMC effectiveness, consider the use of the following:

- dedicated isolation transformer;
- transformer with electrostatic shield;
- describe (size, location).

E.2.4.5 Filtering

Note the recommendations given by the manufacturer of the EUT, when determining the installation rules. To ensure EMC effectiveness, consider the use of the following:

- centralised or distributed RFI-filter-configurations;
- signal line filtering;
- filtering power interface if appropriate;
- describe (EMC solutions)

E.2.4.6 Additional mitigation techniques

Note the recommendations given by the manufacturer of the EUT, when determining the installation rules. Are other mitigation techniques necessary? Yes No

Consider the use of the following:

- electrical separation of circuits;
- optical fibres;
- galvanic isolation for data lines (example optocouplers, transformers);
- extra protection for sensitive devices;
- describe (EMC solutions)

E.2.5 Formal result and maintenance

Check that the installation is built according to the defined installation rules.

Do all details follow the defined installation rules? Yes No

Describe any action to correct failings.

Define instructions for maintaining EMC characteristics of the installation (e.g. measures against corrosion, dust which might weaken the contact between the door and the frame, loosening of connections).

Signature(s) by person(s) responsible for EMC:

Date

Signature(s)

E.3 Example of supplement to EMC plan for particular application

E.3.1 Electromagnetic environment complementary analysis

E.3.1.1 Power distribution from distribution network operator’s substation to facility main supply transformer

The questions in Clause E.3 are related to factors external to the EUT which can be relevant to the EMC performance in a more complex application.

Distribution network operator:

Approximate distance from the distribution network operator’s nearest substation (if known):

Electricity distribution from the substation to the facility:

overhead lines buried combination

describe

Facility main supply transformer characteristic: kVA

Input (primary): volts number of phases

Type of connection: delta wye

Other, describe

Output to internal distribution (secondary)

Volts number of wires number of phases

Type of connection: delta wye

Is the transformer earthed? (describe how and where)

Building earthing electrode consisting of

Earth rod Multiple rods Earth grid Earth plate

Buried conduit Water pipe Building steel

If other, describe

Draw wiring diagram

Draw a single-line diagram of site power distribution system from the distribution network operator’s substation to main supply transformer. Show all transformers, distribution panels, etc.

Earth electrode impedance in ohms (if known)

E.3.1.2 Power distribution from facility main supply transformer to local distribution panel/switch gear/transformer for EUT

The questions in Clause E.3 are related to factors external to the EUT which can be relevant to the EMC performance in a more complex application.

Wiring diagram

Draw a single-line diagram of facility power distribution system from the main supply transformer to the local distribution panel/switchgear/transformer.

Local power distribution panel/switchgear/transformer

Panel/switchgear/transformer identification

Panel construction: how and where bonded

Type of power supply for panel/switchgear/transformer

Wye	Delta	Number of phases
Number of wires	Wire size (phase/neutral/PE): Cu	Al

Neutral bus: how and where bonded

Earth bus: how and where bonded

Individual insulated PE wire from EUT or part of EUT

Yes	No
-----	----

Describe

E.3.2 EMC analysis**E.3.2.1 Frequency plan**

RFI survey needed

Yes	No
-----	----

Explain

If yes, issuing a frequency plan/table might clarify the situation. An example is given below in Table E.2.

Table E.2 – Frequency analysis

Equipment	Unit	Frequency	Band-width	Description of frequency source	V	A	Waveform	Type		Ref. Doc.
								Em	Im	
Inverter N°1	IGBT-module	5 kHz		Output switching frequency	510		PWM	X		
Inverter N°2	IGBT-module	5 kHz		Output switching frequency	510		PWM	X		
Inverter N°1	Motor control	40 MHz		TTL clock	15		TTL clock	X		
Inverter N°2	Motor control	40 MHz		TTL clock	15		TTL clock	X		
Inverters	Output current sensor	1 kHz		Sampling frequency	0,03				X	
Auxiliary equipment	Power supply	200 kHz		Switching frequency	230		Spike	X		
Cordless telephones									X	
Business radio	Transmitter/ receiver							X	X	
Amateur radio	Transmitter/ receiver	144 MHz							X	
Em: emission Im: immunity Ref. doc: reference number of the specification of the item										

Risks of malfunction of items listed in above, due to disturbances from the EUT, should be analysed and adequate measures should be defined.

E.3.2.2 EMC testing

List the references of EMC test reports.

Is further specific EMC-testing necessary?

Yes No

If yes, a procedure as follows may be necessary:

- prepare an EMC test plan (refer to EMC analysis);
- perform EMC tests and write test reports.

Are the test results acceptable?

Yes No

Describe any action to correct failings:

Bibliography

- [1] Former German telecommunication authority: Post Verfügung. Amtsbl Vfg 1045 – December 1984 Anlage 1 – § 2⁴, Nr 4
- [2] Former German telecommunication authority: Post Verfügung Amtsbl Vfg 1046-1984 Anlage 1, § 6 & § 7
- [3] ENEL (Italian Electricity Supply Industry) Specification GLI (EMC) 07, Appendix A
- [4] T. Williams: "EMC for Product Designers" – Butterworth-Heinemann Ltd, Oxford, 1992
- [5] W. Graupner; Rolle, S.: "Funkstörspannungen leistungselektronischer Antriebe" Symposium der Gesellschaft für Mikroelektronik GME des VDI, Frankfurt 1993
- [6] "Provisional Regulation for Harmonics in Electricity Distribution Systems." SD 126-84 [China]
- [7] "Grundsätze für die Beurteilung von Netzrückwirkungen." VDEW 1992 [Germany]
- [8] "Limitation des Perturbations Electriques dans les Réseaux Publics de distribution. ASE 3600-1-1987 et ASE 3600-1987/SNV4 3600-1 et -2 [Switzerland]
- [9] Engineering Recommendation G5/5, June 2020, *Harmonic voltage distortion and the connection of harmonic sources and/or resonant plant to transmission systems and distribution networks in the United Kingdom*, from Energy Networks Association [United Kingdom]
- [10] IEEE Std 519-2022, *IEEE Standard for harmonic control in electric power systems*
- [11] IEC 60034 (all parts), *Rotating electrical machines*
- [12] IEC 60038:2009, *IEC standard voltages*
- [13] IEC 60050-102, *International Electrotechnical Vocabulary – Part 102: Mathematics – General concepts and linear algebra* (available at www.electropedia.org)
- [14] IEC 60050-103, *International Electrotechnical Vocabulary – Part 103: Mathematics – Functions*
- [15] IEC 60050-131, *International Electrotechnical Vocabulary – Part 131: Circuit theory* (available at www.electropedia.org)
- [16] IEC 60050-151, *International Electrotechnical Vocabulary – Part 151: Electrical and magnetic devices* (available at www.electropedia.org)
- [17] IEC 60050-161, *International Electrotechnical Vocabulary – Part 161: Electromagnetic compatibility* (available at www.electropedia.org)
- [18] IEC 60050-411, *International Electrotechnical Vocabulary – Chapter 411: Rotating machinery*

⁴ Regulations of [1] and [2] were harmonized with the electrotechnical standard VDE 0875.

- [19] IEC 60050-551, *International Electrotechnical Vocabulary – Part 551: Power electronics* (available at www.electropedia.org)
- [20] IEC 60050-614, *International Electrotechnical Vocabulary – Chapter 614: Generation, transmission and distribution of electricity – Operation* (available at www.electropedia.org)
- [21] IEC 60050-811, *International Electrotechnical Vocabulary – Part 811: Electric traction*
- [22] IEC 60065:2014, *Audio, video and similar electronic apparatus – Safety requirements*
- [23] IEC TR 60146-1-2:2019, *Semiconductor convertors – General requirements and line commutated convertors – Part 1-2: Application guidelines*
- [24] IEC 60146-1-1:2009, *Semiconductor convertors – General requirements and line commutated convertors – Part 1-1: Specification of basic requirements*
- [25] IEC 60146-2:1999, *Semiconductor convertors – Part 2: Self-commutated semiconductor convertors including direct d.c. convertors*
- [26] IEC 60364-1:2005, *Low-voltage electrical installations – Part 1: Fundamental principles, assessment of general characteristics, definitions*
- [27] IEC TR 61000-2-1:1990, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 2: Environment – Section 1: Description of the environment – Electromagnetic environment for low-frequency conducted disturbances and signalling in public power supply systems*
- [28] IEC 61000-2-2:2002, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 2-2: Environment – Compatibility levels for low-frequency conducted disturbances and signalling in public low-voltage power supply systems*
IEC 61000-2-2:2002/AMD1:2017
IEC 61000-2-2:2002/AMD2:2018
- [29] IEC TR 61000-2-3:1992, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 2: Environment – Section 3: Description of the environment – Radiated and non-network-frequency-related conducted phenomena*
- [30] IEC TR 61000-2-5:2017, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 2-5: Environment – Description and classification of electromagnetic environments*
- [31] 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*
- [32] IEC TR 61000-2-8:2002, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 2-8: Environment – Voltage dips and short interruptions on public electric power supply systems with statistical measurement results*
- [33] IEC 61000-2-12:2003, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 2-12: Environment – Compatibility levels for low-frequency conducted disturbances and signalling in public medium-voltage power supply systems*
- [34] IEC TS 61000-3-5:2009, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 3: Limits – Limitation of voltage fluctuations and flicker in low-voltage power supply systems for equipment with rated current greater than 75 A*

- [35] IEC TR 61000-3-6:2008, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 3-6: Limits – Assessment of emission limits for the connection of distorting installations to MV, HV and EHV power systems*
- [36] IEC TR 61000-3-7:2008, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 3-7: Limits – Assessment of emission limits for the connection of fluctuating installations to MV, HV and EHV power systems*
- [37] IEC 61000-4 (all parts), *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4: Testing and measurement techniques*
- [38] IEC TR 61000-4-1:2016, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-1: Testing and measurement techniques – Overview of IEC 61000-4 series*
- [39] 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*
- [40] IEC 61000-4-8:2009, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-8: Testing and measurement techniques – Power frequency magnetic field immunity test*
- [41] IEC 61000-4-9:2016, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4: Testing and measurement techniques – Impulse magnetic field immunity test*
- [42] IEC 61000-4-10:2016, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-10: Testing and measurement techniques – Damped oscillatory magnetic field immunity test*
- [43] IEC TR 61000-5-1:1996, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 5: Installation and mitigation guidelines – Section 1: General consideration – Basic EMC publication*
- [44] IEC TR 61000-5-2:1997, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 5: Installation and mitigation guidelines – Section 2: Earthing and cabling*
- [45] IEC 61000-6-1:2016, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 6-1: Generic standards – Immunity standard for residential, commercial and light-industrial environments*
- [46] IEC 61000-6-2:2016, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 6-2: Generic standards – Immunity standard for industrial environments*
- [47] IEC 61000-6-3:2020, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 6-3: Generic standards – Emission standard for equipment in residential environments*
- [48] IEC 61000-6-4:2018, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 6-4: Generic standards – Emission standard for industrial environments*
- [49] IEC 61000-6-5:2015, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 6-5: Generic standards – Immunity for equipment used in power station and substation environment*
- [50] IEC 61000-6-8:2020, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 6-8: Generic standards – Emission standard for professional equipment in commercial and light-industrial locations*
- [51] IEC 61140:2016, *Protection against electric shock – Common aspects for installation and equipment*

- [52] IEC 61158 (all parts), *Industrial communication networks – Fieldbus specifications*
- [53] IEC 61557-8:2014, *Electrical safety in low voltage distribution systems up to 1 000 V a.c. and 1 500 V d.c. – Equipment for testing, measuring or monitoring of protective measures – Part 8: Insulation monitoring devices for IT systems*
- [54] IEC 61400-21-1:2019, *Wind energy generation systems – Part 21-1: Measurement and assessment of electrical characteristics – Wind turbines*
- [55] IEC 61557-9:2014, *Electrical safety in low voltage distribution systems up to 1 000 V a.c. and 1 500 V d.c. – Equipment for testing, measuring or monitoring of protective measures – Part 9: Equipment for insulation fault location in IT systems*
- [56] IEC 61800-1:2021, *Adjustable speed electrical power drive systems – Part 1: General requirements – Rating specifications for low voltage adjustable speed DC power drive systems*
- [57] IEC 61800-2:2021, *Adjustable speed electrical power drive systems – Part 2: General requirements – Rating specifications for adjustable speed AC power drive systems*
- [58] IEC 61800-3:1996, *Adjustable speed electrical power drive systems – Part 3: EMC product standard including specific test methods*⁵
- [59] IEC 61800-5-1:2007, *Adjustable speed electrical power drive systems – Part 5-1: Safety requirements – Electrical, thermal and energy*
IEC 61800-5-1:2007/AMD1:2016
- [60] IEC TS 62578:2015, *Power electronics systems and equipment – Operation conditions and characteristics of active infeed converter (AIC) applications including design recommendations for their emission values below 150 kHz*
- [61] CISPR 14-1:2020, *Electromagnetic compatibility – Requirements for household appliances, electric tools and similar apparatus – Part 1: Emission*
- [62] CISPR 16-2-1:2014, *Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods – Part 2-1: Methods of measurement of disturbances and immunity – Conducted disturbance measurements*
CISPR 16-2-1:2014/AMD1:2017
- [63] CISPR 16-2-3:2016, *Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods – Part 2-3: Methods of measurement of disturbances and immunity – Radiated disturbance measurements*
CISPR 16-2-3:2016/AMD1:2019
- [64] IEC Guide 107:2014, *Electromagnetic compatibility – Guide to the drafting of electromagnetic compatibility publications*
- [65] ISO 14955-1:2017, *Machine tools – Environmental evaluation of machine tools – Part 1: Design methodology for energy-efficient machine tools*
- [66] IEEE Standard 1284, *IEEE Standard signaling method for a bidirectional parallel peripheral interface for personal computers*

⁵ This publication has been withdrawn.

- [67] IEEE Standard 1394, *IEEE Standard for a high-performance serial bus*
- [68] CISPR TR 16-4-4:2007, *Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods – Part 4-4: Uncertainties, statistics and limit modelling – Statistics of complaints and a model for the calculation of limits for the protection of radio services*
CISPR TR 16-4-4:2007/AMD1:2017
CISPR TR 16-4-4:2007/AMD2:2020
- [69] IEC60146-1-1:2009, *Semiconductor converters – General requirements and line commutated converters – Part 1-1: Specification of basic requirements*
- [70] IEC 60050-171, *International Electrotechnical Vocabulary – Part 171: Digital technology – Fundamental concepts*
- [71] CISPR 11:—, *Industrial, scientific and medical equipment – Radio-frequency disturbance characteristics – Limits and methods of measurement*⁶
-

⁶ Under preparation. Stage at the time of publication: CISPR/NFDIS 11:2022.

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	133
1 Domaine d'application	135
2 Références normatives	136
3 Termes et définitions	137
3.1 Contenu de l'entraînement électrique de puissance (PDS) et de son installation	138
3.2 Contenu de la machine-outil (MT) et de son installation	139
3.3 Emplacements et catégories d'équipement	140
3.4 Ports et interfaces	142
3.5 Composants du PDS	148
3.6 Définitions relatives aux essais	148
3.7 Définitions relatives aux phénomènes	149
4 Exigences communes	154
4.1 Conditions générales	154
4.2 Essais	155
4.2.1 Conditions	155
4.2.2 Rapport d'essai	156
4.3 Documentation destinée à l'utilisateur	156
5 Exigences d'immunité	156
5.1 Conditions générales	156
5.1.1 Critères de performance (de qualification)	156
5.1.2 Conditions pendant l'essai	160
5.2 Exigences d'immunité de base – Perturbations basse fréquence (< 150 kHz)	160
5.2.1 Harmoniques	160
5.2.2 Creux de tension et coupures brèves	162
5.2.3 Variations de fréquence	165
5.2.4 Effets de l'alimentation – Champs magnétiques	166
5.3 Exigences d'immunité de base – Perturbations basse fréquence (≥ 150 kHz)	167
5.3.1 Conditions	167
5.3.2 Environnement résidentiel, commercial ou de l'industrie légère	167
5.3.3 Environnement industriel	168
5.4 Application des exigences d'immunité – Méthodes de vérification en variante	170
5.4.1 Généralités	170
5.4.2 Simulation et calcul des harmoniques	171
5.4.3 Méthodes de vérification en variante pour les creux de tension et les coupures brèves	171
5.4.4 Variations de fréquence	171
5.4.5 Établissement de l'immunité aux champs électromagnétiques par des essais sur les sous-composants	172
6 Émission	172
6.1 Généralités sur les exigences d'émissions	172
6.2 Généralités sur les exigences d'émissions pour une MT	172
6.3 Limites de base des émissions basse fréquence (< 150 kHz)	173
6.3.1 Harmoniques et interharmoniques	173
6.3.2 Fluctuations de tension et papillotement	174
6.3.3 Émissions dans la plage de fréquences comprise entre 2 kHz et 150 kHz	174

6.3.4	Émission harmonique en mode commun (tension en mode commun basse fréquence).....	175
6.4	Conditions liées à la mesure des émissions haute fréquence (≥ 150 kHz).....	175
6.4.1	Exigences générales pour les mesures sur un emplacement d'essai.....	175
6.4.2	Application des limites d'émissions au-dessus de 1 GHz	182
6.4.3	Exigences relatives aux connexions	182
6.4.4	Exigences relatives aux mesures lorsqu'aucune configuration normale n'est utilisée	182
6.5	Limites de base des émissions haute fréquence	183
6.5.1	Équipements de catégorie C1 et C2.....	183
6.5.2	EUT de catégorie C3	185
6.6	Règles d'ingénierie	187
6.6.1	EUT de catégorie C4	187
6.6.2	Conditions générales	187
6.6.3	Filtrage dans les systèmes d'alimentation IT.....	188
6.6.4	Limites situées en dehors de celles d'une installation, pour un EUT de catégorie C4 – Exemple de propagation des perturbations	188
Annexe A (informative) Techniques CEM		192
A.1	CEM et applications des entraînements (PDS).....	192
A.2	Conditions de charge vis-à-vis des phénomènes hautes fréquences	192
A.2.1	Conditions de charge relatives aux essais d'émissions	192
A.2.2	Conditions de charge relatives aux essais d'immunité	193
A.2.3	Essai en charge.....	193
A.3	Immunité aux champs électromagnétiques.....	193
A.3.1	Immunité aux champs magnétiques à la fréquence du réseau	193
A.3.2	Immunité aux perturbations conduites à haute fréquence.....	194
A.3.3	Immunité aux champs magnétiques haute fréquence	194
A.4	Techniques de mesure des émissions haute fréquence.....	196
A.4.1	Impédance/réseau fictif d'alimentation (AMN)	196
A.4.2	Exécution des essais d'émissions haute fréquence in situ	197
A.4.3	Expérience acquise avec les EUT de grande puissance.....	198
Annexe B (informative) Phénomènes basse fréquence.....		199
B.1	Encoches de commutation	199
B.1.1	Conditions d'évaluation.....	199
B.1.2	Occurrence – Description	199
B.1.3	Calcul	202
B.1.4	Recommandations relatives aux encoches de commutation	203
B.2	Définitions relatives aux harmoniques et interharmoniques	205
B.2.1	Discussion générale	205
B.2.2	Conditions d'application.....	205
B.3	Application des normes relatives à l'émission harmonique	209
B.3.1	Généralités	209
B.3.2	Réseaux publics	210
B.3.3	Méthodes de sommation pour les harmoniques d'une installation – Règles pratiques.....	215
B.4	Règles d'installation – Évaluation de la compatibilité harmonique	217
B.4.1	Système industriel triphasé de faible puissance	217
B.4.2	Grand système industriel	219
B.4.3	Interharmoniques et tensions ou courants à des fréquences supérieures.....	221
B.5	Déséquilibre de tension	221

B.5.1	Origine	221
B.5.2	Définition et appréciation	222
B.5.3	Effet sur les BDM/CDM/PDS/MT	224
B.6	Creux de tension – Fluctuations de tension	224
B.6.1	Creux de tension	224
B.6.2	Fluctuation de tension	227
Annexe C (informative)	Compensation de puissance réactive – Filtrage	228
C.1	Installation	228
C.1.1	Pratique usuelle	228
C.1.2	Définitions de puissance en conditions de distorsion	228
C.1.3	Solutions pratiques	229
C.1.4	Compensation de puissance réactive	230
C.1.5	Méthodes de filtrage	235
C.2	Puissance réactive et harmoniques	237
C.2.1	Méthodes usuelles d’atténuation dans l’installation	237
C.2.2	Autres solutions	239
Annexe D (informative)	Considérations relatives aux émissions haute fréquence	243
D.1	Lignes directrices pour l’utilisateur	243
D.1.1	Émissions attendues sur les BDM/CDM/PDS/MT	243
D.1.2	Lignes directrices	245
D.2	Sécurité et filtrage RF sur les réseaux de puissance	247
D.2.1	Sécurité et courants de fuite	247
D.2.2	Sécurité et filtrage RF sur un réseau isolé	247
Annexe E (informative)	Analyse CEM et plan CEM pour EUT de catégorie C4	249
E.1	Généralités – Analyse CEM du système appliquée aux EUT	249
E.1.1	Environnement électromagnétique	249
E.1.2	Techniques d’analyse CEM du système	250
E.2	Exemple de plan CEM	252
E.2.1	Données et description du projet	252
E.2.2	Analyse de l’environnement électromagnétique	252
E.2.3	Analyse CEM	254
E.2.4	Établissement des règles d’installation	254
E.2.5	Résultat formel et maintenance	256
E.3	Exemple de supplément au plan CEM pour une application particulière	256
E.3.1	Analyse complémentaire de l’environnement électromagnétique	256
E.3.2	Analyse CEM	258
Bibliographie	260
Figure 1	– Contenu du PDS et de son installation	139
Figure 2	– Contenu de la MT et de son installation	140
Figure 3	– Interfaces internes d’un PDS et exemples d’accès	144
Figure 4	– Interfaces internes d’une MT et exemples d’accès	144
Figure 5	– Interfaces de puissance d’un PDS avec liaison en courant continu commune	146
Figure 6	– Interfaces de puissance avec transformateur d’entrée commun	147
Figure 7	– Exemple de disposition type du câblage pour les mesures à une distance de séparation de 3 m pour un équipement placé sur une table ou à montage mural – Vue de dessus	178

Figure 8 – Exemple de disposition type du câblage pour les mesures à une distance de séparation de 3 m pour un équipement placé sur une table ou à montage mural – Vue de côté	179
Figure 9 – Exemple de configuration type d'essai pour la mesure des perturbations conduites et/ou rayonnées par un PDS placé au sol – Vue 3D	180
Figure 10 – Disposition type pour la mesure des perturbations rayonnées émanant d'une MT (vue de dessus).....	181
Figure 11 – Propagation des perturbations.....	189
Figure 12 – Propagation des perturbations dans une installation avec un EUT de tension assignée > 1 000 V.....	190
Figure B.1 – Forme d'onde type des encoches de commutation – Distinction par rapport aux transitoires non répétitifs.....	200
Figure B.2 – PCC, IPC, rapports de courant de l'installation et R_{SI}	208
Figure B.3 – PCC, IPC, rapports de courant de l'installation et R_{SC}	209
Figure B.4 – Évaluation de l'émission harmonique d'un EUT.....	211
Figure B.5 – Configuration d'essai avec une charge mécanique.....	212
Figure B.6 – Configuration d'essai avec une charge électrique remplaçant le moteur chargé	213
Figure B.7 – Configuration d'essai avec une charge résistive.....	213
Figure B.8 – Évaluation de l'émission harmonique pour l'utilisation d'un EUT (appareillages, systèmes ou installations).....	218
Figure C.1 – Compensation de puissance réactive.....	231
Figure C.2 – Schéma simplifié d'un réseau industriel	233
Figure C.3 – Impédance en fonction de la fréquence du réseau simplifié	234
Figure C.4 – Exemple de batterie de filtres passifs	236
Figure C.5 – Exemple de solution inappropriée de compensation de puissance réactive.....	238
Figure C.6 – Topologies de filtre actif VSI MLI	240
Figure C.7 – Convertisseur en mode élévateur	241
Figure C.8 – Système onduleur à étage d'entrée actif.....	241
Figure D.1 – Émissions conduites, mesurées sur divers EUT non filtrés.....	244
Figure D.2 – Émissions rayonnées prévisibles d'un EUT de tension assignée jusqu'à 400 V – Valeurs de crête normalisées à 10 m	245
Figure D.3 – Sécurité et filtrage	248
Figure E.1 – Interaction entre les systèmes et l'environnement EM.....	249
Figure E.2 – Concept de zone.....	250
Figure E.3 – Exemple d'entraînement	251
Tableau 1 – Critères de qualification d'un BDM, d'un CDM ou d'un PDS soumis aux perturbations électromagnétiques	158
Tableau 2 – Critères de qualification d'une MT soumise aux perturbations électromagnétiques.....	159
Tableau 3 – Exigences minimales d'immunité pour les rangs harmoniques individuels sur les accès de puissance en courant alternatif des EUT basse tension	161
Tableau 4 – Exigences minimales d'immunité pour les harmoniques sur les accès de puissance principaux en courant alternatif des EUT de tension assignée supérieure à 1 000 V	162

Tableau 5 – Exigences minimales d’immunité pour les creux de tension et les coupures brèves sur les accès de puissance en courant alternatif des EUT basse tension.....	163
Tableau 6 – Exigences minimales d’immunité pour les creux de tension et les coupures brèves sur les accès de puissance principaux en courant alternatif des EUT de tension assignée supérieure à 1 000 V.....	164
Tableau 7 – Exigences minimales d’immunité pour les creux de tension et les coupures brèves sur les accès de puissance auxiliaires en courant alternatif basse tension des EUT	165
Tableau 8 – Exigences minimales d’immunité pour les variations de fréquence sur les accès de puissance en courant alternatif des EUT basse tension	165
Tableau 9 – Exigences minimales d’immunité pour les variations de fréquence sur les accès de puissance principaux en courant alternatif des EUT de tension assignée supérieure à 1 000 V.....	166
Tableau 10 – Exigences minimales d’immunité pour les variations de fréquence sur les accès de puissance auxiliaires en courant alternatif basse tension des EUT	166
Tableau 11 – Exigences minimales d’immunité pour les EUT destinés à être utilisés dans un environnement résidentiel, commercial ou de l’industrie légère.....	167
Tableau 12 – Exigences minimales d’immunité pour les EUT destinés à être utilisés dans un environnement industriel.....	169
Tableau 13 – Approche de l’évaluation par essai de type des différentes configurations de la MT.....	172
Tableau 14 – Fréquence la plus élevée exigée pour la mesure des émissions rayonnées.....	182
Tableau 15 – Limites pour la tension perturbatrice sur les bornes réseau dans la bande de fréquences comprise entre 150 kHz et 30 MHz – Catégories C1 et C2	183
Tableau 16 – Limites des perturbations par rayonnement électromagnétique dans la bande de fréquences allant de 30 MHz à 6 000 MHz – Catégories C1 et C2	184
Tableau 17 – Limites pour la tension perturbatrice au niveau de l’interface de puissance dans un environnement résidentiel, commercial ou de l’industrie légère	185
Tableau 18 – Limites pour la tension perturbatrice au niveau des bornes réseau dans la bande de fréquences allant de 150 kHz à 30 MHz – Catégorie C3	186
Tableau 19 – Limites des perturbations par rayonnement électromagnétique dans la bande de fréquences allant de 30 MHz à 6 000 MHz – Catégorie C3	187
Tableau 20 – Limites de la tension perturbatrice propagée ("à l’extérieur" dans un environnement résidentiel).....	190
Tableau 21 – Limites de la tension perturbatrice propagée ("à l’extérieur" dans un environnement autre que résidentiel)	190
Tableau 22 – Limites des perturbations électromagnétiques propagées à des fréquences supérieures à 30 MHz.....	191
Tableau 23 – Limites des perturbations électromagnétiques à des fréquences inférieures à 30 MHz.....	191
Tableau B.1 – Profondeur maximale admissible des encoches de commutation au PC	204
Tableau B.2 – Exigences d’immunité recommandées pour les encoches de commutation sur les accès de puissance des EUT	205
Tableau B.3 – Exigences relatives aux émissions de courant harmonique par rapport au courant total de la puissance souscrite au PCC ou à l’IPC	220
Tableau E.1 – Interaction EM entre les sous-systèmes et l’environnement.....	251
Tableau E.2 – Analyse des fréquences	258

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**ENTRAÎNEMENTS ÉLECTRIQUES DE PUISSANCE
À VITESSE VARIABLE –****Partie 3: Exigences de CEM et méthodes d'essai
spécifiques pour les PDS et machines-outils**

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

L'IEC 61800-3 a été établie par le sous-comité 22G: Systèmes d'entraînement électrique de puissance à vitesse variable (PDS), du comité d'études 22 de l'IEC: Systèmes et équipements électroniques de puissance. Il s'agit d'une Norme internationale.

Elle a le statut d'une norme de produit CEM conformément à l'IEC Guide 107.

Cette quatrième édition annule et remplace la troisième édition parue en 2017. Cette édition constitue une révision technique.

Cette édition inclut les modifications techniques majeures suivantes par rapport à l'édition précédente:

- a) extension du domaine d'application aux machines-outils équipées d'un ou plusieurs PDS intégrés;
- b) extension de la plage de fréquences à 6 GHz pour les essais d'immunités aux perturbations rayonnées;
- c) mises à jour génériques de la partie normative et des annexes informatives.

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

Projet	Rapport de vote
22G/461/FDIS	22G/466/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 61800, publiées sous le titre général *Entraînements électriques de puissance à vitesse variable*, 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 <https://webstore.iec.ch> dans les données relatives au document recherché. À cette date, le document sera

- reconduit,
- supprimé,
- remplacé par une édition révisée, ou
- amendé.

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.

ENTRAÎNEMENTS ÉLECTRIQUES DE PUISSANCE À VITESSE VARIABLE –

Partie 3: Exigences de CEM et méthodes d'essai spécifiques pour les PDS et machines-outils

1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 61800 spécifie les exigences de compatibilité électromagnétique (CEM) applicables aux entraînements électriques de puissance (PDS) et aux machines-outils (MT) à vitesse variable. Un PDS est un entraînement à moteur à courant alternatif ou continu, comprenant un convertisseur électronique. Les exigences sont spécifiées pour des PDS et MT en courant alternatif et en courant continu, ayant des tensions d'entrée et/ou de sortie (tensions entre phases), d'une valeur efficace allant jusqu'à 35 kV en courant alternatif. Le présent document s'applique aux équipements sans distinction sur leur valeur assignée de puissance.

En tant que norme de produit CEM, le présent document peut être utilisé pour l'évaluation des PDS et des MT. Il peut aussi être utilisé pour l'évaluation des modules d'entraînement complet (CDM) ou des modules d'entraînement principal (BDM).

NOTE 1 Les BDM et les CDM sont des parties du PDS, qui sont souvent commercialisées séparément.

Les applications de traction et les véhicules électriques sont exclus du domaine d'application. Le matériel défini comme relevant du groupe 2, conformément à la CISPR 11:2015, est exclu.

NOTE 2 Parmi les exemples de matériel du groupe 2 figurent:

- le matériel de soudage (soudage à l'arc, soudage par résistance, etc.);
- le matériel d'usinage par décharges électriques.

Le présent document ne donne pas les exigences relatives à la machine électrique qui convertit la puissance électrique en puissance mécanique, au sein du PDS. Les exigences relatives aux machines électriques tournantes sont couvertes par la série IEC 60034. Dans le présent document, le terme "moteur" est utilisé pour décrire la machine électrique, qu'elle soit tournante ou linéaire, et quel que soit le sens de circulation de la puissance.

Le présent document s'applique aux BDM, CDM, PDS et MT, avec ou sans fonctionnalité radioélectrique. Cependant, le présent document ne spécifie aucune exigence relative aux émissions et réceptions radioélectriques.

NOTE 3 Il est prévu que la future édition 7 de la CISPR 11¹ contienne une procédure couvrant les exigences relatives aux émissions et réceptions radioélectriques, qui s'applique également aux produits relevant du domaine d'application du présent document.

Le présent document définit les exigences minimales relatives aux émissions et à l'immunité, dans la plage de fréquences allant de 0 Hz à 400 GHz. Les essais ne sont pas exigés dans les plages de fréquences pour lesquelles aucune exigence n'est spécifiée.

Les BDM, CDM, PDS et MT couverts par le présent document sont ceux installés dans les environnements résidentiels, commerciaux et industriels. Les exigences sont données selon des classes d'environnement.

¹ En cours d'élaboration. Stade au moment de la publication: CISPR/NFDIS 11:2022.

Les BDM, CDM et PDS font souvent partie intégrante d'un système plus important. Les aspects de ce système ne sont pas couverts par le présent document, mais ses annexes informatives fournissent des recommandations.

Le présent document est destiné à être utilisé comme une norme de produit CEM complète, pour l'évaluation de conformité CEM des produits. En qualité de norme de produit CEM applicable aux BDM, CDM, PDS et MT, conformément à l'IEC Guide 107, le présent document prévaut sur tous les aspects des normes génériques.

NOTE 4 Lorsqu'un PDS ou une MT est incorporé dans un équipement couvert par une norme de produit CEM spécifique, cette norme en CEM spécifique s'applique à l'équipement complet.

NOTE 5 Les exigences ont été choisies de façon à assurer la CEM des PDS et des MT dans les environnements résidentiels, commerciaux et industriels. Les changements de comportement CEM d'un PDS ou d'une MT résultant de conditions de défaut ne sont pas pris en compte.

NOTE 6 Le présent document ne spécifie aucune exigence de sécurité pour l'équipement, par exemple en matière de protection contre les chocs électriques, de coordination d'isolement et d'essais diélectriques associés, ni concernant un fonctionnement dangereux ou les conséquences dangereuses d'une défaillance. Il ne couvre pas non plus les conséquences des phénomènes électromagnétiques sur la sécurité et la sécurité fonctionnelle.

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 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 61000-3-2:2018/AMD1:2020

IEC 61000-3-3:2013, *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 61000-3-3:2013/AMD1:2017
IEC 61000-3-3:2013/AMD2:2021

IEC 61000-3-11:2017, *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 61000-3-12:2011, *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 61000-3-12:2011/AMD1:2021

IEC 61000-4-2:2008, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 4-2: Techniques d'essai et de mesure – Essai d'immunité aux décharges électrostatiques*

IEC 61000-4-3:2020, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 4-3: Techniques d'essai et de mesure – Essai d'immunité aux champs électromagnétiques rayonnés aux fréquences radioélectriques*

IEC 61000-4-4:2012, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 4-4: Techniques d'essai et de mesure – Essais d'immunité aux transitoires électriques rapides en salves*

IEC 61000-4-5:2014, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 4-5: Techniques d'essai et de mesure – Essai d'immunité aux ondes de choc*
IEC 61000-4-5:2014/AMD1:2017

IEC 61000-4-6:2013, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 4-6: Techniques d'essai et de mesure – Immunité aux perturbations conduites, induites par les champs radioélectriques*

IEC 61000-4-11:2020, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 4-11: Techniques d'essai et de mesure – Essais d'immunité aux creux de tension, coupures brèves et variations de tension pour les appareils à courant d'entrée inférieur ou égal à 16 A par phase*

IEC 61000-4-13:2002, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 4-13: Techniques d'essai et de mesure – Essais d'immunité basse fréquence aux harmoniques et inter-harmoniques incluant les signaux transmis sur le réseau électrique alternatif*
IEC 61000-4-13:2002/AMD1:2009
IEC 61000-4-13:2002/AMD2:2015

IEC 61000-4-28:1999, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 4-28: Techniques d'essai et de mesure – Essai d'immunité à la variation de la fréquence d'alimentation pour des matériels avec un courant appelé n'excédant pas 16 A par phase*
IEC 61000-4-28:1999/AMD1:2001
IEC 61000-4-28:1999/AMD2:2009

IEC 61000-4-34:2005, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 4-34: Techniques d'essai et de mesure – Essais d'immunité aux creux de tension, coupures brèves et variations de tension pour matériel ayant un courant d'alimentation de plus de 16 A par phase*
IEC 61000-4-34:2005/AMD1:2009

CISPR 11:2015, *Appareils industriels, scientifiques et médicaux – Caractéristiques de perturbations radioélectriques – Limites et méthodes de mesure*
CISPR 11:2015/AMD1:2016
CISPR 11:2015/AMD2:2019

CISPR 16-1-2:2014, *Spécifications des méthodes et des appareils de mesure des perturbations radioélectriques et de l'immunité aux perturbations radioélectriques – Partie 1-2: Appareils de mesure des perturbations radioélectriques et de l'immunité aux perturbations radioélectriques – Dispositifs de couplage pour la mesure des perturbations conduites*
CISPR 16-1-2:2014/AMD1:2017

CISPR 16-1-4:2019, *Spécifications des méthodes et des appareils de mesure des perturbations radioélectriques et de l'immunité aux perturbations radioélectriques – Partie 1-4: Appareils de mesure des perturbations radioélectriques et de l'immunité aux perturbations radioélectriques – Antennes et emplacements d'essai pour les mesures des perturbations rayonnées*
CISPR 16-1-4:2019/AMD1:2020

CISPR 32:2015, *Compatibilité électromagnétique des équipements multimédia – Exigences d'émission*
CISPR 32:2015/AMD1:2019

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions 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:

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

3.1 Contenu de l'entraînement électrique de puissance (PDS) et de son installation

3.1.1

module d'entraînement principal

BDM

convertisseur électronique de puissance et commande associée, connecté entre une source d'alimentation électrique et un moteur

Note 1 à l'article: Le BDM transmet l'énergie de la source d'alimentation électrique au moteur et transmet l'énergie produite par le moteur à la source d'alimentation électrique.

Note 2 à l'article: Le BDM commande tout ou partie des paramètres suivants relatifs à l'énergie transmise au moteur et à celle fournie par celui-ci: courant, fréquence, tension, vitesse, couple, force.

Note 3 à l'article: L'abréviation "BDM" est dérivée du terme anglais développé correspondant "Basic Drive Module".

3.1.2

module d'entraînement complet

CDM

module d'entraînement comprenant, entre autres, le BDM et des composants associés, tels que des dispositifs de protection, des transformateurs et des dispositifs auxiliaires, mais excluant le moteur et les capteurs qui sont couplés mécaniquement à l'arbre du moteur

Note 1 à l'article: L'abréviation "CDM" est dérivée du terme anglais développé correspondant "Complete Drive Module".

3.1.3

entraînement électrique de puissance

PDS

système comprenant un ou plusieurs modules d'entraînement complet (CDM) avec un moteur ou plusieurs moteurs, et tous les capteurs qui sont couplés mécaniquement à l'arbre du moteur, mais n'incluant pas l'équipement entraîné

Note 1 à l'article: La Figure 1 représente les principaux éléments constitutifs du PDS. Elle représente également la relation entre le PDS et l'installation.

Note 2 à l'article: L'abréviation "PDS" est dérivée du terme anglais développé correspondant "Power Drive System".

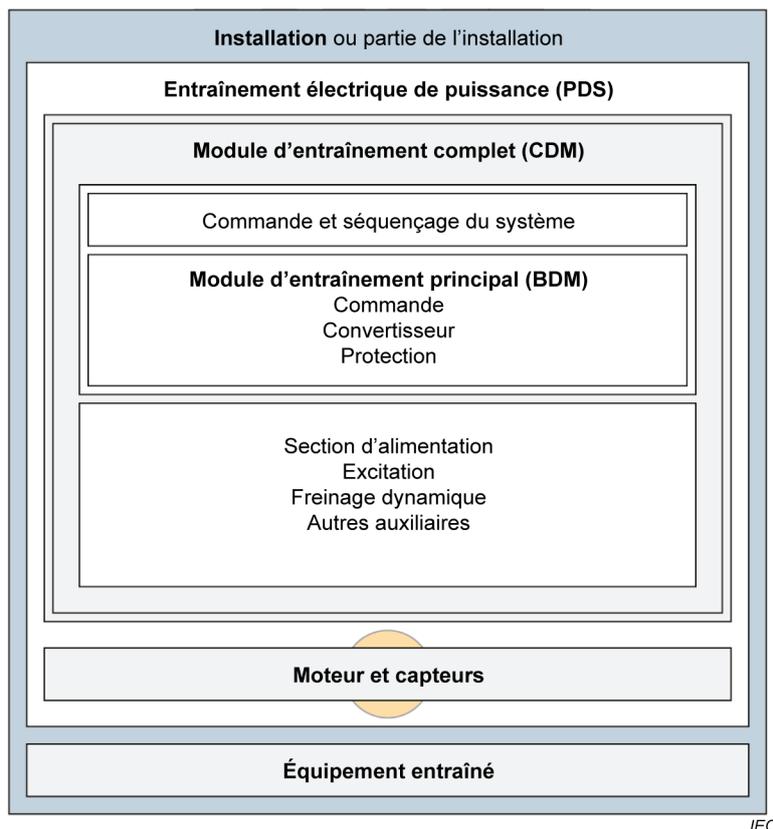


Figure 1 – Contenu du PDS et de son installation

3.1.4

installation

équipement(s) comprenant au moins le PDS et l'équipement entraîné

3.2 Contenu de la machine-outil (MT) et de son installation

3.2.1

machine-outil

MT

dispositif mécanique fixe (c'est-à-dire non mobile) et alimenté en énergie (généralement électrique et pneumatique), utilisé pour le traitement des pièces par enlèvement/ajout sélectif de matériaux ou déformation mécanique

Note 1 à l'article: Les machines-outils peuvent fonctionner mécaniquement, sur commande d'un opérateur ou d'un ordinateur. Les machines-outils peuvent également être équipées d'un certain nombre d'unités périphériques utilisées pour le refroidissement/chauffage, le processus de conditionnement, la manutention de pièce et d'outil (à l'exception de l'alimentation de la pièce), le traitement des matériaux recyclables et des déchets de la machine-outil et d'autres tâches liées à leurs opérations principales.

Note 2 à l'article: La machine-outil est normalement équipée d'une alimentation électrique, d'un ensemble électrique et électronique pour la fourniture d'énergie et la commande, et d'un ou plusieurs systèmes d'entraînement électrique de puissance assurant le mouvement des éléments ou pièces mobiles.

Note 3 à l'article: La Figure 2 représente les parties principales de la machine-outil. Elle représente également le positionnement de la machine-outil au sein de l'installation.

Note 4 à l'article: L'abréviation "MT" est dérivée du terme anglais développé correspondant "Machine-Tool".

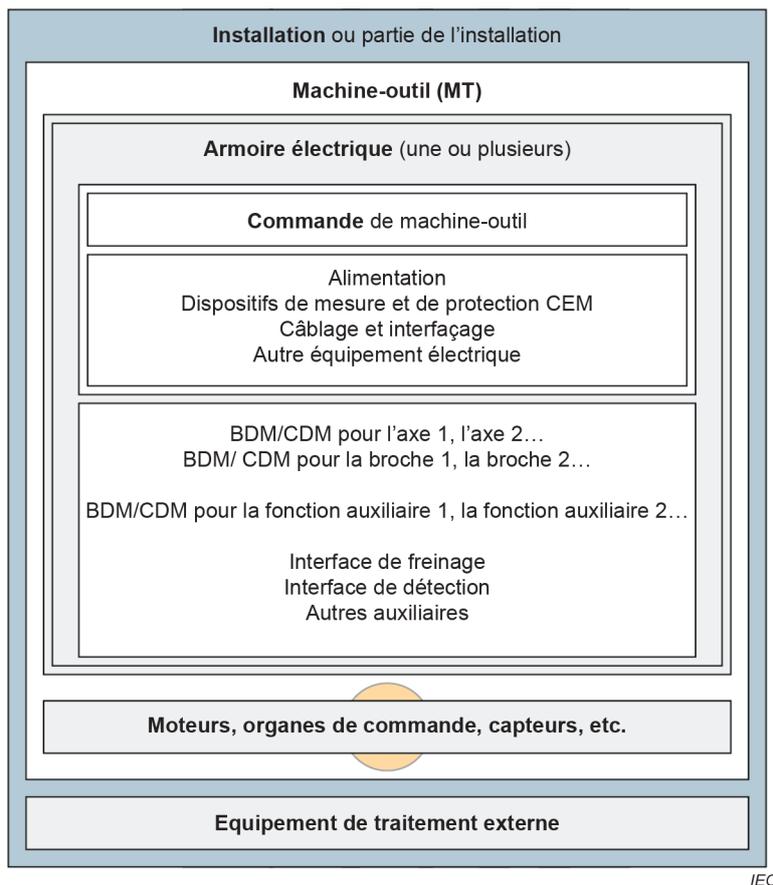


Figure 2 – Contenu de la MT et de son installation

[SOURCE: ISO 14955-1:2017, 3.16, modifié – La Note 2 à l'article et la Note 3 à l'article, accompagnées de la Figure 2, ont été ajoutées.]

3.3 Emplacements et catégories d'équipement

3.3.1

plan CEM

procédure d'évaluation de la CEM pour l'installation d'un équipement de catégorie C4 (voir 3.3.8)

3.3.2

environnement résidentiel

environnement incluant les terrains destinés à des logements domestiques pour lequel l'alimentation secteur est directement connectée au réseau public d'alimentation basse tension

Note 1 à l'article: Exemples d'environnements résidentiels: maisons, appartements, bâtiments agricoles logeant des personnes.

Note 2 à l'article: Un logement peut être un bâtiment unique, un bâtiment séparé ou une section distincte d'un bâtiment plus grand.

Note 3 à l'article: Dans ces environnements, il est prévu d'utiliser un récepteur radio à une distance de 10 m du matériel.

Note 4 à l'article: Les logements domestiques sont des lieux d'habitation d'une ou de plusieurs personnes.

[SOURCE: IEC 61000-6-8:2020, 3.1.16]

3.3.3

environnement commercial et de l'industrie légère

environnement non résidentiel conformément à 3.3.2, sur lesquels l'alimentation secteur est connectée directement au réseau public basse tension ou à une source de courant continu dédiée destinée à assurer l'interface entre le matériel et le réseau public d'alimentation basse tension

Note 1 à l'article: Exemples d'environnements commerciaux et de l'industrie légère:

- magasins de vente au détail;
- locaux commerciaux;
- environnements grand public;
- lieux de culte;
- environnements extérieurs;
- zones de divertissement public;
- hôpitaux, établissements scolaires;
- zone de circulation du public, gares ferroviaires et zones publiques dans un aéroport;
- espace commun spécifique de bâtiments, tels que sous-sols, salles de contrôle, zones de services électriques;
- ateliers, laboratoires, centres de services.

Note 2 à l'article: Dans ces environnements, il est prévu d'utiliser un récepteur radio à une distance de 30 m du matériel. Le respect des instructions définies à l'Annex B permet de réduire le plus possible le risque de brouillage.

[SOURCE: IEC 61000-6-8:2020, 3.1.3, modifié – Les références ont été mises à jour pour refléter les paragraphes du présent document.]

3.3.4

environnement industriel

lieu caractérisé par un réseau d'alimentation séparé, alimenté par un transformateur haute ou moyenne tension et dédié à l'alimentation de l'installation

EXEMPLES Usines de la métallurgie, de l'industrie papetière, de produits chimiques, de construction automobile, les bâtiments agricoles, les zones d'aéroports à tension élevée

Note 1 à l'article: Les environnements industriels peuvent habituellement être décrits par l'existence d'une installation pour laquelle une ou plusieurs des caractéristiques suivantes s'appliquent:

- éléments d'appareils installés et connectés ensemble et fonctionnant simultanément;
- quantité importante de puissance électrique produite, transmise et/ou consommée;
- commutation fréquente de charges importantes inductives ou capacitatives;
- courants élevés et champs magnétiques associés;
- présence d'appareils industriels, scientifiques et médicaux (ISM) de tensions et courants élevés (par exemple machine à souder).

L'environnement électromagnétique sur un environnement industriel est principalement produit par un matériel et l'installation présente sur le site. Il y a des catégories d'environnements industriels dans lesquels apparaissent certains phénomènes électromagnétiques à un degré plus sévère que dans d'autres installations.

[SOURCE: IEC 61000-6-4:2018, 3.1.12, modifié – La Note 2 à l'article a été supprimée et les exemples cités dans la Note 1 à l'article ont été déplacés avant la Note 1 à l'article.]

3.3.5

EUT de catégorie C1

équipement soumis à essai de catégorie C1

EUT de tension d'entrée assignée inférieure à 1 000 V, destiné à être utilisé dans un environnement résidentiel, commercial ou de l'industrie légère

Note 1 à l'article: L'abréviation "EUT" est dérivée du terme anglais développé correspondant "Equipment Under Test".

3.3.6

EUT de catégorie C2

équipement soumis à essai de catégorie C2

EUT de tension d'entrée assignée inférieure à 1 000 V, qui n'est ni un appareil avec cordon d'alimentation et prise, ni un appareil mobile, et qui n'est pas destiné à être utilisé dans un environnement résidentiel

Note 1 à l'article: Lorsqu'il est utilisé dans un environnement commercial ou de l'industrie légère, il est destiné à être installé et mis en service uniquement par un professionnel. Un professionnel est une personne ou une organisation possédant les compétences nécessaires pour l'installation et/ou la mise en service des entraînements électriques de puissance ou des machines-outils, y compris pour leurs aspects CEM (voir l'IEC 61000-6-8:2020, 3.1.14).

3.3.7

EUT de catégorie C3

équipement soumis à essai de catégorie C3

EUT de tension d'entrée assignée inférieure à 1 000 V, destiné à être utilisé dans un environnement industriel et non destiné à être utilisé dans un environnement résidentiel, commercial ou de l'industrie légère

Note 1 à l'article: Un EUT de catégorie C3 avec un courant d'entrée assigné supérieur à 100 A constitue un exemple de systèmes et appareils électroniques de forte puissance (HPESE, High-Power Electronic Systems and Equipment), tels qu'ils sont définis dans la CISPR 11:2015.

3.3.8

EUT de catégorie C4

équipement de catégorie C4

EUT de tension d'entrée assignée supérieure ou égale à 1 000 V, ou de courant assigné supérieur ou égal à 400 A, ou destiné à être utilisé dans des systèmes complexes au sein d'un environnement industriel

3.4 Ports et interfaces

3.4.1

accès

interface particulière d'un matériel qui assure son couplage avec l'environnement électromagnétique extérieur et à travers laquelle il est influencé par cet environnement

Note 1 à l'article: La Figure 3 représente la diversité des accès d'un PDS.

[SOURCE: IEC 60050-161:2014 161-01-27, modifié – L'exemple et la figure ont été supprimés et la note à l'article a été remplacée par une nouvelle note.]

3.4.2

accès enveloppe

limite physique de l'EUT à travers laquelle les champs électromagnétiques peuvent rayonner ou être absorbés

Voir: Figure 3 et Figure 4.

3.4.3

accès de mesure et de commande de processus

accès d'entrée/sortie (E/S) d'un conducteur ou d'un câble qui assure la connexion entre le processus et l'EUT

3.4.4

accès de puissance

accès par lequel l'EUT est raccordé à l'alimentation électrique, qui alimente aussi d'autres équipements

3.4.5

accès de puissance principal

accès de puissance qui fournit à l'EUT uniquement la puissance qui, après conversion électrique, est convertie par le moteur en puissance mécanique

3.4.6

accès de puissance auxiliaire

accès de puissance qui alimente seulement les auxiliaires de l'EUT, comprenant (le cas échéant) le circuit qui alimente l'enroulement de champ du moteur

3.4.7

accès réseau par câble

accès pour le raccordement d'un système/appareil de communication destiné à être interconnecté à des systèmes largement disséminés, par liaison directe à un réseau mono-utilisateur ou multi-utilisateur

Note 1 à l'article: Parmi les exemples de communication par le réseau figurent les communications voix, les transferts de données et les transferts de signaux.

Note 2 à l'article: Parmi les exemples de ces réseaux figurent les réseaux CATV, PSTN, RNIS, xDSL, LAN et les réseaux analogues.

Note 3 à l'article: Les accès réseau par câble peuvent accepter des câbles blindés ou non blindés, et peuvent également assurer le transfert de puissance en courant alternatif ou en courant continu, lorsque ceci fait partie intégrante de la spécification de télécommunication.

Note 4 à l'article: Un accès généralement destiné à l'interconnexion de composants d'un système soumis à essai (par exemple RS-232, RS-485, bus de terrain relevant du domaine d'application de la série IEC 61158, norme IEEE 1284 (transmission parallèle vers une imprimante), bus universel série (USB, Universal Serial Bus), norme IEEE 1394 ("FireWire"), etc.) et utilisé conformément à ses spécifications fonctionnelles (par exemple pour la longueur maximale de câble qui lui est raccordée), n'est pas considéré comme un accès réseau par câble.

Note 5 à l'article: Dans la majorité des normes de produits, cet accès a été défini comme un accès de télécommunications ou un accès réseau.

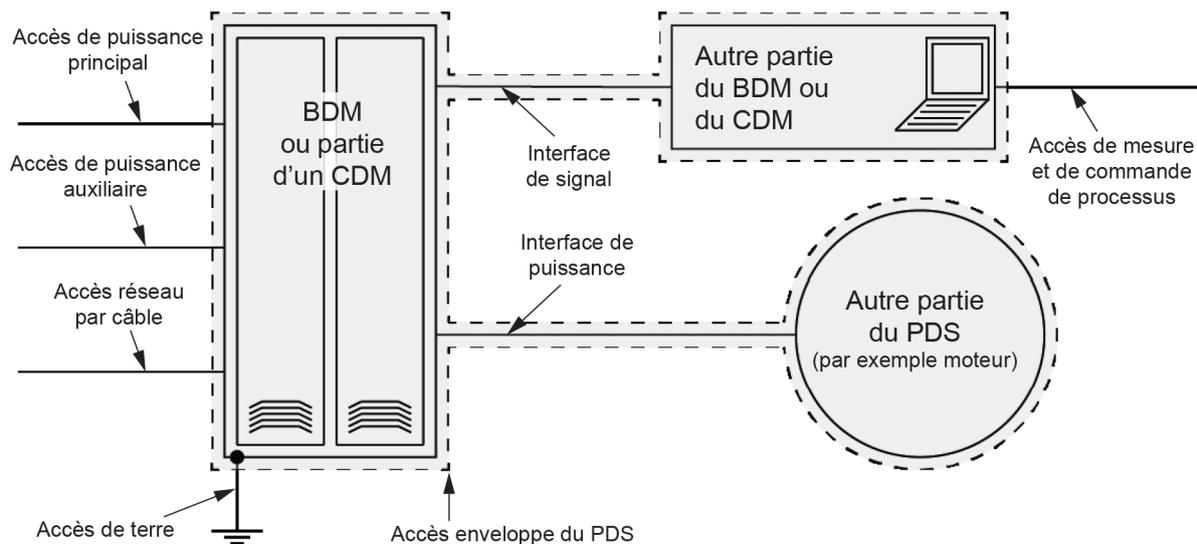
[SOURCE IEC 61000-6-3:2020, 3.1.3, modifié – Le terme "accès de réseau câblé" a été modifié en "accès réseau par câble", l'expression "pour le raccordement des communications destinées" a été remplacée par "pour le raccordement d'un système/appareil de communication destiné" dans la définition, et l'expression "Dans les éditions précédentes du présent document et" a été supprimée de la Note 5 à l'article.]

3.4.8

interface de signal

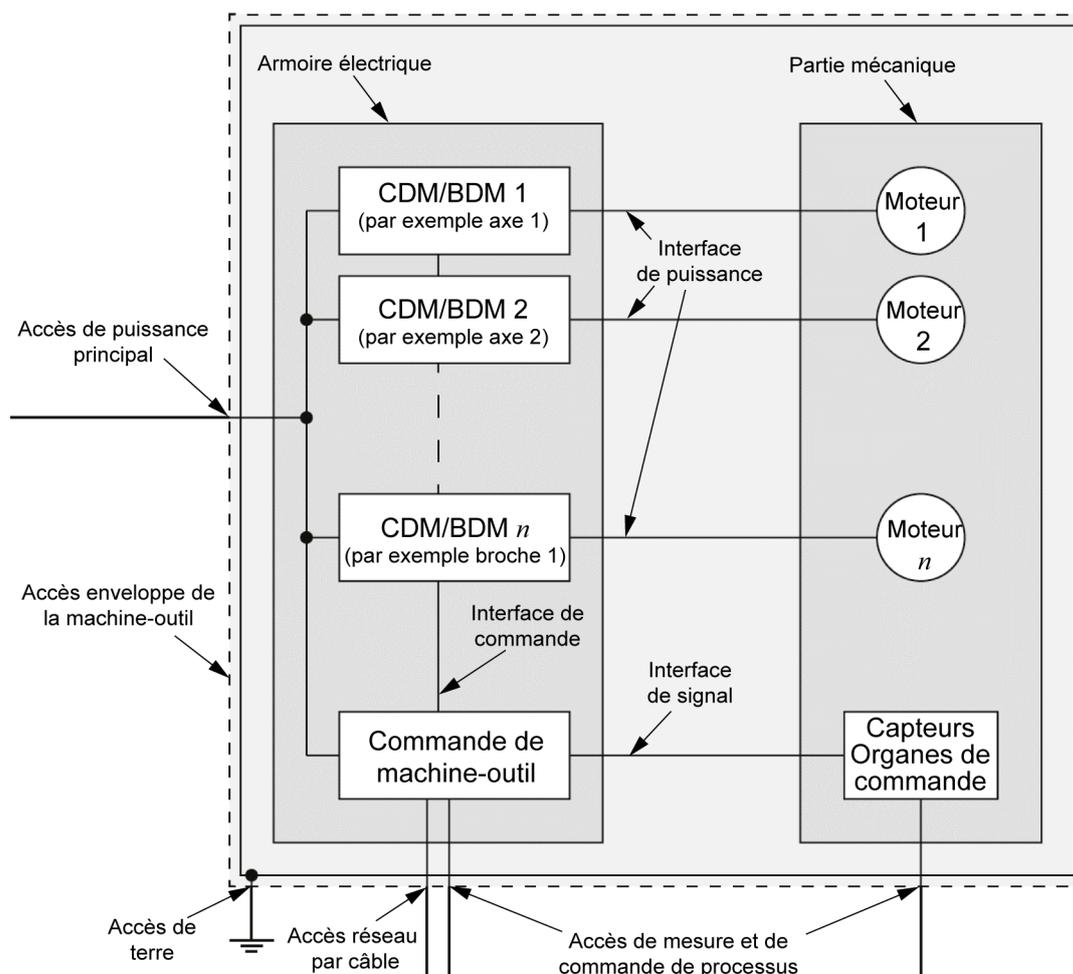
borne d'entrée ou de sortie (E/S) pour une ligne de connexion entre le module d'entraînement principal ou le module d'entraînement complet (BDM/CDM) et une autre partie du PDS, ou, dans le cas d'une MT, pour la connexion du BDM/CDM à une autre partie de la MT

Note 1 à l'article: Voir Figure 3 et Figure 4.



IEC

Figure 3 – Interfaces internes d'un PDS et exemples d'accès



IEC

Figure 4 – Interfaces internes d'une MT et exemples d'accès

3.4.9

interface de puissance

raccordement nécessaire à la distribution de puissance électrique à l'intérieur du PDS ou de la MT

Note 1 à l'article: Voir la Figure 5 pour un exemple d'interfaces de puissance et l'Article E.1 pour une explication.

Note 2 à l'article: Les interfaces de puissance du PDS peuvent prendre différentes formes et avoir différentes extensions.

– À l'intérieur du BDM/CDM

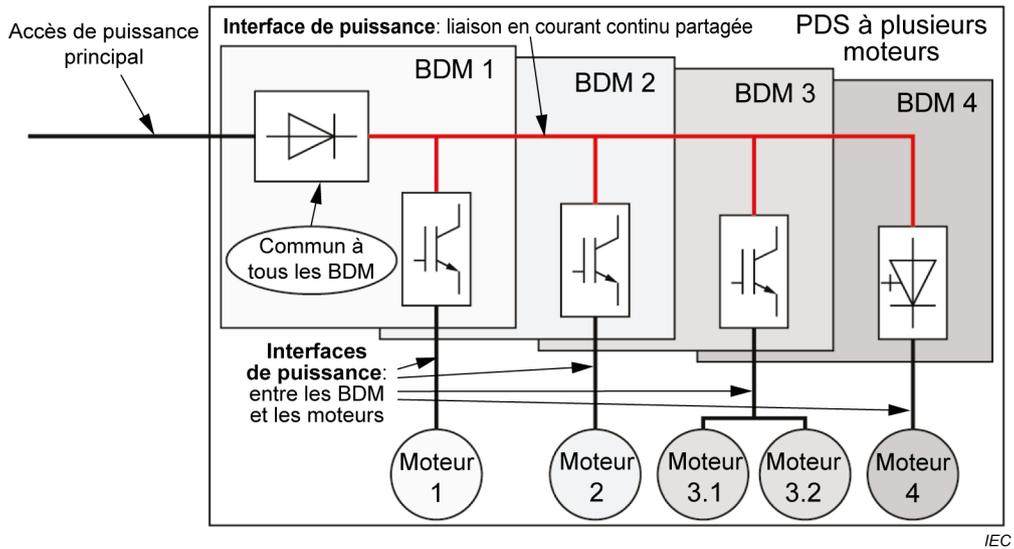
Une interface de puissance peut être le raccordement destiné à la distribution de la puissance électrique d'une partie du BDM/CDM à une autre partie du BDM/CDM. Une interface de puissance peut être commune à différents composants du PDS. Pour des exemples, voir la Figure 5 et la Figure 6.

La Figure 5 représente deux exemples d'une interface de puissance (liaison en courant continu), qui distribue l'énergie depuis un redresseur vers les onduleurs de sortie de quatre BDM. Le convertisseur d'entrée convertit l'énergie en courant alternatif en provenance du réseau de distribution en un autre type, ici de l'énergie en courant continu. Les onduleurs de sortie convertissent l'énergie depuis une forme intermédiaire (ici de l'énergie en courant continu) en un autre type (ici de l'énergie en courant alternatif), qui peut être directement fournie à des moteurs en courant alternatif.

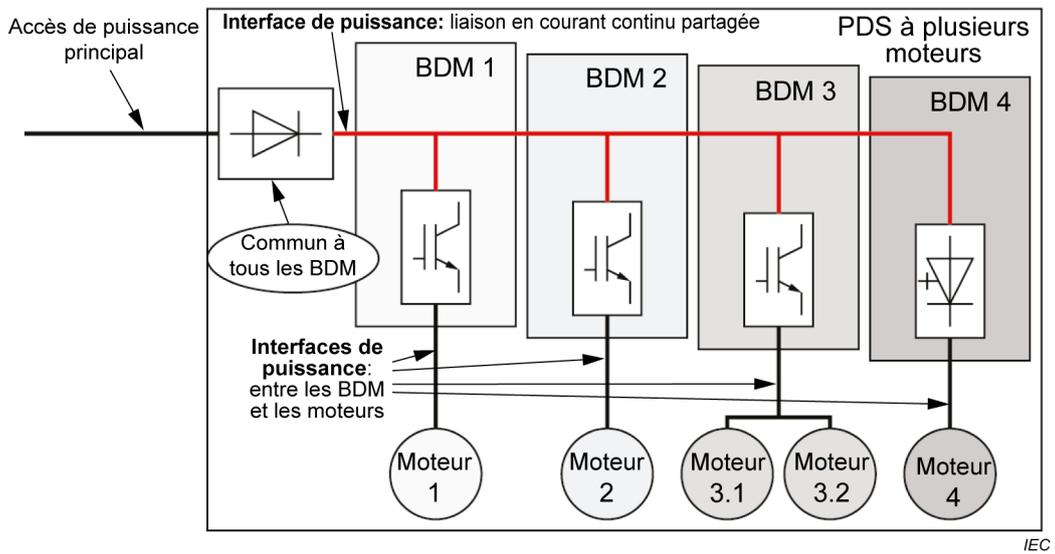
La Figure 6 représente une interface de puissance qui distribue l'énergie du secondaire d'un transformateur (faisant partie du CDM) à chaque BDM.

– À l'intérieur du PDS

Le raccordement entre l'onduleur et le ou les moteurs constitue également une interface de puissance. Il s'agit de la dernière interface de puissance avant la conversion en puissance mécanique. Cette interface de puissance est représentée à la Figure 5 et à la Figure 6.



(a) Redresseur du BDM 1 alimentant plusieurs BDM



(b) Redresseur extérieur aux BDM

Figure 5 – Interfaces de puissance d'un PDS avec liaison en courant continu commune

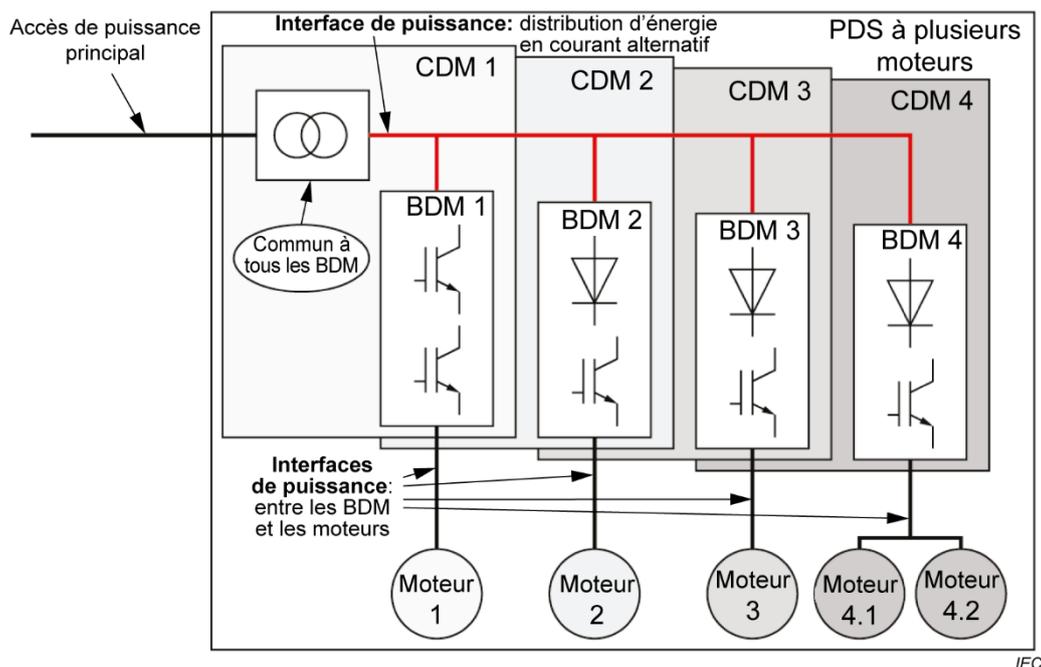


Figure 6 – Interfaces de puissance avec transformateur d'entrée commun

3.4.10 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, modifié – En français, la note à l'article a été ajoutée.]

3.4.11 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, modifié – En français, la note à l'article a été ajoutée.]

3.4.12 point de couplage PC

point pouvant être situé sur un réseau public de distribution d'énergie ou sur un réseau non public de distribution d'énergie ou à l'intérieur d'une installation

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

3.5 Composants du PDS

3.5.1

convertisseur

<du BDM> unité qui change la nature de l'énergie électrique fournie par le réseau de distribution en transformant la tension et/ou le courant et/ou la fréquence appliqués au moteur

Note 1 à l'article: Le convertisseur comprend les dispositifs de commutation électroniques et leurs circuits de commutation associés. Il est commandé par des transistors ou des thyristors ou par tout autre dispositif de commutation de puissance à semiconducteur.

Note 2 à l'article: Le convertisseur peut être commuté par le réseau, par la charge ou autocommuté et peut être composé, par exemple, d'un ou de plusieurs redresseurs ou onduleurs.

3.5.2

convertisseur à alimentation active

AIC

convertisseurs de puissance électronique autocommutés de toutes les technologies, topologies, tensions et dimensions, raccordés entre le réseau (les phases) d'alimentation en courant alternatif et, en général, une source côté courant continu (source de courant ou de tension) et pouvant convertir la puissance électrique dans les deux sens (du courant alternatif au courant continu, et du courant continu au courant alternatif) et commander la puissance réactive ou le facteur de puissance

Note 1 à l'article: Certains des AIC peuvent en outre contrôler les harmoniques afin de réduire la distorsion d'une tension ou d'un courant appliqué(e).

Note 2 à l'article: Les topologies de base peuvent être mises en place en tant que convertisseur de source de tension (voltage source converter – VSC) ou que convertisseur de source de courant (current source converter – CSC).

Note 3 à l'article: Dans la série IEC 60050, VSC et CSC sont définis en tant que convertisseur alternatif/continu imposant la tension [551-12-03] et convertisseur alternatif/continu imposant le courant [551-12-04]. La plupart des AIC sont des convertisseurs bidirectionnels dont les sources se trouvent côté courant continu.

Note 4 à l'article: Dans certains ouvrages de référence, les convertisseurs à alimentation active sont également connus sous le nom de convertisseurs à étage d'entrée actif (AFE, Active Front End).

Note 5 à l'article: L'abréviation "AIC" est dérivée du terme anglais développé correspondant "Active Infeed Converter".

[SOURCE: IEC TS 62578:2015, 3.5, modifié – L'expression "(génératrice et régénératrice)" a été remplacée par "(du courant alternatif au courant continu, et du courant continu au courant alternatif)", la dernière phrase de la Note 3 à l'article a été supprimée, et la Note 4 à l'article a été remplacée par une nouvelle note.]

3.5.3

moteur

moteur électrique

machine électrique destinée à transformer de l'énergie électrique en énergie mécanique

Note 1 à l'article: Pour les besoins du présent document, le moteur inclut tous les capteurs montés destinés à permettre son fonctionnement et interagissant avec le CDM.

[SOURCE: IEC 60050-151:2001, 151-13-41, modifié – La note à l'article a été ajoutée.]

3.6 Définitions relatives aux essais

3.6.1

essai de type

essai effectué sur un ou plusieurs dispositifs réalisés selon une conception donnée pour vérifier que cette conception répond à certaines spécifications

[SOURCE: IEC 60050-411:1996, 411-53-01, modifié – L'expression "sur une ou plusieurs machines réalisées selon" a été remplacée par "sur un ou plusieurs dispositifs réalisés selon".]

3.6.2 **in situ**

<essai> lieu où l'équipement est installé pour son usage normal par l'utilisateur final

3.6.3 **emplacement d'essai**

<de rayonnement> emplacement satisfaisant aux conditions nécessaires pour effectuer la mesure correcte, dans des conditions définies, des champs électromagnétiques rayonnés par des appareils en essai

[SOURCE: IEC 60050-161:1990, 161-04-28]

3.6.4 **petit matériel**

matériel qui est, soit placé sur une table, soit monté au mur, soit posé sur le sol, et qui tient à l'intérieur d'un volume d'essai cylindrique imaginaire dont le diamètre ne dépasse pas 1,2 m et dont la hauteur au-dessus du plan au sol ne dépasse pas 1,5 m, y compris ses câbles et d'éventuels matériels auxiliaires

Note 1 à l'article: Cette définition a été modifiée afin de s'adapter à la mesure des émissions rayonnées de l'accès enveloppe.

[SOURCE: CISPR 11:2015, 3.17, modifié – Les expressions "soit monté au mur" et "et d'éventuels matériels auxiliaires" ont été ajoutées, ainsi que la note à l'article.]

3.6.5 **équipement à montage mural**

dispositif destiné à être installé sur une surface verticale

3.6.6 **sous-composant**

partie physique d'un équipement qui peut fonctionner séparément, ayant une fonction intrinsèque définie par le fabricant

Note 1 à l'article: Pour les besoins du présent document, un composant de l'EUT peut être divisé en sous-composants.

Note 2 à l'article: Par exemple, l'unité de commande d'un CDM peut être un sous-composant.

3.6.7 **fréquence interne la plus élevée**

F_x

fréquence fondamentale la plus élevée générée ou utilisée dans l'EUT ou fréquence la plus élevée à laquelle il fonctionne

Note 1 à l'article: La fréquence interne la plus élevée inclut les fréquences qui sont uniquement utilisées dans un circuit intégré.

3.7 Définitions relatives aux phénomènes

3.7.1 **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]

3.7.2**courant harmonique total****THC**

valeur efficace totale des composantes harmoniques du courant de rangs 2 à 40
 Note à l'article: L'abréviation "THC" est dérivée du terme anglais développé correspondant "Total Harmonic Current".

$$THC = \sqrt{\sum_{h=2}^{40} I_h^2}$$

[SOURCE: IEC 61000-3-12:2011, 3.1, modifié – En français, la note à l'article a été ajoutée.]

3.7.3**taux de distorsion harmonique total****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

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

où

h est le rang harmonique;

Q_1 est la valeur efficace de la composante fondamentale;

Q_h est la valeur efficace de la composante de rang harmonique h .

Note 1 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 2 à l'article: Le taux de distorsion harmonique total peut faire l'objet d'une approximation à un certain rang (notation recommandée " H "), 40 pour le 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 – Le terme "rapport harmonique total" a été supprimé, la formule a été ajoutée et dans la Note 1 à l'article, l'expression "Le rapport harmonique total THD" a été remplacée par "Le résidu harmonique". Dans la Note 2 à l'article, l'expression "(notation recommandée " H)", 40 pour le présent document" a été ajoutée et la phrase "Les conditions de l'approximation sont alors indiquées" a été supprimée.]

3.7.4**variation de la tension**

augmentation ou diminution de tension normalement provoquée par la variation de la charge totale dans un réseau d'alimentation en électricité ou d'une partie de celui-ci

[SOURCE: IEC 60050-811:2017, 811-36-20, modifié – L'expression "dans un réseau de traction électrique" a été remplacée par "dans un réseau d'alimentation en électricité".]

3.7.5

variation de tension

variation de la valeur efficace ou de la valeur de crête d'une tension entre deux niveaux consécutifs qui se maintiennent d'une façon assez stable pendant des durées déterminées mais non spécifiées

Note 1 à l'article: Le choix entre valeur efficace et valeur de crête dépend de l'application et il convient de le spécifier.

[SOURCE: IEC 60050-161:1990, 161-08-01]

3.7.6

fluctuation de tension

suite de variations de tension ou variation permanente de la valeur efficace ou de la valeur de crête d'une tension

Note 1 à l'article: Le choix entre valeur efficace et valeur de crête dépend de l'application et il convient de le spécifier.

[SOURCE: IEC 60050-161:1990, 161-08-05]

3.7.7

creux de tension

baisse brutale de la tension en un point d'un réseau électrique, suivie d'un rétablissement de la tension après un court intervalle de temps allant de quelques cycles à quelques secondes

[SOURCE: IEC 60050-614:2016, 614-01-08, modifié – Dans la version anglaise, le deuxième terme préférentiel "voltage sag" a été supprimé. Dans la définition, l'expression "d'un réseau d'énergie électrique" a été remplacée par "d'un réseau électrique", et l'expression "allant de quelques périodes de la tension sinusoïdale à quelques secondes" a été remplacée par "allant de quelques cycles à quelques secondes".]

3.7.8

fréquence fondamentale

fréquence, dans le spectre obtenu au moyen de la transformée de Fourier, d'une fonction du temps, à laquelle toutes les fréquences du spectre sont référencées

Note 1 à l'article: Pour les besoins de la série IEC 61800, la fréquence fondamentale est la même que la fréquence du réseau de distribution d'énergie alimentant le convertisseur ou alimentée par le convertisseur, selon le cas examiné.

Note 2 à l'article: L'IEC 60050-551:2001, 551-20-01 et l'IEC 60050-551:2001, 551-20-02 définissent les composantes comme des résultats de l'analyse de Fourier; les fréquences en sont donc une conséquence. En 3.7, les définitions adoptent l'approche de l'IEC 61000-4-7:2002 en définissant d'abord les fréquences, les composantes étant une conséquence. Il n'y a pas de contradiction entre les deux approches.

Note 3 à l'article: Dans le cas d'une fonction périodique, la fréquence fondamentale est généralement égale à celle de la fonction elle-même (voir l'IEC 60050-551:2001, 551-20-03 et l'IEC 60050-551:2001, 551-20-01). La définition ci-dessus correspond à la définition d'origine de "fréquence fondamentale de référence" conforme à l'IEC 60050-551:2001, 551-20-04 et à l'IEC 60050-551:2001, 551-20-02, pour lesquelles les termes "de référence" peuvent être omis s'il n'y a pas de risque d'ambiguïté.

Note 4 à l'article: Dans le cas où il subsisterait un risque d'ambiguïté, il convient que la fréquence du réseau de distribution d'énergie soit définie en référence à la polarité et à la vitesse de rotation du ou des alternateurs synchrones alimentant le système.

Note 5 à l'article: Cette définition peut être appliquée à tout réseau industriel d'alimentation, quelle que soit la charge qu'il alimente (une charge seule ou plusieurs charges, machines tournantes ou autre charge), et même si le générateur alimentant le réseau est un convertisseur statique.

[SOURCE: IEC 61000-2-2:2002, 3.2.1, modifié – Dans la définition, la phrase commençant par "Pour les besoins de cette norme" a été déplacée dans une note, en remplaçant "cette norme" par "la série IEC 61800". Les notes ont été reformulées, et de nouvelles notes ont été ajoutées.]

3.7.9

composante fondamentale fondamental

composante dont la fréquence est la fréquence fondamentale

3.7.10

fréquence harmonique

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

[SOURCE: IEC 60050-551:2001, 551-20-05]

3.7.11

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: La valeur d'une composante harmonique s'exprime habituellement comme une valeur efficace.

[SOURCE: IEC 60050-551:2001, 551-20-07, modifié — La note à l'article a été remplacée par les Notes 1 et 2 à l'article.]

3.7.12

rang harmonique

rapport de la fréquence d'une composante sinusoïdale quelconque à la fréquence fondamentale ou à la fréquence fondamentale de référence

Note 1 à l'article: Le rang harmonique de la composante fondamentale ou de la composante fondamentale de référence est un.

Note 2 à l'article: La notation recommandée est " h ".

[SOURCE: IEC 60050-551:2001, 551-20-09, modifié – La Note 2 à l'article a été ajoutée.]

3.7.13

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 correspond au rapport de la fréquence interharmonique à la fréquence fondamentale. Ce rapport n'est pas un entier (notation recommandée " m ").

Note 2 à l'article: Lorsque " $m < 1$ ", le terme de fréquence sous-harmonique peut également être utilisé (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.]

3.7.14**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: Aux fins de la série IEC 61800 et comme indiqué dans l'IEC 61000-4-7, la fenêtre temporelle a une largeur de 10 périodes fondamentales (systèmes 50 Hz) ou de 12 périodes fondamentales (systèmes 60 Hz), c'est-à-dire 200 ms environ. 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 — La note à l'article a été remplacée par les Notes 1 et 2 à l'article.]

3.7.15**résidu harmonique****HC**

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 harmonique est:

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

où

Q représente le courant ou la tension;

h est le rang harmonique (conformément à 3.7.12);

H est 40 aux fins du présent document.

Note 5 à l'article: L'abréviation "HC" est dérivée du terme anglais développé correspondant "Harmonic Content".

[SOURCE: IEC 60050-551:2001, 551-20-12, modifié – La Note 4 à l'article a été ajoutée. En français, la Note 5 à l'article a été ajoutée.]

3.7.16**résidu total de distorsion****DC**

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 (Q par abréviation) est une grandeur périodique dont la composante continue est nulle.

Note 5 à l'article: La valeur efficace du résidu total de distorsion est:

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

où

Q issu de 3.7.15. Voir également l'IEC 60050-161:1990, 161-02-21 et l'IEC 60050-551:2001, 551-20-06.

Note 6 à l'article: L'abréviation "DC" est dérivée du terme anglais développé correspondant "total Distortion Content".

[SOURCE: IEC 60050-551:2001, 551-20-11, modifié – Le contenu entre parenthèses de la Note 4 à l'article, ainsi que la Note 5 à l'article, ont été ajoutés. En français, la Note 6 à l'article a été ajoutée.]

3.7.17

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

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

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 ont été ajoutées. La Note 2 à l'article a été supprimée et remplacée en français par une nouvelle Note 2 à l'article.]

3.7.18

rapport de distorsion individuelle

IDR

rapport entre une composante harmonique et la fondamentale:

$$IDR = \frac{Q_h}{Q_1}$$

Note 1 à l'article: Dans l'IEC 60050-161:1990, 161-02-20, ce terme est appelé "taux de l'harmonique (de rang) n " ou "taux du n ème harmonique".

Note 2 à l'article: L'abréviation "IDR" est dérivée du terme anglais développé correspondant "Individual Distortion Ratio".

4 Exigences communes

4.1 Conditions générales

Tous les phénomènes concernant les émissions ou l'immunité doivent être pris en compte individuellement. Les limites sont fournies pour des conditions ignorant les effets cumulés de différents phénomènes.

Pour évaluer l'état de la CEM de manière réaliste, une configuration type doit être choisie en se basant sur une évaluation des risques qui tient compte:

- des conditions les plus défavorables en régime établi; et

- de tous les modes de fonctionnement.

La pratique d'essais pour l'évaluation de l'immunité dépend de l'équipement spécifique soumis à essai (EUT), de sa configuration, de ses accès, de sa technologie et de ses conditions de fonctionnement (voir les annexes).

Pour plus d'informations, voir l'Annex A.

4.2 Essais

4.2.1 Conditions

Tous les essais spécifiés dans le présent document sont uniquement des essais de type. L'équipement doit satisfaire aux exigences de CEM dans toutes les conditions de fonctionnement en régime établi, comme indiqué dans le manuel d'exploitation dudit équipement lors des mesures à l'aide des méthodes d'essai spécifiées dans le présent document.

NOTE 1 Pour des raisons de législation locale sur les émissions radioélectriques, certains essais d'immunité peuvent être soumis à des conditions qui restreignent le choix des environnements où ils peuvent être effectués.

Pour les essais d'un EUT, le BDM ou le CDM doivent être raccordés à un moteur d'un type autorisé dans les instructions d'utilisation. Le moteur doit être choisi en se basant sur une évaluation des risques qui tient compte:

- des conditions les plus défavorables en régime établi; et
- de tous les modes de fonctionnement.

Le câblage entre le BDM/CDM et le moteur, ainsi que les règles de mise à la terre, doivent être conformes aux instructions d'installation du BDM ou du CDM et du moteur. Si l'EUT est un BDM ou un CDM, une charge d'essai passive (résistive, ou bien résistive et inductive) peut être appliquée en variante à un moteur pendant les essais d'immunité ou les essais d'émissions basse fréquence, sous réserve que la charge d'essai passive représente la situation la plus défavorable.

NOTE 2 Pour les émissions haute fréquence, une charge d'essai passive peut ne pas convenir pour simuler les capacités et les couplages en mode différentiel et en mode commun généralement observés.

Pour une MT, l'EUT doit réaliser un cycle programmé qui mette en application les différentes fonctions de la MT au cours de l'essai.

NOTE 3 L'essai peut être réalisé sans usiner de pièce, car la découpe de matériaux exige un fluide de refroidissement, des filtres à poussière et des extincteurs, qui ne peuvent pas être déployés sur un emplacement d'essai.

La description des essais, les méthodes d'essai, les caractéristiques des essais et les configurations d'essai sont précisées dans les normes référencées et ne sont pas répétées ici. Néanmoins, si des modifications, des exigences et informations supplémentaires ou des méthodes d'essai spécifiques sont nécessaires à la réalisation et à la mise en œuvre des essais, alors ils sont précisés dans le présent document.

Toutes les bornes doivent être raccordées et utilisées dans des conditions de fonctionnement normales, afin de s'assurer que tous les types de bornes susceptibles d'être concernés sont pris en considération. Les essais doivent être réalisés à la tension d'alimentation assignée.

NOTE 4 Si une évaluation des risques révèle que certaines bornes ne sont pas significatives pour la performance CEM de l'EUT, ces bornes peuvent rester déconnectées au cours de l'essai, tout en s'assurant que la configuration restante reste représentative de la situation la plus défavorable.

4.2.2 Rapport d'essai

Les résultats des essais doivent être consignés dans un rapport d'essai. Le rapport doit présenter clairement et sans ambiguïté toutes les informations relatives aux essais reproductibles. Une description fonctionnelle et les critères de performance (de qualification) détaillés doivent être notés dans le rapport d'essai. Les montages retenus pour l'essai doivent être justifiés dans le rapport d'essai. Le montage d'essai doit être décrit en détail dans le rapport d'essai. Le rapport d'essai doit également spécifier si l'EUT est un BDM, un CDM, un PDS ou une MT.

4.3 Documentation destinée à l'utilisateur

Les instructions d'installation doivent contenir les informations nécessaires à l'installation correcte d'un EUT dans un système ou un processus type, dans l'environnement prévu. Ces informations comprennent toutes les informations sur les émissions exigées par 6.5.1.1 et 6.5.1.3 pour les EUT de catégorie C1 et les EUT de catégorie C2, par 6.5.2.1 pour les EUT de catégorie C3 et par 6.6.2 pour les EUT de catégorie C4. Elles incluent également les informations exigées par 5.3.2 dans le cas où l'immunité d'un EUT n'est appropriée que pour les environnements résidentiels, commerciaux et de l'industrie légère.

NOTE 1 Du point de vue des émissions, un EUT d'une catégorie d'émission faible, telle que C1, peut toujours être utilisé en lieu et place d'un EUT ayant une catégorie d'émission plus élevée, telle que C3.

NOTE 2 Les catégories d'émission sont indépendantes de l'immunité. Par exemple, l'indication selon laquelle un EUT présente la catégorie d'émission C1 n'implique pas que son niveau d'immunité convienne seulement à un environnement résidentiel.

Si des mesures de CEM spéciales sont nécessaires pour respecter les limites exigées, elles doivent être clairement mentionnées dans la documentation utilisateur, et suffisamment détaillées pour permettre à l'installateur d'installer correctement l'équipement. Ces mesures peuvent, le cas échéant, inclure des informations sur les éléments suivants:

- l'impédance maximale et minimale acceptable pour le réseau d'alimentation (ou R_{SI} , R_{SC});
- utilisation de câbles blindés ou spéciaux (puissance et/ou commande);
- les exigences de raccordement du blindage des câbles;
- la longueur maximale autorisée des câbles;
- la séparation des câbles;
- utilisation d'appareillages externes tels que des filtres;
- raccordement correct de la terre fonctionnelle.

Lorsque d'autres dispositifs ou exigences de connexion s'appliquent pour des environnements différents, ils doivent également être mentionnés.

5 Exigences d'immunité

5.1 Conditions générales

5.1.1 Critères de performance (de qualification)

La performance du système se rapporte aux fonctions de l'EUT considérées comme un ensemble, qui sont déclarées dans les informations destinées à l'utilisateur.

Les critères de performance (de qualification) doivent être utilisés pour vérifier la tenue d'un EUT aux perturbations externes. Du point de vue de la CEM, toute installation conforme à la Figure 1 ou à la Figure 2 doit fonctionner correctement.

Le Tableau 1 classe les effets d'une perturbation donnée en trois critères de performance (de qualification): A, B et C pour le BDM, le CDM et le PDS.

Le Tableau 2 classe les effets d'une perturbation donnée en trois critères de performance (de qualification): A, B et C pour la MT.

L'élément "Performance générale du système" du Tableau 1 et du Tableau 2 est basé sur les critères de performance des normes génériques d'immunité pour la compatibilité électromagnétique (IEC 61000-6-1 et IEC 61000-6-2).

Les autres éléments du Tableau 1 et du Tableau 2 décrivent plus en détail la signification des critères de performance (de qualification) du système général pour des fonctionnalités spécifiques de l'EUT.

Les paragraphes 5.2 et 5.3 indiquent le critère de performance (de qualification) exigé pour chaque phénomène.

Tableau 1 – Critères de qualification d'un BDM, d'un CDM ou d'un PDS soumis aux perturbations électromagnétiques

Élément	Critère de performance (de qualification) ^a		
	A	B	C
Performance générale du système	<p>Pas de variation sensible des caractéristiques de fonctionnement</p> <p>Fonctionne comme prévu, dans les tolérances spécifiées</p> <p>Les démarrages intempestifs ne sont pas admis</p>	<p>Variations sensibles (visibles ou audibles) et temporaires des caractéristiques de fonctionnement</p> <p>Autorécupérable</p> <p>Les démarrages intempestifs ne sont pas admis</p>	<p>Arrêt, variation des caractéristiques de fonctionnement</p> <p>Déclenchement des dispositifs de protection ^b</p> <p>Non autorécupérable</p> <p>Les démarrages intempestifs ne sont pas admis</p>
Comportement du couple ^c généré	Écart de couple ^c dans les tolérances spécifiées	<p>Écart temporaire de couple ^c en dehors des tolérances spécifiées</p> <p>Autorécupérable</p>	<p>Perte de couple ^c</p> <p>Non autorécupérable</p>
Fonctionnement de l'électronique de puissance et de ses circuits de commande	Pas de dysfonctionnement des semiconducteurs de puissance	Dysfonctionnement temporaire qui ne peut pas provoquer l'arrêt intempestif du PDS	<p>Arrêt, déclenchement des dispositifs de protection ^b</p> <p>Aucune perte de programme stocké</p> <p>Aucune perte de programme utilisateur</p> <p>Aucune perte de réglages persistants</p> <p>Non autorécupérable</p>
Fonctions de traitement et d'acquisition des données	Pas de perturbation de la communication et de l'échange de données avec les dispositifs externes	Perturbation temporaire de la communication mais pas de message d'erreur des composants internes ou externes qui pourrait provoquer l'arrêt	<p>Erreurs de communication, perte de données et d'informations</p> <p>Aucune perte de programme stocké, aucune perte de programme utilisateur</p> <p>Aucune perte de réglages persistants</p> <p>Non autorécupérable</p>
Fonctionnement des afficheurs et tableaux de commande	Pas de changement des informations affichées, seulement une légère fluctuation de la luminosité des LED ou un léger mouvement des caractères	Modifications temporaires visibles des informations, illumination intempestive des LED	<p>Arrêt, perte définitive d'informations, ou mode de fonctionnement non autorisé, affichage des informations manifestement erroné</p> <p>Aucune perte de programme stocké, aucune perte de programme utilisateur</p> <p>Aucune perte de réglages persistants</p>

NOTE Le critère de performance (de qualification) A décrit un comportement continuellement inchangé de l'EUT, tandis que le critère B désigne une performance pouvant se dégrader de manière transitoire, sous réserve que cette performance puisse bénéficier de l'autorécupération.

^a Critères de performance (de qualification) A, B, C – Les démarrages intempestifs ne sont pas admis. Un démarrage intempestif consiste en un changement non voulu de l'état logique "A L'ARRET" pouvant mettre le moteur en fonctionnement.

^b Critère de performance (de qualification) C – La fonction peut être rétablie par une intervention de l'opérateur (réarmement manuel). La fusion des fusibles est admise pour les convertisseurs commutés par le réseau fonctionnant en mode inverseur.

^c Pour le BDM et le CDM, l'évaluation doit porter non pas sur le couple mais sur le courant de sortie de l'EUT.

Tableau 2 – Critères de qualification d'une MT soumise aux perturbations électromagnétiques

Élément	Critère de performance (de qualification)		
	A	B	C
Performance générale du système	Pas de variation sensible des caractéristiques de fonctionnement Fonctionne comme prévu, dans les tolérances spécifiées	Variations sensibles (visibles ou audibles) et temporaires des caractéristiques de fonctionnement Autorécupérable	Arrêt, variation des caractéristiques de fonctionnement ^a Déclenchement des dispositifs de protection Non autorécupérable
Comportement relatif à la perte de données	Aucune perte de données Fonctionnement continu	Aucune perte de données Conservation des programmes, des données et des positions	Perte de données Récupérable par redémarrage ou reconfiguration
Exécution du programme relatif aux pièces	Aucune modification dans l'exécution du programme relatif aux pièces Fonctionnement continu	Modifications temporaires dans l'exécution du programme relatif aux pièces L'exécution normale du programme reprend automatiquement	Arrêt, modifications dans l'exécution du programme relatif aux pièces, etc. L'exécution du programme est restaurée par actionnement de la commande, ou pour un quelconque autre actionnement spécifié dans les instructions d'utilisation
Fonctionnement de l'électronique de puissance (entraînements des axes et broches, etc.)	Fonctions de commande restant dans les limites définies Absence de message sur l'afficheur d'une quelconque unité concernant un dépassement des limites de commande	Fonction de commande temporairement en dehors des limites Message sur les afficheurs de l'unité de commande ou d'autres unités concernant un dépassement des limites de commande Le fonctionnement reprend automatiquement	Arrêt de l'unité par les dispositifs de protection ou de sécurité Le redémarrage par un opérateur est autorisé
Fonctions de traitement et d'acquisition des données	Absence de perturbations sur les fonctions de détection ou de communication entre les unités	Fonctions de communication ou de détection temporairement interrompues La capacité de détection/communication reste fonctionnelle; le prochain événement exigé se déroule correctement	Perte de la fonction de détection et/ou de la commande de communication entre les unités Le redémarrage par un opérateur est autorisé
Fonctionnement des afficheurs et tableaux de commande	Pas de modification des informations présentes sur l'afficheur Tout au plus une légère influence sur l'intensité, la luminosité ou le mouvement des caractères	Modifications temporaires visibles des informations présentes sur l'afficheur Allumage non souhaité temporaire de lampes et/ou de LED	Perte permanente d'informations présentes sur l'afficheur, ou présence d'informations manifestement erronées Allumage incorrect de lampes, LED, etc., non autorécupérable. Le redémarrage par un opérateur est autorisé
^a Exemples: Le moniteur s'éteint, mais la machine continue de fonctionner correctement; des indicateurs d'alarme se déclenchent sans raison; des messages d'erreur incohérents, incompatibles avec l'état effectif de la machine, s'affichent sur le moniteur (par exemple message d'erreur sur la position du moteur, en l'absence de déplacement).			

5.1.2 Conditions pendant l'essai

5.1.2.1 Généralités

Les exigences de l'essai d'immunité pour un équipement couvert par le présent document sont données accès par accès et énumérées en 5.2 et 5.3.

NOTE En présence de plusieurs accès de mesure et de commande de processus ou interfaces de signal pour lesquels une configuration physique (disposition) identique est constatée et consignée dans le rapport d'essai, la pratique usuelle consiste à ne soumettre à essai qu'un seul type d'accès ou d'interface. Une évaluation des risques est utile pour justifier une quelconque réduction du nombre de ports soumis à essai.

Les paragraphes 5.2 et 5.3 présentent les exigences minimales, les essais et les critères de performance (de qualification). Les critères de performance (de qualification) sont cités en référence à 5.1.1.

5.1.2.2 Conditions d'essai des BDM/CDM/PDS

La charge des BDM/CDM/PDS utilisée pour les essais doit être choisie conformément au paragraphe 4.2.1. La charge réelle doit être consignée dans le rapport d'essai.

L'essai de comportement en générateur de couple ainsi que celui des fonctions de détection et de traitement des informations exigent un équipement d'essai spécial possédant une immunité adaptée contre les couplages parasites des perturbations de l'essai. La configuration d'essai ne peut être utilisée que si son immunité peut être prouvée par des mesures de référence.

Pour l'essai de performance des fonctions de détection et de traitement des informations, un équipement approprié pour la simulation de la communication ou de l'évaluation des données doit être disponible. Cet équipement doit posséder une immunité suffisante pour fonctionner correctement pendant l'essai.

5.1.2.3 Conditions d'essai des MT

La MT doit fonctionner normalement pendant la mesure, mais sans traiter de pièces, sans utiliser de liquide de refroidissement, sans transporter de pièces ou copeaux bruts et finis, etc., et sans usiner de pièce. Bien que la MT ne produise pas de pièces, il convient que tous les composants nécessaires au fonctionnement à l'intérieur de la MT (indépendante) soient intégrés et en fonctionnement.

Pendant les essais concernant les champs électromagnétiques et les fréquences radioélectriques conduites en mode commun, la MT doit exécuter un programme de fonctionnement automatique, qui sollicite tout l'équipement de la MT (avec un temps de cycle type), par exemple tel qu'elle est utilisée en configuration de production réelle. Le programme automatique doit être décrit dans le rapport d'essai.

Si la MT ou les sous-composants peuvent être raccordés à un équipement auxiliaire, alors la MT ou le sous-composant doivent être soumis à essai en étant raccordés à la configuration minimale d'équipement auxiliaire, qui permette de solliciter tous les accès retenus pour les essais.

5.2 Exigences d'immunité de base – Perturbations basse fréquence (< 150 kHz)

5.2.1 Harmoniques

5.2.1.1 EUT basse tension

L'EUT doit rester conforme aux niveaux d'immunité tout en satisfaisant aux critères de performance donnés dans le Tableau 3. L'essai doit être réalisé en utilisant l'EUT avec le moteur raccordé. La méthode d'essai de l'IEC 61000-4-13 doit être appliquée.

NOTE Le domaine d'application de l'IEC 61000-4-13 se limite à 16 A. Cependant, des générateurs d'essai de plus de 16 A peuvent également être disponibles. Lorsqu'un tel équipement d'essai est disponible, un EUT avec un courant d'entrée assigné supérieur à 16 A peut également être soumis à essai conformément à l'IEC 61000-4-13.

Tableau 3 – Exigences minimales d'immunité pour les rangs harmoniques individuels sur les accès de puissance en courant alternatif des EUT basse tension

Phénomène/ Rang harmonique	Environnement résidentiel, commercial ou de l'industrie légère		Environnement industriel		Critère de performance (de qualification)
	Document de référence	Niveau	Document de référence	Niveau	
2	IEC 61000-4-13 classe 2	3 %	IEC 61000-4-13 classe 3	5 %	A, C ^a
3		8 %		9 %	
4		1,5 %		2 %	
5		9 %		12 %	
Rangs pairs $6 \leq h \leq 40$		Aucune exigence		1,5 %	
7		7,5 %		10 %	
9		2,5 %		4 %	
11		5 %		7 %	
13		4,5 %		7 %	
15		Aucune exigence		3 %	
17		3 %		6 %	
19		2 %		6 %	
21		Aucune exigence		2 %	
23		2 %		6 %	
25		2 %		6 %	
27		Aucune exigence		2 %	
29		1,5 %		5 %	
31		1,5 %		3 %	
33		Aucune exigence		2 %	
35		1,5 %		3 %	
37	1,5 %	3 %			
39	Aucune exigence	2 %			

NOTE 1 Pour les rangs harmoniques individuels correspondant à des environnements résidentiels, commerciaux ou de l'industrie légère, les niveaux sont ceux de la classe 2 de l'IEC 61000-4-13 (lesquels correspondent approximativement à 1,5 fois les niveaux de compatibilité de l'IEC 61000-2-4).

NOTE 2 Pour les rangs harmoniques individuels correspondant à des environnements industriels, les niveaux sont ceux de la classe 3 de l'IEC 61000-4-13 (lesquels correspondent approximativement à 1,5 fois les niveaux de compatibilité de l'IEC 61000-2-4).

NOTE 3 Des tensions harmoniques élevées peuvent entraîner une puissance dissipée excessive dans les filtres passifs des circuits d'entrée des convertisseurs à alimentation active. Cela peut provoquer le déclenchement de la protection thermique de ces filtres, entraînant le critère de performance C. Si le critère de performance A est souhaité à ces niveaux d'essai, un filtre spécifique à l'installation peut être exigé.

^a Généralement, le critère de performance est le critère A. Cependant, dans le cas de convertisseurs à alimentation active, le critère de performance C est accepté.

5.2.1.2 EUT de tension assignée supérieure à 1 000 V

5.2.1.2.1 Accès de puissance principal en courant alternatif

L'EUT doit rester conforme aux niveaux d'immunité donnés dans le Tableau 4.

Tableau 4 – Exigences minimales d'immunité pour les harmoniques sur les accès de puissance principaux en courant alternatif des EUT de tension assignée supérieure à 1 000 V

Phénomène	Document de référence	Niveau	Critère de performance (de qualification)
Harmoniques (rangs harmoniques individuels)	IEC 61000-2-4 classe 3	Valeur du niveau de compatibilité	A
Harmoniques transitoires (< 15 s)	IEC 61000-2-4 classe 2	1,5 fois la valeur du niveau de compatibilité	A

5.2.1.2.2 Accès de puissance auxiliaire en courant alternatif

Les accès de puissance auxiliaires en courant alternatif des EUT doivent rester conformes aux niveaux d'immunité pour les environnements industriels donnés dans le Tableau 3, tout en satisfaisant aux critères de performance donnés dans ce tableau.

5.2.2 Creux de tension et coupures brèves

5.2.2.1 EUT basse tension

L'EUT doit rester conforme aux niveaux d'immunité donnés dans le Tableau 5.

Pour un équipement ayant un courant assigné pouvant atteindre 16 A par phase, l'EUT doit être soumis à essai en utilisant la méthode de l'IEC 61000-4-11. Pour un équipement ayant un courant assigné supérieur à 16 A par phase, l'EUT doit être soumis à essai en utilisant la méthode de l'IEC 61000-4-34.

Tableau 5 – Exigences minimales d'immunité pour les creux de tension et les coupures brèves sur les accès de puissance en courant alternatif des EUT basse tension

Phénomène	Environnement résidentiel, commercial ou de l'industrie légère		Environnement industriel		Critère de performance (de qualification)		
	Document de référence	Niveau	Document de référence	Niveau			
Creux de tension	IEC 61000-4-11 classe 2	Tension restante	Cycles	IEC 61000-4-11 classe 3	Tension restante	Cycles	C ^b
		0 %	1		0 %	1	
	ou IEC 61000-4-34 classe 2 ^c	70 %	25/30 ^a	ou IEC 61000-4-34 classe 3 ^c	40 %	10/12 ^a	
					70 %	25/30 ^a	
				80 %	250/300 ^a		
Coupures brèves	IEC 61000-4-11 classe 2	Tension restante	Cycles	IEC 61000-4-11 classe 3	Tension restante	Cycles	C ^b
	ou IEC 61000-4-34 classe 2 ^c	0 %	250/300 ^a	ou IEC 61000-4-34 classe 3 ^c	0 %	250/300 ^a	

^a "cycles x/y" signifie "x cycles pour l'essai à 50 Hz" et "y cycles pour l'essai à 60 Hz".

^b La fusion des fusibles est admise pour les convertisseurs commutés par le réseau fonctionnant en mode inverseur.

^c L'IEC 61000-4-11 s'applique aux équipements ayant un courant assigné inférieur ou égal à 16 A et l'IEC 61000-4-34 s'applique aux équipements ayant un courant assigné supérieur à 16 A.

NOTE 1 Un BDM/CDM/PDS est utilisé pour convertir l'énergie, et un creux de tension représente une perte de l'énergie disponible. Il peut être nécessaire d'opérer un déclenchement pour des raisons de sécurité, même pendant un creux de tension de 30 % à 50 % d'amplitude et d'une durée de 0,3 s.

NOTE 2 Une tension d'entrée décroissante, même pendant quelques millisecondes, peut conduire à la fusion des fusibles lorsqu'elle est appliquée à un convertisseur à thyristor commuté par le réseau fonctionnant en mode générateur.

NOTE 3 L'effet d'un creux de tension (réduction d'énergie) sur le processus ne peut être défini sans connaissance détaillée du processus lui-même. Cet effet est un aspect du système et du dimensionnement et est généralement maximal lorsque la demande de puissance (pertes comprises) sur l'EUT est supérieure à la puissance disponible.

NOTE 4 Lorsque cela est possible et ne présente pas de danger, le comportement de l'EUT pendant les coupures brèves peut être vérifié en coupant puis en rétablissant l'alimentation pendant les conditions de fonctionnement normales de l'EUT (voir B.6.1).

Les dégradations de performance résultant de creux de tension ou de coupures brèves doivent être stipulées dans la documentation destinée à l'utilisateur.

NOTE 5 Des améliorations de l'immunité (utilisation d'alimentation sans interruption (UPS), générateur de secours, déclassement, etc.) peuvent se traduire par une augmentation sensible de taille et de coût de l'EUT et peuvent réduire le rendement ou le facteur de puissance. Des manœuvres telles que le redémarrage automatique peuvent avoir des conséquences sur la sécurité, lesdites conséquences n'étant pas couvertes par le présent document.

5.2.2.2 EUT de tension assignée supérieure à 1 000 V

5.2.2.2.1 Accès de puissance principal en courant alternatif

Les accès de puissance principaux en courant alternatif des EUT doivent rester conformes aux niveaux d'immunité donnés dans le Tableau 6.

L'EUT doit être soumis à essai en utilisant la méthode de l'IEC 61000-4-34.

Tableau 6 – Exigences minimales d'immunité pour les creux de tension et les coupures brèves sur les accès de puissance principaux en courant alternatif des EUT de tension assignée supérieure à 1 000 V

Phénomène	Document de référence	Niveau		Critère de performance (de qualification)
		Tension restante	Cycles	
Creux de tension	IEC 61000-4-34 ^a	Tension restante	Cycles	C ^c
		0 %	1	
		40 %	10/12 ^b	
		70 %	25/30 ^b	
		80 %	250/300 ^b	
Coupures brèves	IEC 61000-4-34 ^a	Tension restante	Cycles	C ^c
		0 %	250/300 ^b	

^a Les profondeurs et durées types des creux de tension sont données dans l'IEC TR 61000-2-8.

^b "cycles x/y" signifie "x cycles pour l'essai à 50 Hz" et "y cycles pour l'essai à 60 Hz".

^c La fusion des fusibles est admise pour les convertisseurs commutés par le réseau fonctionnant en mode inverseur.

Les dégradations de performance résultant de creux de tension ou de coupures brèves doivent être stipulées dans la documentation destinée à l'utilisateur.

5.2.2.2.2 Accès de puissance auxiliaire en courant alternatif

Les accès de puissance auxiliaires en courant alternatif basse tension des EUT doivent rester conformes aux niveaux d'immunité donnés dans le Tableau 7.

Tableau 7 – Exigences minimales d'immunité pour les creux de tension et les coupures brèves sur les accès de puissance auxiliaires en courant alternatif basse tension des EUT

Phénomène	Document de référence	Niveau		Critère de performance (de qualification)
		Tension restante	Cycles	
Creux de tension	IEC 61000-4-11 ou	Tension restante	Cycles	C
		0 %	1	
	IEC 61000-4-34 ^b	40 %	10/12 ^a	
		70 %	25/30 ^a	
		80 %	250/300 ^a	
Coupures brèves	IEC 61000-4-11 classe 3 ou IEC 61000-4-34 classe 3 ^b	Tension restante	Cycles	C
		0 %	250/300 ^a	
^a "cycles x/y" signifie "x cycles pour l'essai à 50 Hz" et "y cycles pour l'essai à 60 Hz". ^b L'IEC 61000-4-11 s'applique aux équipements ayant un courant assigné inférieur ou égal à 16 A et l'IEC 61000-4-34 s'applique aux équipements ayant un courant assigné supérieur à 16 A.				

5.2.3 Variations de fréquence

5.2.3.1 EUT basse tension

L'EUT doit rester conforme aux niveaux d'immunité donnés dans le Tableau 8. Pendant les essais, la condition de charge assignée doit être utilisée.

Tableau 8 – Exigences minimales d'immunité pour les variations de fréquence sur les accès de puissance en courant alternatif des EUT basse tension

Phénomène	Environnement résidentiel, commercial ou de l'industrie légère		Environnement industriel		Critère de performance (de qualification)
	Document de référence	Niveau	Document de référence	Niveau	
Variations de fréquence	IEC 61000-4-28	Grandeur de variation de fréquence: ± 2 % Durée transitoire entre fréquences: 2 s	IEC 61000-4-28	Grandeur de variation de fréquence: ± 2 % ± 4 % lorsque l'alimentation est distincte des réseaux publics d'alimentation Durée transitoire entre fréquences: 2 s	A
NOTE La vitesse de variation de la fréquence est spécifiée conformément à l'IEC 61000-4-28. Pour une durée transitoire de 2 s, une variation de fréquence de ± 2 % correspond à une vitesse de variation de fréquence de ± 1 %/s, et une variation de fréquence de ± 4 % correspond à une vitesse de variation de fréquence de ± 2 %/s.					

5.2.3.2 EUT de tension assignée supérieure à 1 000 V

5.2.3.2.1 Accès de puissance principal en courant alternatif

L'EUT doit rester conforme aux niveaux d'immunité donnés dans le Tableau 9. Pendant la vérification, la condition de charge assignée doit être utilisée.

Tableau 9 – Exigences minimales d'immunité pour les variations de fréquence sur les accès de puissance principaux en courant alternatif des EUT de tension assignée supérieure à 1 000 V

Phénomène	Document de référence	Niveau	Critère de performance (de qualification)
Variations de fréquence	IEC 61000-4-28	Grandeur de variation de fréquence: $\pm 2 \%$ $\pm 4 \%$ lorsque l'alimentation est distincte des réseaux publics d'alimentation Durée transitoire entre fréquences: 2 s	A

NOTE La vitesse de variation de la fréquence est spécifiée conformément à l'IEC 61000-4-28. Pour une durée transitoire de 2 s, une variation de fréquence de $\pm 2 \%$ correspond à une vitesse de variation de fréquence de $\pm 1 \%/s$, et une variation de fréquence de $\pm 4 \%$ correspond à une vitesse de variation de fréquence de $\pm 2 \%/s$.

5.2.3.2.2 Accès de puissance auxiliaire en courant alternatif

Les accès de puissance auxiliaires en courant alternatif des EUT doivent rester conformes aux niveaux d'immunité donnés dans le Tableau 10.

Tableau 10 – Exigences minimales d'immunité pour les variations de fréquence sur les accès de puissance auxiliaires en courant alternatif basse tension des EUT

Phénomène	Document de référence	Niveau	Critère de performance (de qualification)
Variations de fréquence	IEC 61000-4-28	Grandeur de variation de fréquence: $\pm 2 \%$ $\pm 4 \%$ lorsque l'alimentation est distincte des réseaux publics d'alimentation Durée transitoire entre fréquences: 2 s	A

NOTE La vitesse de variation de la fréquence est spécifiée conformément à l'IEC 61000-4-28. Pour une durée transitoire de 2 s, une variation de fréquence de $\pm 2 \%$ correspond à une vitesse de variation de fréquence de $\pm 1 \%/s$, et une variation de fréquence de $\pm 4 \%$ correspond à une vitesse de variation de fréquence de $\pm 2 \%/s$.

5.2.4 Effets de l'alimentation – Champs magnétiques

Les essais d'immunité réalisés conformément à l'IEC 61000-4-8 ne sont pas exigés.

NOTE Les BDM, CDM, PDS et MT sont intrinsèquement immunisés contre les champs magnétiques externes, car les champs magnétiques à l'intérieur de l'EUT présentent des ordres de grandeur supérieurs aux niveaux d'essai des champs magnétiques définis dans l'IEC 61000-4-8 (voir explication en A.3.1).

5.3 Exigences d'immunité de base – Perturbations basse fréquence (≥ 150 kHz)

5.3.1 Conditions

Le Tableau 11 et le Tableau 12 ci-après exposent les exigences minimales d'immunité pour les essais de perturbations haute fréquence et les critères de performance (de qualification). Les critères de performance (de qualification) sont cités en référence à 5.1.1.

5.3.2 Environnement résidentiel, commercial ou de l'industrie légère

Les niveaux du Tableau 11 doivent être appliqués aux EUT qui sont destinés à être utilisés exclusivement dans des environnements résidentiels, commerciaux ou de l'industrie légère.

Si un EUT est conçu pour présenter une immunité conforme au Tableau 11, les instructions d'utilisation doivent comporter un avertissement écrit précisant que le produit n'est pas destiné à être utilisé dans un environnement industriel.

Tableau 11 – Exigences minimales d'immunité pour les EUT destinés à être utilisés dans un environnement résidentiel, commercial ou de l'industrie légère

Accès	Phénomène	Norme de base pour la méthode d'essai	Niveau	Critère de performance (de qualification)
Accès enveloppe	Décharge électrostatique (ESD)	IEC 61000-4-2	4 kV (CD) ou 8 kV (AD) si CD impossible ^g	B
	Champ électromagnétique à radiofréquence, amplitude modulée	IEC 61000-4-3	80 MHz à 1 000 MHz 3 V/m 80 % AM (1 kHz)	A
	Champ électromagnétique à radiofréquence, amplitude modulée	IEC 61000-4-3	1,4 GHz à 6,0 GHz 3 V/m 80 % AM (1 kHz)	A
Accès de puissance (sauf les accès de puissance auxiliaires en courant continu inférieurs à 60 V)	Transitoires rapides en salves	IEC 61000-4-4	1 kV 5 kHz ou 100 kHz ^{a,b}	B
	Surtension ^c 1,2/50 μ s, 8/20 μ s	IEC 61000-4-5	1 kV ^d 2 kV ^e	B
	Fréquences radioélectriques conduites en mode commun	IEC 61000-4-6	0,15 MHz à 80 MHz 3 V 80 % AM (1 kHz)	A
Interfaces de puissance	Transitoires rapides en salves ^f	IEC 61000-4-4	1 kV 5 kHz ou 100 kHz ^b Pince capacitive	B
Interfaces de signaux	Transitoires rapides en salves ^f	IEC 61000-4-4	0,5 kV 5 kHz ou 100 kHz ^b Pince capacitive	B
	Fréquences radioélectriques conduites en mode commun ^f	IEC 61000-4-6	0,15 MHz à 80 MHz 3 V 80 % AM (1 kHz)	A

Accès	Phénomène	Norme de base pour la méthode d'essai	Niveau	Critère de performance (de qualification)
Accès des lignes de mesure et de commande de processus et accès réseau par câble	Transitoires rapides en salves ^f	IEC 61000-4-4	0,5 kV 5 kHz ou 100 kHz ^b Pince capacitive	B
Accès de puissance auxiliaires en courant continu inférieurs à 60 V	Surtension ^g 1,2/50 µs, 8/20 µs	IEC 61000-4-5	1 kV ^e	B
	Fréquences radioélectriques conduites en mode commun ^f	IEC 61000-4-6	0,15 MHz à 80 MHz 3 V 80 % AM (1 kHz)	A
CD: décharge au contact (Contact Discharge) AD: décharge dans l'air (Air Discharge) AM: modulation d'amplitude (Amplitude Modulation)				
<p>^a Accès de puissance de courant assigné < 100 A: couplage direct par l'intermédiaire du réseau de couplage et de découplage. Accès de puissance de courant assigné ≥ 100 A: si l'EUT ne fonctionne pas correctement avec le réseau de couplage et de découplage, une pince capacitive sans réseau de découplage doit être utilisée à la place. Si une pince capacitive est utilisée, le niveau d'essai doit être de 2 kV. La méthode d'essai retenue doit figurer dans le rapport d'essai.</p> <p>^b L'essai peut être réalisé à l'une des deux fréquences de répétition, ou bien aux deux. La fréquence de 5 kHz est généralement utilisée; cependant, la fréquence de 100 kHz est plus proche de la réalité. La méthode d'essai retenue doit figurer dans le rapport d'essai.</p> <p>^c Ne s'applique qu'aux accès de puissance présentant une consommation de courant < 63 A dans les conditions d'essai à faible charge spécifiées en 4.2.1.</p> <p>^d Couplage entre phases.</p> <p>^e Couplage phase-terre.</p> <p>^f Applicable seulement aux accès ou interfaces destinés à des câbles dont il est autorisé que la longueur totale, conformément aux instructions d'utilisation, dépasse 3 m. Voir la justification en A.3.2.1.</p> <p>^g Voir la norme de base pour l'applicabilité de l'essai de décharge au contact et/ou dans l'air, et pour l'applicabilité des plans de couplage horizontaux (HCP, Horizontal Coupling Plane) et des plans de couplage verticaux (VCP, Vertical Coupling Plane).</p>				

5.3.3 Environnement industriel

Les niveaux du Tableau 12 doivent être appliqués aux EUT qui sont destinés à être utilisés dans un environnement industriel. Ceci s'applique également aux accès basse tension, ou aux interfaces basse tension (puissance et signaux) des EUT de tension assignée supérieure à 1 000 V.

NOTE 1 Exemples d'accès basse tension et d'interfaces d'EUT de tension assignée supérieure à 1 000 V:

- Accès enveloppe BT enveloppe d'auxiliaires, commande et protection;
- Accès de puissance BT alimentation BT de l'EUT;
- Interfaces de puissance BT distribution de l'alimentation auxiliaire entre les principaux composants de l'EUT;
- Interfaces de signal BT interfaces de signal BT entre les principaux composants de l'EUT;
- Accès processus BT accès signal de l'EUT.

Tableau 12 – Exigences minimales d'immunité pour les EUT destinés à être utilisés dans un environnement industriel

Accès	Phénomène	Norme de base pour la méthode d'essai	Niveau	Critère de performance (de qualification)
Accès enveloppe	Décharge électrostatique (ESD)	IEC 61000-4-2	4 kV CD ou 8 kV AD si CD impossible ^h	B
	Champ électromagnétique à radiofréquence, amplitude modulée	IEC 61000-4-3	80 MHz à 1 000 MHz 10 V/m 80 % AM (1 kHz)	A
	Champ électromagnétique à radiofréquence, amplitude modulée	IEC 61000-4-3	1,4 GHz à 6,0 GHz 3 V/m 80 % AM (1 kHz)	A
Accès de puissance (sauf les accès de puissance auxiliaires en courant continu inférieurs à 60 V)	Transitoires rapides en salves	IEC 61000-4-4	2 kV 5 kHz ou 100 kHz ^{a,b}	B
	Surtension ^c 1,2/50 µs, 8/20 µs	IEC 61000-4-5	1 kV ^d 2 kV ^e	B
	Fréquences radioélectriques conduites en mode commun ^f	IEC 61000-4-6	0,15 MHz à 80 MHz 10 V 80 % AM (1 kHz)	A
Interfaces de puissance	Transitoires rapides en salves ^f	IEC 61000-4-4	2 kV 5 kHz ou 100 kHz ^b Pince capacitive	B
Interfaces de signaux	Transitoires rapides en salves ^f	IEC 61000-4-4	1 kV 5 kHz ou 100 kHz ^b Pince capacitive	B
	Fréquences radioélectriques conduites en mode commun ^f	IEC 61000-4-6	0,15 MHz à 80 MHz 10 V 80 % AM (1 kHz)	A
Accès des lignes de mesure et de commande de processus et accès réseau par câble Accès de puissance auxiliaires en courant continu inférieurs à 60 V	Transitoires rapides en salves ^f	IEC 61000-4-4	2 kV 5 kHz ou 100 kHz ^b Pince capacitive	B
	Surtension ^g 1,2/50 µs, 8/20 µs	IEC 61000-4-5	1 kV ^e	B
	Fréquences radioélectriques conduites en mode commun ^f	IEC 61000-4-6	0,15 MHz à 80 MHz 10 V 80 % AM (1 kHz)	A
CD: décharge au contact (Contact Discharge) AD: décharge dans l'air (Air Discharge) AM: modulation d'amplitude (Amplitude Modulation)				

a	Accès de puissance de courant assigné < 100 A: couplage direct par l'intermédiaire du réseau de couplage et de découplage. Accès de puissance de courant assigné \geq 100 A: si l'EUT ne fonctionne pas correctement avec le réseau de couplage et de découplage, une pince capacitive sans réseau de découplage doit être utilisée à la place. Si une pince capacitive est utilisée, le niveau d'essai doit être de 4 kV. La méthode d'essai retenue doit figurer dans le rapport d'essai.
b	L'essai peut être réalisé à l'une des deux fréquences de répétition, ou bien aux deux. La fréquence de 5 kHz est généralement utilisée; cependant, la fréquence de 100 kHz est plus proche de la réalité. La méthode d'essai retenue doit figurer dans le rapport d'essai.
c	Ne s'applique qu'aux accès de puissance présentant une consommation de courant < 63 A dans les conditions d'essai à faible charge spécifiées en 4.2.1.
d	Couplage entre phases.
e	Couplage phase-terre.
f	Applicable seulement aux accès ou interfaces destinés à des câbles dont il est autorisé que la longueur totale admise, spécifiée dans les instructions d'utilisation, dépasse 3 m. Voir la justification en A.3.2.1.
g	Applicable seulement aux accès destinés à des câbles dont il est autorisé que la longueur totale, conformément aux instructions d'utilisation, dépasse 30 m. Voir la justification en A.3.2.2. Dans le cas d'un câble blindé, un couplage direct avec le blindage est appliqué. Cette exigence d'immunité ne s'applique pas aux bus de communication de terrain ou autres interfaces de signaux pour lesquelles il est difficile, pour des raisons techniques, d'utiliser des dispositifs de protection contre les surtensions. L'essai n'est pas exigé là où le fonctionnement normal de l'équipement soumis à essai (EUT) ne peut pas être obtenu à cause de l'influence du réseau de couplage/découplage.
h	Voir la norme de base pour l'applicabilité de l'essai de décharge au contact et/ou dans l'air, et pour l'applicabilité des plans de couplage horizontaux (HCP) et des plans de couplage verticaux (VCP).

Ces phénomènes ne sont pas significatifs lorsqu'ils sont appliqués aux accès de tension d'isolement assignée supérieure à 1 000 V. Pour plus de simplicité, ces accès sont appelés accès HT des EUT de tension assignée supérieure à 1 000 V.

NOTE 2 Exemples d'accès et d'interfaces HT d'un EUT de tension assignée supérieure à 1 000 V:

- Accès enveloppe HT enveloppe du transformateur, partie convertisseur et moteur;
- Accès de puissance HT primaire du transformateur;
- Interfaces de puissance HT distribution de l'alimentation HT entre les principaux composants de l'EUT;
- Interfaces de signal HT interfaces de signal HT entre les principaux composants de l'EUT.

5.4 Application des exigences d'immunité – Méthodes de vérification en variante

5.4.1 Généralités

Pour certains phénomènes d'immunité, la conformité peut être établie en réalisant des essais des sous-composants.

Pour certains phénomènes d'immunité basse fréquence, une autre variante consiste à utiliser le calcul ou la simulation, à la place des essais.

Dans ces cas, la méthode de vérification retenue doit figurer dans le rapport d'essai. Une évaluation des risques doit attester que le modèle de simulation et/ou de calcul, ou que les sous-composants de l'EUT qui ont été choisis, incluent tous les effets pertinents pour le phénomène de CEM évalué. Sauf indication contraire, il suffit de montrer que le circuit de puissance satisfait aux critères de performance (de qualification) exigés en 5.2 et 5.3, et que les paramètres assignés des circuits d'entrée (filtres, etc.) ne sont pas dépassés.

NOTE 1 Dans certains cas, la simulation et le calcul donnent une évaluation plus efficace que les essais d'immunité ou d'émissions basse fréquence réalisés sur un EUT. Voici des exemples de tels cas.

- L'EUT est trop volumineux pour être placé dans une chambre d'essai de CEM.
- La puissance de l'EUT est supérieure à la puissance des générateurs d'essai disponibles.
- Les conditions réseau (impédance, prédistorion) ne peuvent pas être obtenues avec le générateur d'essai disponible.
- Les normes génériques ou de base autorisent l'évaluation par calcul ou simulation.

NOTE 2 Les essais réalisés sur un modèle représentatif constituent un moyen de vérifier le modèle de simulation.

5.4.2 Simulation et calcul des harmoniques

Le paragraphe 5.4.2 est particulièrement destiné à l'équipement présentant un courant d'entrée supérieur à 16 A. L'EUT doit rester conforme aux niveaux d'immunité tout en satisfaisant aux critères de performance donnés dans le Tableau 3 ou le Tableau 4, suivant le cas. Il doit être vérifié que, si l'harmonique est présent pendant la durée définie dans la norme régissant l'essai, l'EUT atteint le critère de performance donné dans le tableau applicable. En cas de simulation d'immunité, le modèle de simulation doit au moins englober les éléments suivants:

- le générateur d'essai conformément à l'IEC 61000-4-13;
- le circuit de puissance principal de la partie BDM de l'EUT, ainsi que ses signaux de commande et de surveillance;
- un circuit de charge.

La méthode de vérification retenue doit figurer dans le rapport d'essai. Une évaluation des risques doit être effectuée conformément à 4.1.

5.4.3 Méthodes de vérification en variante pour les creux de tension et les coupures brèves

L'EUT doit rester conforme aux niveaux d'immunité donnés dans le tableau applicable (Tableau 5, Tableau 6 ou Tableau 7).

Pour les équipements ayant un courant assigné supérieur à 75 A par phase et les équipements ayant une tension assignée supérieure à 1 000 V, l'essai de continuité de fonctionnement en cas de sous-tension (UVRT, UnderVoltage Ride-Through), conformément à l'IEC 61400-21-1:2019, 8.5.2.2, peut être utilisé en variante à la méthode d'essai de l'IEC 61000-4-34.

Si, pour des raisons de puissance élevée, etc., aucun équipement d'essai approprié utilisant l'une quelconque des méthodes ci-dessus n'est disponible, l'immunité peut être vérifiée par calcul ou simulation. En cas de simulation d'immunité, le modèle de simulation doit au moins englober les éléments suivants:

- le générateur d'essai conformément à l'IEC 61000-4-11 ou à l'IEC 61000-4-34;
- le circuit de puissance principal de la partie BDM de l'EUT, ainsi que ses signaux de commande;
- un circuit de charge.

La méthode de vérification retenue doit figurer dans le rapport d'essai. Une évaluation des risques doit être effectuée conformément à 4.1.

5.4.4 Variations de fréquence

L'EUT doit satisfaire aux niveaux d'immunité donnés dans le tableau applicable (Tableau 8, Tableau 9 ou Tableau 10). En cas de simulation d'immunité, le modèle de simulation doit au moins englober les éléments suivants:

- le générateur d'essai conformément à l'IEC 61000-4-28;
- le circuit de puissance principal de la partie BDM de l'EUT, ainsi que ses signaux de commande;
- un circuit de charge.

La méthode de vérification retenue doit figurer dans le rapport d'essai. Une évaluation des risques doit être effectuée conformément à 4.1.

5.4.5 Établissement de l'immunité aux champs électromagnétiques par des essais sur les sous-composants

L'immunité aux champs électromagnétiques peut être établie en réalisant les essais de l'IEC 61000-4-3 et de l'IEC 61000-4-6 sur des sous-composants sensibles, si l'EUT:

- a une tension assignée supérieure à 500 V;
- a un courant assigné supérieur à 200 A;
- a un poids total supérieur à 250 kg;
- présente une hauteur, une largeur et une profondeur supérieures à 1,9 m.

Si l'essai est réalisé sur des sous-composants sensibles, cela doit figurer dans le rapport d'essai.

NOTE Les sous-composants sensibles désignent typiquement toutes les cartes électroniques à circuit imprimé.

Lorsque la taille du moteur est trop importante pour qu'il soit mis en fonctionnement sur un emplacement d'essai, le moteur peut être remplacé par un autre de taille inférieure à condition que cela ne compromette pas le fonctionnement du BDM/CDM.

6 Émission

6.1 Généralités sur les exigences d'émissions

Les mesures doivent être effectuées pour le mode de fonctionnement produisant le maximum d'émissions dans la bande de fréquences, et qui reste compatible avec une application normale.

6.2 Généralités sur les exigences d'émissions pour une MT

La MT doit fonctionner normalement pendant la mesure, mais sans couper de métal, sans utiliser de liquide de refroidissement, sans transporter de pièces ou copeaux bruts et finis, etc., et sans usiner de pièce réelle. Bien que la MT ne produise pas de pièces, il convient que tous les composants intégrés assurant le fonctionnement de la MT (indépendante) en conditions réelles soient bien intégrés à la MT (par exemple convoyeur de copeaux système de manipulation de pièces, robot intégré à la zone de travail, etc.). Tous ces composants intégrés doivent fonctionner dans un mode commandé par la MT, mais peuvent ne pas être soumis à une charge.

Le Tableau 13 énumère les approches qu'il convient d'utiliser pour évaluer les émissions résultant de différentes configurations de la MT.

Tableau 13 – Approche de l'évaluation par essai de type des différentes configurations de la MT

État de la machine-outil	Action
MT fabriquée en une ou plusieurs configurations	Soumettre à essai la configuration représentative (configuration la plus défavorable du point de vue de la CEM).
MT modifiée en utilisant uniquement des composants inappropriés sur le plan électromagnétique	La MT est réputée satisfaire aux essais correspondants dans toutes les configurations, sans soumettre de types supplémentaires à essai.
MT modifiée ultérieurement en utilisant des composants appropriés sur le plan électromagnétique	Choisir la configuration la plus défavorable du point de vue de la CEM. Vérifier la validité de la configuration de MT représentative, en fonction des nouvelles configurations définies ultérieurement. En cas de non-validité, un essai concluant de la nouvelle configuration représentative doit être réalisé.

Dans le cas d'une MT intégrant un programme de cycles automatique, l'essai peut être démarré de manière aléatoire au cours du temps de cycle de la MT. En outre, il est nécessaire de tenir compte de la taille et des dimensions de la MT. Des distinctions doivent donc être faites entre les machines pouvant être soumises à un essai (de type) et les machines ne pouvant pas être soumises à essai, en raison de leurs dimensions physiques.

6.3 Limites de base des émissions basse fréquence (< 150 kHz)

6.3.1 Harmoniques et interharmoniques

6.3.1.1 Réseau public d'alimentation basse tension – Équipement couvert par l'IEC 61000-3-2 ou l'IEC 61000-3-12

Un équipement (par exemple une MT) peut comporter un ou plusieurs PDS, ainsi que d'autres charges.

Lorsqu'un EUT destiné à être raccordé à un réseau de distribution public basse tension relève du domaine d'application de l'IEC 61000-3-2 (courant d'entrée assigné ≤ 16 A par phase), les exigences de ladite norme s'appliquent. Lorsqu'un ou plusieurs BDM/CDM/PDS sont inclus dans l'équipement relevant du domaine d'application de l'IEC 61000-3-2, les exigences de ladite norme s'appliquent à l'équipement complet, et non aux BDM/CDM/PDS individuellement.

Lorsqu'un EUT destiné à être raccordé à un réseau de distribution public basse tension relève du domaine d'application de l'IEC 61000-3-12 (courant d'entrée assigné > 16 A et ≤ 75 A par phase), les exigences de ladite norme s'appliquent. Lorsqu'un ou plusieurs BDM/CDM/PDS sont inclus dans l'équipement (par exemple une MT) relevant du domaine d'application de l'IEC 61000-3-12, les exigences de ladite norme s'appliquent à l'équipement complet, et non aux BDM/CDM/PDS individuellement.

Si un équipement relève du domaine d'application de l'IEC 61000-3-2 ou de l'IEC 61000-3-12, les limites du système ou du sous-système auquel ladite norme s'applique doivent être stipulées dans le rapport d'essai de cet équipement. La méthode utilisée pour attester la conformité doit également être stipulée dans le rapport d'essai de cet équipement.

6.3.1.2 Réseau public d'alimentation basse tension – Équipement non couvert par l'IEC 61000-3-2 ou l'IEC 61000-3-12

Pour un équipement non couvert par l'IEC 61000-3-2 ou par l'IEC 61000-3-12 (courant assigné supérieur à 75 A), des recommandations peuvent être consultées à l'Article B.4.

6.3.1.3 Réseaux industriels

Lorsqu'un équipement est à utiliser dans des installations non directement alimentées à partir d'un réseau public basse tension, il ne relève pas du domaine d'application de l'IEC 61000-3-2 et de l'IEC 61000-3-12. Dès lors, il convient de mettre en œuvre une approche raisonnable prenant en considération la totalité de l'installation (voir l'Article B.4).

NOTE Pour les réseaux de tension supérieure à 1 000 V, la totalité de l'installation peut être soumise à des règles imposées par l'opérateur du réseau de distribution, généralement basées sur l'IEC TR 61000-3-6. Ces règles s'appliquent à l'installation dans sa globalité et non pas individuellement à chaque équipement. Elles prennent généralement en considération les courants harmoniques et les distorsions de tension à l'intérieur du système. Le Tableau B.2 fournit une approche efficace et simplifiée.

Dans le cas d'un EUT dont la tension assignée est supérieure à 1 000 V, l'émission harmonique produite par l'accès de puissance principal et celle produite par les accès de puissance auxiliaires doivent être examinées séparément.

6.3.2 Fluctuations de tension et papillotement

6.3.2.1 Conditions

L'équipement peut comporter un ou plusieurs BDM/CDM/PDS, ainsi que d'autres charges (par exemple MT) capables de provoquer des fluctuations de tension et du papillotement (ou flicker).

NOTE 1 Les fluctuations de tension peuvent être provoquées, par exemple, par des variations fréquentes de la charge d'un BDM/CDM/PDS, ou par des sous-harmoniques liées à la récupération d'énergie de moteurs asynchrones. Les fluctuations de tension peuvent également être provoquées par des interharmoniques à des fréquences légèrement différentes de la fréquence fondamentale ou des harmoniques prédominantes. Les émissions sont typiquement générées par des cycloconvertisseurs ou des onduleurs à source de courant. Voir B.4.3 et B.6.2. Les interharmoniques sont couverts par les niveaux de compatibilité indiqués dans l'IEC 61000-2-4 ou dans l'IEC 61000-2-12.

NOTE 2 Les fluctuations de tension dépendent de l'impédance de l'installation et du cycle de service de la charge. Dans certaines applications, l'utilisateur peut réduire les fluctuations de tension en ajustant le cycle de service de la charge par variation du taux d'évolution de la vitesse, ou par d'autres techniques.

NOTE 3 Certaines fluctuations de tension sur des réseaux alimentant des charges d'éclairage peuvent provoquer une impression d'instabilité de la perception visuelle, connue sous le terme papillotement.

6.3.2.2 Réseau public d'alimentation basse tension – Équipement relevant du domaine d'application de l'IEC 61000-3-3 ou de l'IEC 61000-3-11

Lorsqu'un EUT destiné à être raccordé à un réseau de distribution public basse tension relève du domaine d'application de l'IEC 61000-3-3 (courant d'entrée assigné ≤ 16 A par phase), les exigences de ladite norme s'appliquent. Lorsqu'un ou plusieurs BDM/CDM/PDS sont inclus dans l'équipement relevant du domaine d'application de l'IEC 61000-3-3, les exigences de ladite norme s'appliquent à l'équipement complet, et non aux BDM/CDM/PDS individuellement.

Lorsqu'un EUT destiné à être raccordé à un réseau de distribution public basse tension relève du domaine d'application de l'IEC 61000-3-11 (courant d'entrée assigné > 16 A et ≤ 75 A par phase), les exigences de ladite norme s'appliquent. Lorsqu'un ou plusieurs BDM/CDM/PDS sont inclus dans l'équipement (par exemple une MT) relevant du domaine d'application de l'IEC 61000-3-11, les exigences de ladite norme s'appliquent à l'équipement complet, et non aux BDM/CDM/PDS individuellement.

NOTE L'application des limites de fluctuation de tension de l'IEC 61000-3-3 et de l'IEC 61000-3-11 n'est possible que lorsque les caractéristiques de la charge de l'équipement entraîné sont connues. Pour cette raison, seuls le fabricant et/ou l'utilisateur de la machine sont capables de déterminer sa conformité aux limites de fluctuation de tension.

6.3.2.3 EUT ne relevant pas du domaine d'application de l'IEC 61000-3-3 ni de l'IEC 61000-3-11

Pour un équipement ne relevant pas du domaine d'application de l'IEC 61000-3-3 ni de l'IEC 61000-3-11, les émissions de fluctuations de tension dépendent généralement des conditions de charge; le présent document ne peut pas fournir d'exigences.

NOTE Des règlements locaux fournis par les autorités locales peuvent s'appliquer à l'installation complète. Dans certains de ces cas, des recommandations peuvent être consultées dans l'IEC TS 61000-3-5.

6.3.3 Émissions dans la plage de fréquences comprise entre 2 kHz et 150 kHz

Pour la plage de fréquences entre 2 kHz et 150 kHz, aucune limite n'est spécifiée.

NOTE 1 Les comités d'études de l'IEC exerçant des fonctions horizontales relatives à la CEM travaillent actuellement sur les limites de cette plage de fréquences.

NOTE 2 Tant qu'aucune limite n'est spécifiée pour cette plage de fréquences, des recommandations de conception pour les valeurs d'émissions peuvent être consultées dans l'IEC TS 62578:2015, Annexe B.

Pour plus d'informations, voir l'Annex D.

6.3.4 Émission harmonique en mode commun (tension en mode commun basse fréquence)

La fréquence de commutation du convertisseur de l'EUT est souvent dans la plage des fréquences audibles et, en particulier, dans la plage des fréquences généralement utilisées par les réseaux téléphoniques et de données. Pour éviter tout risque de diaphonie avec les câbles de signal, les instructions d'installation doivent recommander de séparer le câble de l'interface de puissance des câbles de signal, ou bien proposer d'autres méthodes d'atténuation en variante.

6.4 Conditions liées à la mesure des émissions haute fréquence (≥ 150 kHz)

6.4.1 Exigences générales pour les mesures sur un emplacement d'essai

6.4.1.1 Conditions communes

Les essais doivent être appliqués sur les accès appropriés, lorsqu'ils existent, et doivent être effectués de manière bien définie et reproductible sur chaque accès.

La méthode d'essai doit être conforme à la CISPR 11:2015, la CISPR 11:2015/AMD1:2016 et la CISPR 11:2015/AMD2:2019, 7.3 à 7.4 et Article 8. Les exigences relatives à la configuration d'essai de l'EUT, concernant la disposition du câblage, sont issues de la CISPR 11:2015 et la CISPR 11:2015/AMD1:2016, 7.5, avec une attention particulière accordée à la mise à la terre. Le paragraphe 6.4.1.3 ci-après décrit un exemple de configuration d'essai et de disposition du câblage d'un PDS pour la mesure des perturbations rayonnées avec une distance de séparation de 3 m. La charge et les longueurs de câbles doivent respecter les limites spécifiées par le fabricant. La charge effective et la longueur du câble de l'interface de puissance doivent être indiquées dans le rapport d'essai.

6.4.1.2 Émissions conduites

L'équipement de mesure pour l'évaluation des émissions de tension perturbatrice haute fréquence de la borne de puissance réseau (accès de puissance) est un réseau fictif d'alimentation (AMN, Artificial Mains Network) ($50 \Omega/50 \mu\text{H}$, voir la CISPR 16-1-2 et la CISPR 11:2015).

NOTE 1 En variante, un AMN peut être raccordé en parallèle en tant que sonde de tension, comme décrit dans la CISPR 16-2-1:2014, Article A.5.

NOTE 2 Si le réseau fictif d'alimentation est inapplicable, une sonde de tension à haute impédance conforme à la CISPR 16-1-2:2014, 5.2.1, peut être utilisée. La raison pour laquelle le réseau fictif d'alimentation est inutilisable peut être stipulée dans le rapport d'essai. La méthode d'essai retenue peut être stipulée dans le rapport d'essai.

NOTE 3 Les EUT relevant du domaine d'application du présent document ne contiennent typiquement pas d'accès en courant continu, mais uniquement des accès en courant alternatif et des interfaces en courant continu. En présence d'accès en courant continu, les limites et méthodes d'essai applicables peuvent être consultées dans la CISPR 11:2015.

Les dispositifs d'absorption en mode commun (CMAD, Common-Mode Absorption Device) ne doivent pas être utilisés dans la configuration d'essai pour la mesure des émissions conduites.

NOTE 4 Un CMAD est une partie d'un équipement d'essai destinée à être placée sur les câbles sortant du volume d'essai. Cependant, les courants élevés de mode commun émanant des EUT peuvent provoquer une saturation des CMAD, entraînant des résultats incohérents.

6.4.1.3 Émissions rayonnées d'un BDM/CDM/PDS

6.4.1.3.1 Type d'emplacement d'essai

Un EUT de catégorie C1, de catégorie C2 ou de catégorie C3 doit être mesuré sur un emplacement d'essai conforme aux exigences de la CISPR 16-1-4. La distance de mesure doit figurer dans le rapport d'essai.

Le présent document autorise les emplacements d'essai en espace libre (OATS, Open-Area Test Site) ou les chambres semi-anéchoïques (SAC, Semi-Anechoic Chamber).

6.4.1.3.2 Volume d'essai

La distance de mesure est prise entre le point de référence (PR) d'étalonnage de l'antenne et les limites du volume d'essai du BDM/CDM/PDS (voir les figures de la Figure 7 à la Figure 9).

Le choix des distances de mesure doit être conforme aux exigences de la CISPR 11:2015, 6.2.2.3 et 8.3.4.

Les limites du volume d'essai du BDM/CDM/PDS correspondent au cylindre imaginaire autour de l'ensemble de la configuration du BDM/CDM/PDS. Cette limite est représentée par l'élément "H" à la Figure 7 et à la Figure 8. Tous les câbles entre les différentes parties du BDM/CDM/PDS doivent se situer à l'intérieur du cylindre imaginaire. Voir cependant 6.4.1.3.5 pour obtenir des informations sur l'emplacement du moteur. La hauteur du cylindre imaginaire est mesurée à partir du sol, que le BDM/CDM/PDS soit placé sur une table, monté au mur ou posé au sol.

Le BDM/CDM/PDS est considéré comme un petit matériel lorsque les limites du volume d'essai du BDM/CDM/PDS sont conformes à la définition de 3.6.4. La limite maximale pour le petit matériel est représentée par l'élément "K" aux figures de la Figure 7 à la Figure 9. Il convient que les dimensions du volume d'essai soient mesurées avec une exactitude de $\pm 0,1$ m.

6.4.1.3.3 Choix de la distance de mesure

Les paragraphes 6.5.1.3 et 6.5.2.4 définissent les limites d'émission pour les distances d'essai de 10 m et 3 m.

Le petit matériel répondant au critère de taille défini en 3.6.4 peut faire l'objet d'un essai à 10 m ou à 3 m. L'équipement qui ne respecte pas ce critère de taille doit faire l'objet d'un essai à 10 m.

Les exigences particulières relatives à la configuration d'essai sont spécifiées en 6.4.1.3.4 à 6.4.1.3.6 pour assurer une meilleure reproductibilité des mesures à 3 m. Quand ces exigences sont également applicables pour les mesures à 10 m, elles améliorent la reproductibilité des mesures à cette distance.

En ce qui concerne l'applicabilité des dispositifs d'absorption en mode commun (CMAD), voir la CISPR 11:2015.

NOTE 1 Voir la CISPR 16-2-3.

NOTE 2 Une distance de mesure de 10 m est souvent utilisée pour les équipements de grande taille, associés à des câbles moteur de grande longueur. Des câbles moteur de grande longueur peuvent provoquer une saturation des CMAD, entraînant des résultats d'essai non reproductibles.

6.4.1.3.4 Auxiliaires et périphériques

Lorsque des équipements auxiliaires ou périphériques ne font pas partie du BDM/CDM/PDS (voir EUT 2 à la Figure 7 et à la Figure 8, et élément E aux figures de la Figure 7 à la Figure 9), ils peuvent être placés à l'extérieur du volume d'essai. Cependant, s'ils ne peuvent pas être exclus du volume d'essai maximal en raison de la longueur réduite des câbles d'interconnexion, ou pour d'autres raisons, ces équipements auxiliaires ou périphériques sont placés sur la table d'essai ou sur la plaque isolante.

6.4.1.3.5 Moteur

Pour les émissions rayonnées, les conditions de charge doivent être choisies de façon à provoquer les émissions les plus défavorables (voir A.2.1 pour des informations sur les conditions de charge).

NOTE 1 Les émissions augmentent typiquement avec la tension en mode commun et un temps de montée plus court de la tension. Ces conditions sont obtenues avec une charge réduite et un faible régime moteur.

La puissance assignée du moteur doit être choisie conformément à 4.2.1.

Le câble de l'interface de puissance entre le BDM/CDM et le moteur doit être exposé à l'antenne sur une longueur de 0,8 m au moins à l'intérieur du volume d'essai, sauf lorsque la longueur maximale de câble énoncée dans les instructions destinées à l'utilisateur est inférieure.

NOTE 2 Le moteur peut être placé à l'intérieur ou à l'extérieur du volume d'essai.

La position du moteur et la disposition du câblage doivent figurer dans le rapport d'essai.

Le moteur doit être directement raccordé à la terre (c'est-à-dire au plan de masse), conformément aux recommandations de mise à la terre du moteur, données dans les instructions d'installation de l'EUT. En l'absence de telles instructions, le moteur doit être raccordé au plan de masse à l'aide d'un conducteur aussi court que possible, comme représenté par l'élément F aux figures de la Figure 7 à la Figure 9.

6.4.1.3.6 Disposition de la configuration des essais relatifs aux émissions rayonnées

Des exemples de dispositions types pour les essais relatifs aux émissions rayonnées sont donnés de la Figure 7 à la Figure 9 ci-dessous.

Si un conducteur de mise à la terre spécial est utilisé pour le BDM/CDM/PDS, lorsqu'il est placé sur la table, ce BDM/CDM/PDS doit être raccordé à la terre (par exemple relié au plan de masse) selon une longueur devant être d'au moins 1 m, comme représenté par l'élément C à la Figure 8. Si le BDM/CDM/PDS est posé au sol, le conducteur de terre doit être relié au plan de masse à l'aide d'un conducteur aussi court que possible, comme représenté par l'élément C à la Figure 9.

NOTE 1 Un deuxième conducteur de mise à la terre de protection constitue un exemple de conducteur de mise à la terre spécial; il peut être utilisé pour assurer la conformité à l'IEC 61800-5-1:2007, 4.3.5.5.2.

NOTE 2 Lorsque le moteur est éloigné du plateau tournant, le câble du moteur peut traverser le plancher de ce plateau (voir ligne en pointillés "A" à la Figure 9). Lorsque le moteur est proche du plateau tournant (voir l'élément "F" à la Figure 9) et qu'il l'empêche de tourner, A.4.2 donne des informations supplémentaires pour la réalisation des mesures d'émissions rayonnées.

Un réseau fictif d'alimentation (AMN) doit être utilisé pour les essais relatifs aux émissions rayonnées.

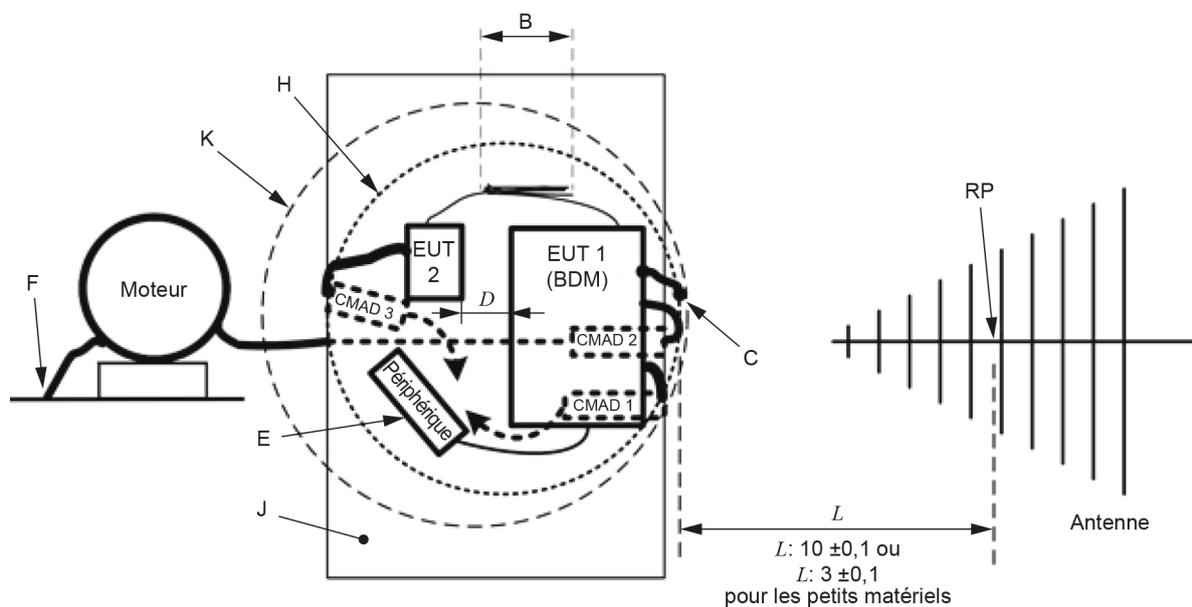
NOTE 3 Les équipements auxiliaires et périphériques qui ne font pas partie de l'EUT peuvent être placés à l'extérieur du volume d'essai. Toutefois, si les câbles de raccordement entre eux et l'EUT ne peuvent pas être allongés suffisamment pour sortir du volume d'essai, ces auxiliaires et périphériques peuvent être placés à l'intérieur du volume d'essai (voir la Figure 7 et la Figure 8) ou sur le plateau tournant (voir la Figure 9).

Il convient que l'espacement entre toutes les enveloppes (de l'EUT, des périphériques, etc.) soit $\geq 0,1$ m. Cette distance est représentée par l'élément D aux figures de la Figure 7 à la Figure 9.

Pour les cas dans lesquels le câble d'interconnexion est trop long, cet excédent de câble doit être enroulé au milieu de la longueur du câble, comme exigé par la CISPR 11:2015, 7.5.2. Cet enroulement doit avoir une longueur comprise entre 0,3 m et 0,4 m. Cet enroulement est représenté par l'élément H à la Figure 7 et à la Figure 9.

NOTE 5 Le point de référence de l'étalonnage de l'antenne est pris en considération pour déterminer la distance de mesure. Il est représenté par l'élément RP aux figures de la Figure 7 à la Figure 9.

La distance de mesure, représentée par L aux figures de la Figure 7 à la Figure 9, est mesurée entre le volume d'essai et le point de référence de l'étalonnage de l'antenne, représenté par l'élément RP aux figures de la Figure 7 à la Figure 9.

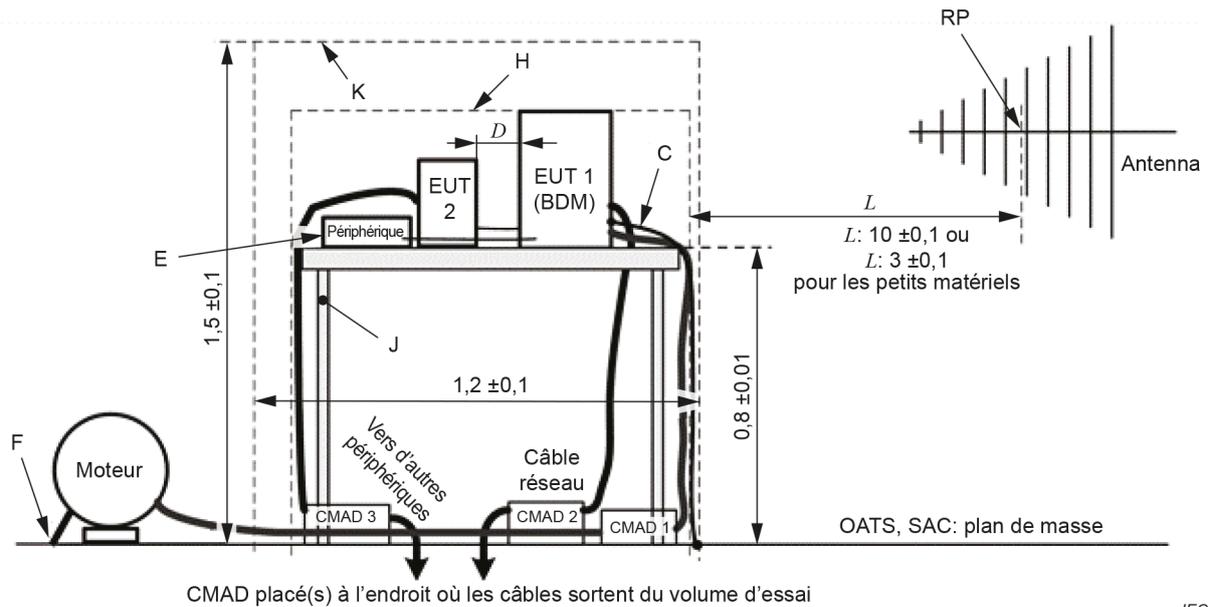


IEC

Légende

- B excédent de câble, qui est un enroulement d'une longueur comprise entre 0,3 m et 0,4 m, situé au milieu de la longueur du câble
- C connexion spéciale de mise à la terre, uniquement si la documentation utilisateur en spécifie une
- D espacement entre les enveloppes, dont il convient qu'il soit $\geq 0,1$ m
- E périphérique ou dispositif auxiliaire, voir 6.4.1.3.4
- F mise à la terre du moteur, voir 6.4.1.3.5
- H volume d'essai, voir 6.4.1.3.2
- J table d'essai en matériau isolant, d'une hauteur de $0,8 \text{ m} \pm 0,01 \text{ m}$ au-dessus du plan du sol
- K limite du volume d'essai maximal pour les petits matériels, tels qu'ils sont définis en 3.6.4
- L distance de mesure
- RP point de référence d'étalonnage de l'antenne

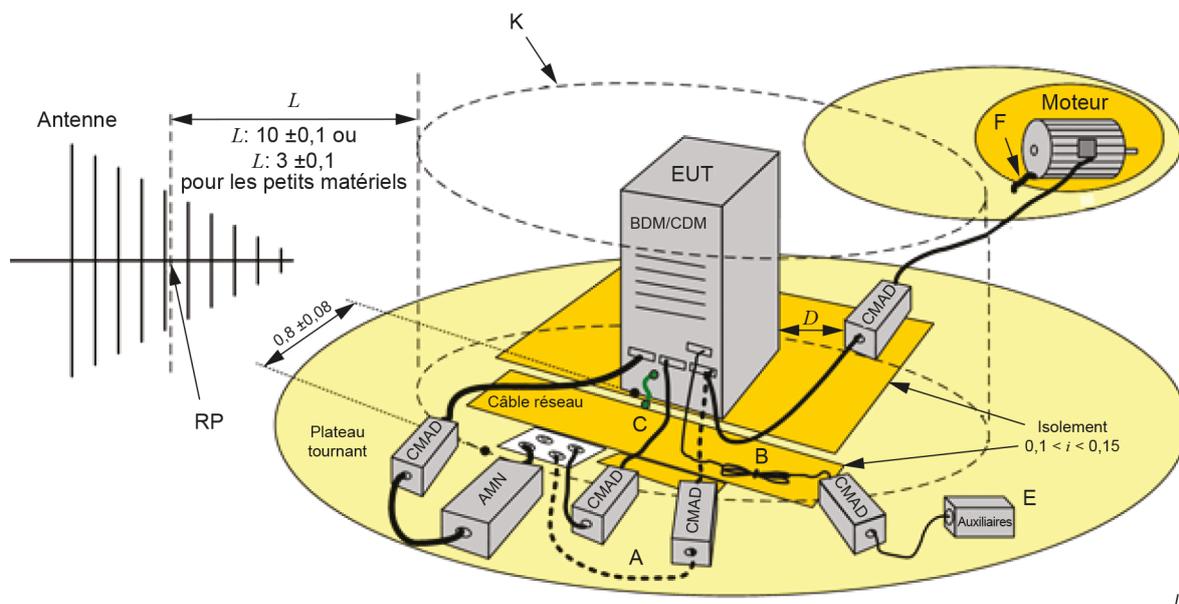
Figure 7 – Exemple de disposition type du câblage pour les mesures à une distance de séparation de 3 m pour un équipement placé sur une table ou à montage mural – Vue de dessus



Légende

- C connexion spéciale de mise à la terre, uniquement si la documentation utilisateur en spécifie une
- D espacement entre les enveloppes, dont il convient qu'il soit $\geq 0,1$ m
- E périphérique ou dispositif auxiliaire, voir 6.4.1.3.4
- F mise à la terre du moteur, voir 6.4.1.3.5
- H volume d'essai, voir 6.4.1.3.2
- J table d'essai en matériau isolant, d'une hauteur de $0,8 \text{ m} \pm 0,01 \text{ m}$ au-dessus du plan du sol
- K limite du volume d'essai maximal pour les petits matériels, tels qu'ils sont définis en 3.6.4
- L distance de mesure
- RP point de référence d'étalonnage de l'antenne

Figure 8 – Exemple de disposition type du câblage pour les mesures à une distance de séparation de 3 m pour un équipement placé sur une table ou à montage mural – Vue de côté



IEC

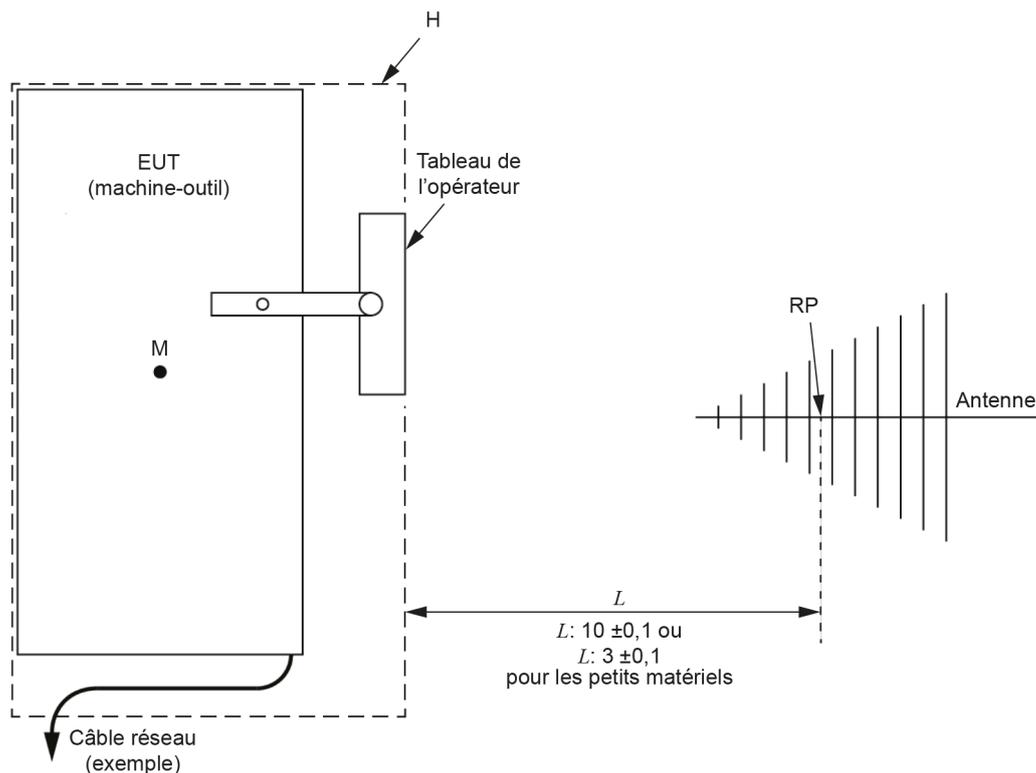
Légende

- A trajet du câble du moteur lorsque le moteur est placé loin du plateau tournant
- B excédent de câble, qui est un enroulement d'une longueur comprise entre 0,3 m et 0,4 m, situé au milieu de la longueur du câble
- C connexion spéciale de mise à la terre, uniquement si la documentation utilisateur en spécifie une
- D espacement entre les enveloppes, dont il convient qu'il soit $\geq 0,1$ m
- E périphérique ou dispositif auxiliaire, voir 6.4.1.3.4
- F mise à la terre du moteur, voir 6.4.1.3.5
- K limite du volume d'essai maximal pour les petits matériels, tels qu'ils sont définis en 3.6.4
- L distance de mesure
- RP point de référence d'étalonnage de l'antenne

Figure 9 – Exemple de configuration type d'essai pour la mesure des perturbations conduites et/ou rayonnées par un PDS placé au sol – Vue 3D

6.4.1.4 Émissions rayonnées d'une MT

La disposition générale pour les essais relatifs aux émissions rayonnées émanant d'une MT est représentée à la Figure 10.



IEC

Légende

H limites du volume d'essai (tous les composants de l'EUT)

M point central théorique de l'EUT (MT)

L distance de mesure

RP point de référence d'étalonnage de l'antenne

Figure 10 – Disposition type pour la mesure des perturbations rayonnées émanant d'une MT (vue de dessus)

À la Figure 10, la distance de mesure L est mesurée entre le volume d'essai H et le point de référence RP d'étalonnage de l'antenne.

NOTE Une MT n'est normalement pas un équipement placé sur une table. S'il n'est pas possible de placer la MT sur un plateau tournant, l'une des procédures d'essai suivantes, spécifiques aux MT, peut être appliquée sur la base d'une évaluation des risques:

a) procédure utilisant un engin de levage

L'antenne de mesure dans la disposition représentée à la Figure 10 est placée à une position fixe, située à une distance L du volume d'essai H. Un engin de levage est utilisé pour soulever la MT à quelques centimètres du sol, de façon à pouvoir faire tourner la MT par incréments de 90°.

Pour chacune des quatre orientations de la MT,

- l'engin de levage (s'il dispose d'une source d'énergie) est arrêté, afin que les émissions émanant de l'engin de levage ne créent pas d'interférences sur la mesure; et
- les niveaux de perturbations rayonnées émanant de la MT sont mesurés selon les polarisations horizontale et verticale.

b) procédure en variante

L'antenne de mesure dans la disposition représentée à la Figure 10 est placée à la distance L du volume d'essai H, tour à tour pour chacune des quatre directions orthogonales. L'ensemble du balayage de mesure est effectué de chaque côté.

6.4.2 Application des limites d'émissions au-dessus de 1 GHz

L'EUT doit respecter les limites des perturbations rayonnées électromagnétiques spécifiées en 6.5, jusqu'à la fréquence de mesure maximale déterminée conformément au Tableau 14. Si la fréquence interne la plus élevée F_x est inconnue, les mesures doivent être effectuées jusqu'à 6 GHz. L'EUT doit respecter à la fois la limite de crête et la limite moyenne. Si les mesures utilisant un détecteur de crête indiquent une conformité à la limite moyenne, il n'est pas nécessaire d'appliquer la détection de limite moyenne.

Tableau 14 – Fréquence la plus élevée exigée pour la mesure des émissions rayonnées

Fréquence interne la plus élevée F_x	Fréquence mesurée la plus élevée
$F_x \leq 108$ MHz	1 GHz
108 MHz < $F_x \leq 500$ MHz	2 GHz
500 MHz < $F_x \leq 1$ GHz	5 GHz
$F_x > 1$ GHz	$5 \times F_x$ jusqu'à un maximum de 6 GHz
NOTE F_x est définie en 3.6.7.	

Pour la plage de fréquences allant de 6 GHz à 18 GHz, aucune limite n'est spécifiée.

Pour les mesures d'émissions à des fréquences supérieures à 1 GHz, les limites du détecteur de crête ne doivent pas être appliquées aux perturbations produites par des arcs ou des étincelles, qui sont des événements de claquage à haute tension. De telles perturbations se produisent lorsque les dispositifs comportent ou commandent des commutateurs mécaniques qui commandent le courant dans les inductances, ou lorsque les dispositifs comportent ou commandent des sous-systèmes qui produisent de l'électricité statique. Seules les limites moyennes doivent s'appliquer aux perturbations provenant d'arcs ou d'étincelles, tandis que les limites de crête et les limites moyennes doivent s'appliquer à toutes les autres perturbations provenant de tels dispositifs.

6.4.3 Exigences relatives aux connexions

La configuration d'essai, comprenant la longueur et la position des câbles de puissance et de commande, doit être représentative de la ou des applications prévues, décrites dans la documentation destinée à l'utilisateur (voir 4.3). La configuration d'essai doit figurer dans le rapport d'essai.

6.4.4 Exigences relatives aux mesures lorsqu'aucune configuration normale n'est utilisée

Si des mesures sont effectuées avec une sonde de tension à haute impédance, ou sur un emplacement d'essai non conforme à la CISPR 16-1-4:2019 et la CISPR 16-1-4:2019/AMD1:2020, ou bien in situ, cela doit être justifié par une évaluation des risques, et être stipulé dans le rapport d'essai.

NOTE Un emplacement d'essai situé dans les locaux du fabricant, qui n'est pas conforme à la CISPR 16-1-4, constitue un exemple d'emplacement d'essai non conforme.

Si l'EUT présente un courant d'entrée supérieur à 100 A, ou si la tension d'entrée est supérieure ou égale à 500 V, ou si le PDS contient un convertisseur commuté par le réseau (voir A.4.1.2), la mesure de la tension perturbatrice sur les bornes réseau peut être effectuée à l'aide d'une sonde de tension à haute impédance, sans réseau fictif d'alimentation (voir la CISPR 11:2015, 7.3.3).

Une sonde de tension à haute impédance sans réseau fictif d'alimentation doit être utilisée pour la mesure *in situ* de la tension perturbatrice sur les bornes réseau.

En variante à l'utilisation de la sonde de tension à haute impédance, un AMN peut être raccordé en parallèle en tant que sonde de tension, comme décrit dans la CISPR 16-2-1:2014, Article A.5.

Si l'EUT est mesuré *in situ*, la disposition du câble et de la mise à la terre est celle de l'application visée.

6.5 Limites de base des émissions haute fréquence

6.5.1 Équipements de catégorie C1 et C2

6.5.1.1 Tension perturbatrice au niveau des accès de puissance

Les limites de la tension perturbatrice sur les bornes réseau (accès de puissance) sont indiquées dans le Tableau 15.

Tableau 15 – Limites pour la tension perturbatrice sur les bornes réseau dans la bande de fréquences comprise entre 150 kHz et 30 MHz – Catégories C1 et C2

Bande de fréquences MHz	Catégorie C1		Catégorie C2	
	Quasi-crête dB(μ V)	Moyenne dB(μ V)	Quasi-crête dB(μ V)	Moyenne dB(μ V)
$0,15 \leq f < 0,50$	66 Décroît avec le logarithme de la fréquence jusqu'à 56	56 Décroît avec le logarithme de la fréquence jusqu'à 46	79	66
$0,5 \leq f \leq 5,0$	56	46	73	60
$5,0 < f < 30,0$	60	50	73	60

Lorsqu'un EUT ne respecte pas les limites de la catégorie C1, le texte suivant, ou un équivalent, doit être inclus dans les instructions d'utilisation:

Attention

Cet équipement n'est pas destiné à être utilisé dans des environnements résidentiels, et peut ne pas assurer de protection adéquate pour la réception radioélectrique dans de tels environnements.

NOTE 1 Le filtrage de mode commun en haute fréquence introduit des chemins d'écoulements à la terre par couplage capacitif. Dans le cas d'un système d'alimentation avec neutre isolé de la terre ou avec neutre raccordé à la terre au travers d'une haute impédance ("schéma IT", comme défini dans l'IEC 60364-1:2005, 312.2.3), ces chemins d'écoulements par couplage capacitif peuvent provoquer le déclenchement intempestif du contrôleur permanent d'isolement du schéma IT (voir D.2.2).

NOTE 2 Les limites pour les EUT de catégorie C2 sont dérivées de l'IEC 61000-6-8:2020.

6.5.1.2 Accès de mesure et de commande de processus

S'il est prévu de relier un accès de mesure et de commande de processus à un bus de terrain, cet accès doit être conforme aux exigences relatives aux émissions conduites de la norme applicable au bus de terrain en question.

S'il est prévu de relier un accès de mesure et de commande de processus à un réseau de télécommunication public, alors cet accès doit être considéré comme un accès réseau par câble. Les exigences relatives aux émissions conduites en mode asymétrique de la classe B de la CISPR 32 s'appliquent à cet accès.

6.5.1.3 Rayonnement – Accès enveloppe

Les limites des perturbations par rayonnement électromagnétique (accès enveloppe, voir 3.4.2 et la Figure 3) sont indiquées dans le Tableau 16.

Tableau 16 – Limites des perturbations par rayonnement électromagnétique dans la bande de fréquences allant de 30 MHz à 6 000 MHz – Catégories C1 et C2

Bande de fréquences MHz	DéTECTEUR	Composante de l'amplitude du champ électrique			
		dB (µV/m)			
		Distance de mesure de 10 m ^a		Distance de mesure de 3 m ^a	
		Catégorie C1	Catégorie C2	Catégorie C1	Catégorie C2
$30 \leq f \leq 230$	Quasi-crête	30	40	40	50
$230 < f \leq 1\,000$	Quasi-crête	37	47	47	57
$1\,000 < f \leq 3\,000$ ^b	Crête	60	66	70	76
	Moyenne	40	46	50	56
$3\,000 < f \leq 6\,000$ ^b	Crête	64	70	74	80
	Moyenne	44	50	54	60

^a Concernant le choix de la distance de mesure, voir 6.4.1.3.3.

^b Pour les mesures à des fréquences supérieures à 1 GHz: voir 6.4.2 pour la plage de fréquences de mesure et l'application de la limite de crête et de la limite moyenne.

La distance de mesure doit figurer dans le rapport d'essai.

Lorsqu'un EUT ne respecte pas les limites de la catégorie C1, le texte suivant, ou un équivalent, doit être inclus dans les instructions d'utilisation:

Attention

Cet équipement n'est pas destiné à être utilisé dans des environnements résidentiels, et peut ne pas assurer de protection adéquate pour la réception radioélectrique dans de tels environnements.

6.5.1.4 Émissions de l'interface de puissance

Pour un EUT destiné à fonctionner dans un environnement résidentiel, commercial ou de l'industrie légère, la limite d'émissions doit être obtenue au moyen de l'une des options suivantes.

- a) Un câble blindé doit être utilisé entre le CDM et le moteur. Le blindage doit alors être de bonne qualité en haute fréquence, être continu tout le long du câble et être au moins raccordé au CDM et au moteur par des basses impédances de terminaison en haute fréquence. Dans ce cas, les mesures sur l'interface de puissance ne sont pas exigées.
- b) Les émissions doivent être vérifiées par mesure de la tension perturbatrice au niveau de l'interface de puissance du BDM à l'aide de la sonde de tension à haute impédance décrite dans la CISPR 16-1-2:2014, 5.2.1. Les limites données dans le Tableau 17 ci-dessous doivent s'appliquer.

NOTE Il n'est pas possible d'utiliser un AMN au niveau de l'interface de puissance, car cela empêcherait l'EUT de fonctionner.

Tableau 17 – Limites pour la tension perturbatrice au niveau de l'interface de puissance dans un environnement résidentiel, commercial ou de l'industrie légère

Bande de fréquences MHz	Mesures effectuées avec le courant assigné de sortie	
	Quasi-crête dB(μ V)	Moyenne dB(μ V)
$0,15 \leq f < 0,5$	80	70
$0,50 \leq f < 30$	74	64

NOTE Les limites ci-dessus sont dérivées de la CISPR 14-1.

6.5.2 EUT de catégorie C3

6.5.2.1 Exigence d'information

Si un EUT ne respecte pas les limites des catégories C1 ou C2, les instructions d'utilisation doivent comporter un avertissement indiquant que:

- ce type d'EUT n'est pas destiné à être utilisé sur un réseau public basse tension qui alimente des locaux résidentiels; et
- l'utilisation de ce type de réseau peut entraîner un risque d'interférences aux fréquences radioélectriques.

Le fabricant doit fournir un guide d'installation et d'utilisation indiquant les mesures d'atténuation recommandées.

6.5.2.2 Tension perturbatrice au niveau des accès de puissance

Les limites de la tension perturbatrice au niveau des bornes réseau (accès de puissance) des EUT sont indiquées dans le Tableau 18. Les mêmes limites s'appliquent aux accès de puissance basse tension des EUT de tension assignée supérieure à 1 000 V.

Tableau 18 – Limites pour la tension perturbatrice au niveau des bornes réseau dans la bande de fréquences allant de 150 kHz à 30 MHz – Catégorie C3

Taille de l'EUT ^a	Bande de fréquences MHz	Quasi-crête dB(μV)	Moyenne dB(μV)
$I \leq 100 \text{ A}$	$0,15 \leq f < 0,50$	100	90
	$0,5 \leq f \leq 5,0$	86	76
	$5,0 < f < 30,0$	90	80
		Décroit avec le logarithme de la fréquence jusqu'à 73	Décroit avec le logarithme de la fréquence jusqu'à 60
$100 \text{ A} < I$	$0,15 \leq f < 0,50$	130	120
	$0,5 \leq f < 5,0$	125	115
	$5,0 \leq f < 30,0$	115	105

Ces limites ne s'appliquent pas aux accès de puissance qui fonctionnent au-dessus de 1 000 V.

NOTE 1 Les limites spécifiées dans le Tableau 18 sont au-dessus des limites spécifiées dans la norme générique IEC 61000-6-4, mais sont conformes à la norme de famille de produits CEM CISPR 11:2015, pour un équipement de puissance assignée supérieure à 20 kVA. Ces limites ont été utilisées pour les EUT depuis l'IEC 61800-3:1996² (première édition), également pour les équipements de puissance assignée inférieure à 20 kVA. Aucun cas d'interférence n'a été signalé dans cette plage de fréquences.

NOTE 2 Le critère de sélection de l'une ou l'autre des lignes du Tableau 18 spécifiant les limites est exprimé en intensité, et non en puissance comme dans la CISPR 11:2015, car tous les EUT sont spécifiés selon leur courant assigné, en revanche certains d'entre eux ne sont pas spécifiés selon leur puissance assignée.

^a La taille de l'EUT fait référence au courant assigné (I) de l'accès.

Voir aussi D.2.

Concernant les EUT au-dessus de 100 A sans transformateur dédié, pour éviter tout risque de diaphonie avec les câbles de signal, les instructions d'installation doivent recommander de séparer les câbles de puissance des câbles de signal, ou bien proposer d'autres méthodes d'atténuation en variante.

6.5.2.3 Accès de mesure et de commande de processus

S'il est prévu de relier un accès de mesure et de commande de processus à un bus de terrain, cet accès doit être conforme aux exigences relatives aux émissions conduites de la norme applicable au bus de terrain en question.

S'il est prévu de relier un accès de mesure et de commande de processus à un réseau de télécommunication public, alors cet accès doit être considéré comme un accès réseau par câble. Les exigences relatives aux émissions conduites en mode asymétrique de la classe A de la CISPR 32 s'appliquent à cet accès.

² Cette publication a été annulée.

6.5.2.4 Rayonnement – Accès enveloppe

Les limites des perturbations par rayonnement électromagnétique au niveau des accès enveloppe des EUT sont indiquées dans le Tableau 19 (voir la définition de l'accès enveloppe en 3.4.2, représenté à la Figure 3 et la Figure 4).

Tableau 19 – Limites des perturbations par rayonnement électromagnétique dans la bande de fréquences allant de 30 MHz à 6 000 MHz – Catégorie C3

Bande de fréquences MHz	Détecteur	Composante de l'amplitude du champ électrique	
		dB ($\mu\text{V}/\text{m}$)	
		Distance de mesure de 10 m ^a	Distance de mesure de 3 m ^a
$30 \leq f \leq 230$	Quasi-crête	50	60
$230 < f \leq 1\,000$	Quasi-crête	60	70
$1\,000 < f \leq 3\,000$ ^b	Crête	66	76
	Moyenne	46	56
$3\,000 < f \leq 6\,000$ ^b	Crête	70	80
	Moyenne	50	60

NOTE Certaines limites spécifiées dans le Tableau 19 sont supérieures aux limites spécifiées dans la norme générique en CEM IEC 61000-6-4, ainsi que dans la norme de famille de produits CISPR 11:2015. Cependant, ces limites ont été utilisées pour les EUT depuis l'IEC 61800-3:1996 (première édition). Aucun cas d'interférence n'a été signalé dans cette plage de fréquences (pour plus d'informations, voir l'Annex D). Des travaux sur une annexe informative visant à justifier l'augmentation des limites, sur la base d'une évaluation conformément au CISPR TR 16-4-4:2007, sont en cours de préparation et leur publication est prévue dans la prochaine édition de l'IEC 61800-3.

^a Concernant le choix de la distance de mesure, voir 6.4.1.3.3.

^b Pour les mesures à des fréquences supérieures à 1 GHz: voir 6.4.2 pour la plage de fréquences de mesure et l'application de la limite de crête et de la limite moyenne.

La distance de mesure doit figurer dans le rapport d'essai.

6.5.2.5 Interface de puissance

Pour un EUT destiné à fonctionner dans un environnement industriel, les instructions d'installation et d'utilisation doivent contenir toutes les informations nécessaires à l'installation de l'interface de puissance comme exigé en 4.3.

6.6 Règles d'ingénierie

6.6.1 EUT de catégorie C4

Pour les EUT de catégorie C4, la procédure suivante doit être utilisée.

6.6.2 Conditions générales

Pour des raisons techniques, il existe des applications pour lesquelles il est impossible pour l'EUT de respecter les limites du Tableau 18 et du Tableau 19. Ces applications correspondent à des caractéristiques assignées importantes ou à des exigences techniques particulières:

- tension supérieure à 1 000 V;
- courant supérieur à 400 A;
- réseau de distribution d'énergie isolé de la terre ou connecté à la terre par une forte impédance ("schéma IT" défini dans l'IEC 60364-1:2005, 312.2.3);
- lorsque les performances dynamiques exigées sont limitées en raison du filtrage.

Si un EUT ne satisfait pas aux limites d'émissions de la catégorie C3, les instructions d'utilisation doivent stipuler que:

- ce type d'EUT appartient à la catégorie d'émissions C4, conformément à l'IEC 61800-3;
- cet équipement est destiné à être exclusivement utilisé dans une installation qui est raccordée à des lignes d'alimentation ne générant pas de rayonnement (par exemple transformateur ou générateur de puissance dédié, ou lignes BT souterraines); et
- des interférences de radiofréquence sont à prévoir si les instructions d'installation ne sont pas soigneusement respectées.

Les instructions d'installation doivent contenir des informations sur les niveaux typiques d'émissions de l'EUT.

Les instructions d'installation doivent également inclure des informations sur les autres méthodes d'atténuation qui sont exigées.

NOTE 1 Exemples de méthodes d'atténuation couramment utilisées: filtrage global, blindage des câbles, séparation des câbles.

NOTE 2 Les informations mentionnées ci-dessus peuvent être utilisées pour préparer un plan CEM, afin de satisfaire aux exigences de CEM pour l'application visée (voir l'Annex E). Dans ce cas, l'utilisateur définit les caractéristiques de CEM de l'environnement, y compris la totalité de l'installation et le voisinage (voir la Figure 11).

6.6.3 Filtrage dans les systèmes d'alimentation IT

L'utilisation d'EUT filtrés sur un réseau industriel de distribution, isolé de la terre ou relié par une haute impédance, peut poser un problème de sécurité si les EUT n'ont pas été correctement conçus pour les applications de ce type. Dans le cas des réseaux avec régime IT destinés aux systèmes industriels complexes, aucune limite ne peut être fixée. Les solutions sont variées, résultant des connaissances glanées sur le système et, à ce titre, ne peuvent être normalisées. Les principales considérations portent sur les conditions de défaut et sur le courant de fuite des filtres.

- a) Court-circuit à la terre du côté du moteur de l'EUT. Si l'EUT peut continuer à fonctionner dans cette condition; de hauts niveaux de courant haute fréquence traversent les condensateurs de filtrage. Cela peut les endommager. Un court-circuit à la terre du côté du moteur de l'EUT peut provoquer l'application d'une tension en mode commun sur les autres équipements voisins.
- b) Détection d'un défaut par le contrôleur permanent d'isolement (CPI) conforme à l'IEC 61557-8:2016, en raison d'une augmentation de la capacité à la terre, qui peut entraîner un arrêt non souhaité du processus.

Les solutions reposent sur une analyse au cas par cas.

6.6.4 Limites situées en dehors de celles d'une installation, pour un EUT de catégorie C4 – Exemple de propagation des perturbations

6.6.4.1 Généralités

Pour les EUT de catégorie C4 dans des environnements industriels, la prévention de l'introduction de perturbations excessives dans les réseaux voisins dépend du mode d'installation de l'équipement, même si la propagation s'effectue par l'intermédiaire d'un réseau moyenne tension. L'expérience a montré que la plupart des installations d'équipement de catégorie C4 respectent la CEM sans nécessiter de mesures d'atténuation supplémentaires. En cas de non-obtention de la CEM, les procédures décrites en 6.6.4.2 et en 6.6.4.3 donnent des informations sur la propagation des perturbations, ainsi que des valeurs cibles pour la tension perturbatrice et le rayonnement à l'extérieur de l'installation de l'EUT.

6.6.4.2 Interférences dues à la conduction

Dans ce cas, les mesures doivent être prises au niveau du secondaire basse tension du transformateur moyenne tension de l'installation (installation 1) où se situe la victime (voir la Figure 11 pour le point de mesure). Les exigences du Tableau 20 ou du Tableau 21 et du Tableau 22, y compris les réserves relatives au bruit ambiant, doivent être respectées.

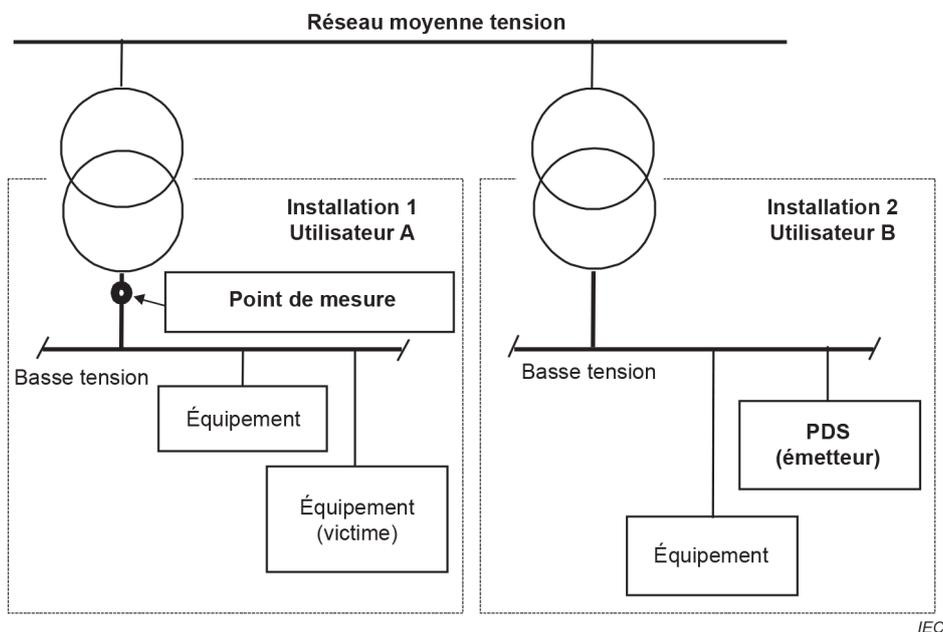


Figure 11 – Propagation des perturbations

Cette méthode peut s'appliquer à différentes parties de la même installation dans le cas d'un EUT de tension assignée supérieure à 1 000 V avec les limites indiquées dans le plan de CEM (voir l'Article E.2). Dans ce cas, il convient de prendre la mesure in situ de la tension perturbatrice propagée au secondaire basse tension du transformateur haute tension (partie 1 de l'installation) qui est électriquement le plus proche de l'EUT considéré comme émetteur (voir la Figure 12 pour le point de mesure).

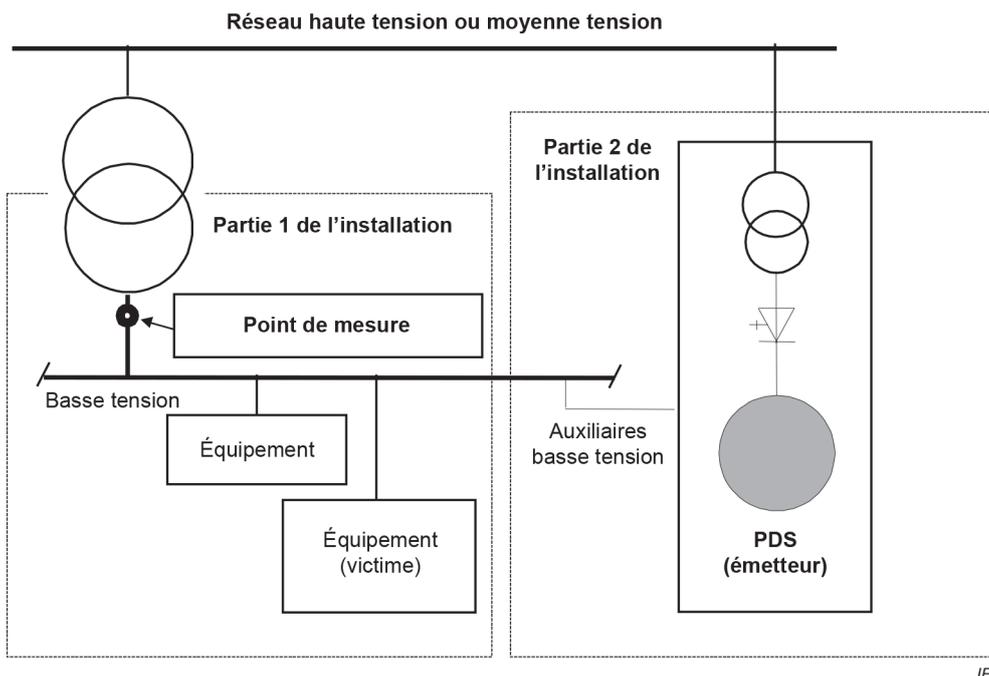


Figure 12 – Propagation des perturbations dans une installation avec un EUT de tension assignée > 1 000 V

Si l'installation 1 à la Figure 11 s'inscrit dans un environnement résidentiel, la tension perturbatrice doit être conforme aux limites du Tableau 20.

Tableau 20 – Limites de la tension perturbatrice propagée ("à l'extérieur" dans un environnement résidentiel)

Bande de fréquences MHz	Quasi-crête dB(μV)	Moyenne dB(μV)
$0,15 \leq f < 0,50$	66 Décroit avec le logarithme de la fréquence jusqu'à 56	56 Décroit avec le logarithme de la fréquence jusqu'à 46
$0,5 \leq f \leq 5,0$	56	46
$5,0 < f < 30,0$	60	50

Si l'installation 1 à la Figure 11 ou la partie 1 de l'installation à la Figure 12 s'inscrit dans un environnement autre que résidentiel, la tension perturbatrice doit être conforme aux limites du Tableau 21.

Tableau 21 – Limites de la tension perturbatrice propagée ("à l'extérieur" dans un environnement autre que résidentiel)

Bande de fréquences MHz	Quasi-crête dB(μV)	Moyenne dB(μV)
$0,15 \leq f < 0,50$	79	66
$0,5 \leq f \leq 5,0$	73	60
$5,0 < f < 30,0$	73	60

Si le niveau de bruit ambiant (sans fonctionnement de l'EUT qui est présumé émetteur) dépasse les limites (Tableau 20 et Tableau 21), l'EUT présumé émetteur n'est considéré comme non conforme au présent document que si des fréquences émises caractéristiques peuvent être identifiées et si elles dépassent le niveau de bruit ambiant mesuré.

6.6.4.3 Interférences dues aux rayonnements

6.6.4.3.1 Rayonnement supérieur à 30 MHz

En cas d'interférences, le rayonnement doit être mesuré à l'extérieur de l'installation, à une distance de 10 m des limites de l'installation si les interférences ont lieu dans un environnement résidentiel, ou à une distance de 30 m des limites de l'installation si les interférences ont lieu dans un environnement autre que résidentiel. L'amplitude du champ mesuré doit être conforme au Tableau 22.

Tableau 22 – Limites des perturbations électromagnétiques propagées à des fréquences supérieures à 30 MHz

Bande de fréquences MHz	Détecteur	Composante de l'amplitude du champ électrique dB(μ V/m)
$30 \leq f \leq 230$	Quasi-crête	30
$230 < f \leq 1\,000$	Quasi-crête	37
$1\,000 < f \leq 3\,000$ ^a	Crête	60
	Moyenne	40
$3\,000 < f \leq 6\,000$ ^a	Crête	64
	Moyenne	44
^a Pour les mesures à des fréquences supérieures à 1 GHz: voir 6.4.2 pour la plage de fréquences de mesure et l'application de la limite de crête et de la limite moyenne.		

Si le niveau de bruit ambiant (sans fonctionnement de l'EUT qui est présumé émetteur) dépasse les limites (Tableau 22), l'EUT présumé émetteur n'est considéré comme non conforme au présent document que si des fréquences émises caractéristiques peuvent être identifiées et si elles dépassent le niveau de bruit ambiant mesuré.

Les émissions de l'EUT doivent être diminuées jusqu'à ce qu'elles se situent en dessous des limites ou en dessous du niveau de bruit ambiant, la valeur retenue étant la plus élevée des deux.

Voir également A.4.3.

6.6.4.3.2 Rayonnement entre 0,150 MHz et 30 MHz

En cas d'interférences, le rayonnement doit être mesuré à l'extérieur de l'installation, à une distance de 10 m des limites de l'installation si les interférences ont lieu dans un environnement résidentiel, ou à une distance de 30 m des limites de l'installation si les interférences ont lieu dans un environnement autre que résidentiel.

Une antenne magnétique conforme à la CISPR 16-1-4 doit être utilisée. Les valeurs ne doivent pas dépasser celles données dans le Tableau 23 aux fréquences pour lesquelles se produisent des interférences.

Tableau 23 – Limites des perturbations électromagnétiques à des fréquences inférieures à 30 MHz

Bande de fréquences MHz	Composante d'amplitude du champ électrique Quasi-crête dB(μ A/m)
$0,15 \leq f < 0,49$	13,5
$0,49 \leq f < 3,95$	3,5
$3,95 \leq f < 20$	-11,5
$20 \leq f \leq 30$	-21,5

Annexe A (informative)

Techniques CEM

A.1 CEM et applications des entraînements (PDS)

La gamme d'applications des BDM/CDM/PDS/MT est si importante qu'il est vain de vouloir en établir une liste exhaustive. Cependant, les exemples donnés ici montrent des PDS utilisés dans plusieurs environnements très différents. Il convient que toute règle pratique tienne compte du fait que la définition de la CEM dépend davantage de l'environnement que du produit lui-même. Par exemple, il convient que la limitation des émissions dans les bâtiments résidentiels soit totalement différente de celle utilisée pour un laminoir dans une installation industrielle.

Exemples d'applications de PDS:

- machines-outils, robots, équipements d'essai en production, bancs d'essai;
- machines à papier, manufactures de vêtements;
- calandreuses (machines utilisées pour déposer une finition de surface sur un support de type feuille, dans les industries du papier, du textile et du caoutchouc);
- lignes de traitement dans les industries du plastique ou en métallurgie, laminoirs;
- concasseurs à ciment, fours à ciment, mélangeuses, centrifugeuses, extrudeuses;
- foreuses;
- convoyeurs, machines de manutention, équipements de levage (grues, ponts roulants, etc.);
- propulsion des bateaux, etc.;
- pompes, ventilateurs, etc.

Les exemples cités concernent des PDS couverts par le présent document. Toutefois, les véhicules électriques, et particulièrement les entraînements de traction, sont exclus de son domaine d'application (voir l'Article 1).

A.2 Conditions de charge vis-à-vis des phénomènes hautes fréquences

A.2.1 Conditions de charge relatives aux essais d'émissions

La charge du moteur a normalement peu d'effet sur les caractéristiques de CEM de l'EUT. Il n'est donc pas nécessaire de soumettre à essai les caractéristiques de CEM de l'EUT à toutes les conditions de charge, mais uniquement à une charge représentative de toutes les émissions liées au fonctionnement.

Les émissions rayonnées et conduites d'un EUT sont principalement dues aux transitions rapides sur la tension de sortie qui est utilisée pour produire la puissance de sortie en courant continu ou à basse fréquence. Le spectre de tension, lié à la forme d'onde, peut avoir une énergie en haute fréquence suffisante pour que l'EUT rayonne de l'énergie électrique par ses conducteurs de puissance en entrée, son armoire, ses câbles et l'enveloppe du moteur. La condition la plus défavorable est par conséquent attendue dans les conditions où les transitions de tension ont le contenu en haute fréquence le plus élevé.

La vitesse de transition de la tension de sortie est affectée par la rapidité de commutation du composant de puissance utilisé dans l'EUT. Les transistors à effet de champ à grille isolé (IGBT, Insulated Gate Bipolar Transistor) sont des composants très rapides; en association avec les diodes utilisées dans certains types d'onduleurs, ils peuvent générer des dv/dt pouvant être supérieurs à 10 000 V/ μ s. Il est important de noter que la rapidité du recouvrement de la diode

est un paramètre important de ces rapports dv/dt élevés. Bien que le niveau de courant de recouvrement dépende de la charge, la rapidité du recouvrement de la diode en dépend moins. Au contraire, le comportement de commutation le plus soudain des diodes de roue libre se produit à des bas niveaux de courant de charge.

Par ailleurs, il est important de prendre en considération l'effet des condensateurs, résistances ou inductances du circuit de puissance, tels que ceux des circuits d'amortissement, dont la fonction est de limiter la pente de cette tension. La forme d'onde de sortie peut avoir, avec ces composants, des caractéristiques de dv/dt dépendantes de la charge.

A.2.2 Conditions de charge relatives aux essais d'immunité

La charge du moteur a normalement peu d'effet sur la plupart des caractéristiques d'immunité de CEM de l'EUT. Par conséquent, la situation la plus défavorable est obtenue dans toutes les conditions de charge. Les défaillances des circuits de puissance et de commande sont généralement fonction des niveaux de tension et non des niveaux de courant.

L'immunité aux creux de tension et aux coupures brèves constitue une exception. Pour ces phénomènes, la décharge de la tension de la liaison à courant continu par la charge constitue le paramètre le plus important, et la caractéristique d'immunité la plus défavorable se produit au courant de charge maximal.

Le critère de comportement en générateur de couple exige une charge suffisamment élevée pour mesurer la perturbation de couple pouvant apparaître lors des essais en basses ou hautes fréquences. Cela exige un moteur et un capteur de couple. Les méthodes indirectes de mesure du couple exigent un niveau de charge suffisant pour mesurer toute perturbation de couple.

A.2.3 Essai en charge

Les essais peuvent même être réalisés avec des résistances et réactances de puissance pour simuler la présence du moteur. Il est également important de noter que la carcasse du moteur peut se comporter en antenne. Si une charge passive est utilisée, ce comportement d'antenne n'est pas pris en compte dans cet essai.

Il convient que le fabricant de l'EUT atteste que la charge d'essai sur l'EUT reproduit bien les conditions les plus défavorables ou de plus grande susceptibilité pour son produit particulier. Cette attestation peut se fonder sur l'essai d'un produit représentatif, sur le calcul ou sur la simulation.

A.3 Immunité aux champs électromagnétiques

A.3.1 Immunité aux champs magnétiques à la fréquence du réseau

Il est courant de pratiquer des essais conformément à l'IEC 61000-4-8 en cas d'utilisation de composants sensibles aux champs magnétiques. Certains appareils de mesure de courant présents dans les EUT contiennent des dispositifs à effet Hall. Le dispositif à effet Hall détecte le flux magnétique dans le noyau magnétique qui entoure le conducteur transportant du courant. À l'emplacement du dispositif à effet Hall, le champ magnétique induit par le courant mesuré est bien plus élevé que le niveau stipulé pour l'essai réalisé conformément à l'IEC 61000-4-8. Par exemple, il peut être calculé qu'un courant de 10 A (présumé seul sur une ligne droite infinie) génère un champ magnétique de 320 A/m à une distance de 5 mm. La perturbation résultant de l'essai peut donc être considérée comme négligeable, comparée à l'environnement de fonctionnement de ce capteur de courant.

A.3.2 Immunité aux perturbations conduites à haute fréquence

A.3.2.1 Fréquences radioélectriques conduites en mode commun et transitoires rapides en salves

Le présent document n'applique pas les essais d'immunité aux fréquences radioélectriques conduites en mode commun et aux transitoires rapides en salves aux accès pour lesquels les instructions d'installation limitent la longueur de câble autorisée à un maximum de 3 m. Cela est conforme à l'approche adoptée dans de nombreuses autres normes de CEM, comprenant l'IEC 61000-6-3, l'IEC 61000-6-4 et l'IEC 61000-6-8.

Un câble de 3 m de longueur peut jouer le rôle d'antenne de réception au voisinage des fréquences élevées, lors de l'essai d'immunité aux fréquences radioélectriques conduites, et aux fréquences présentes lors de l'essai de transitoires rapides en salves. Il peut cependant être constaté ceci:

- par rapport à des câbles de grande longueur, des câbles courts sont moins susceptibles de cheminer sur de longues distances à proximité immédiate d'autres câbles, pouvant associer leurs perturbations à celles de ces câbles;
- les considérations pratiques, inhérentes au cheminement d'un câble par la pince de couplage capacitif de l'essai de transitoires rapides en salves, et par la pince électromagnétique (pince EM) de l'essai d'immunité aux fréquences radioélectriques conduites, exigent que le câble utilisé pendant l'essai présente une longueur d'au moins 3 m.

Cela ne signifie pas que ces accès ne sont pas sollicités pendant ces essais. Si des perturbations de mode commun sont couplées dans un accès d'un EUT, ces perturbations vont quitter l'EUT par les autres accès par câble et par l'accès enveloppe. Par conséquent, pendant les essais des autres accès, des perturbations vont s'évacuer par l'accès "non soumis à essai", comme c'est le cas dans les applications en conditions réelles. C'est la raison pour laquelle il convient qu'un EUT soit équipé de câbles sur chaque type d'accès, même si certains accès ne sont pas explicitement soumis aux essais d'immunité aux fréquences radioélectriques conduites ou de transitoires rapides en salves.

A.3.2.2 Surtension

Le présent document n'applique pas l'essai d'immunité aux surtensions aux accès pour lesquels les instructions d'installation limitent la longueur de câble autorisée à un maximum de 30 m. Cela est conforme à l'approche adoptée dans de nombreuses autres normes de CEM, comprenant l'IEC 61000-6-3, l'IEC 61000-6-4 et l'IEC 61000-6-8.

La plage de fréquences de la surtension correspond à une plage de fréquences plus basse que celles de l'immunité aux fréquences radioélectriques conduites et des transitoires rapides en salves. Cela signifie que les surtensions résultant de la foudre ou de transitoires du réseau d'alimentation ne vont pas se coupler aussi efficacement sur des câbles d'une longueur inférieure à 30 m, par rapport à des câbles plus longs.

A.3.3 Immunité aux champs magnétiques haute fréquence

A.3.3.1 Méthode préférentielle

La susceptibilité aux champs électromagnétiques d'un équipement donné dépend de la fréquence, et des équipements différents vont présenter des dépendances en fréquence différentes. Les essais de l'IEC 61000-4-3 et de l'IEC 61000-4-6, cités en référence en 5.4.5, couvrent des plages de fréquences étendues.

A.3.3.2 Essai complémentaire

A.3.3.2.1 Utilisation de l'essai complémentaire

Certains utilisateurs d'équipements demandent un essai basé sur les talkies-walkies ou les téléphones portables utilisés sur leur site. De tels essais démontrent uniquement l'immunité pour un jeu limité de fréquences.

La procédure ci-après peut être utilisée pour effectuer un "essai de talkie-walkie" dans les cas où il est demandé.

A.3.3.2.2 Choix et préparation des dispositifs de transmission

Comme cet essai n'est pas réalisé dans une chambre blindée, seuls des émetteurs bénéficiant d'une homologation légale pour une utilisation sur l'emplacement d'essai peuvent être utilisés.

Les émetteurs suivants sont recommandés:

- les appareils tels que des talkies-walkies, qui sont couramment utilisés à quelques mètres de l'équipement, au sein des locaux de l'utilisateur;
- les téléphones portables, sauf si leur usage est interdit à l'emplacement opérationnel au sein des locaux de l'utilisateur, et s'ils sont capables d'émettre à leur puissance assignée.

Il convient de veiller à ce que le bloc batterie ou l'alimentation électrique de l'émetteur soit à sa pleine capacité. Si l'émetteur est capable d'ajuster la puissance de l'émission (dans le cadre d'une fonctionnalité d'économie de batterie), il convient de veiller à ce que cette possibilité soit désactivée.

NOTE 1 Il n'est généralement pas possible pour l'utilisateur d'un téléphone portable de désactiver une quelconque fonctionnalité d'ajustement automatique de la puissance d'émission.

Il convient de stipuler dans le rapport d'essai la liste et les caractéristiques de l'émetteur (type, puissance et fréquences) utilisé pendant l'essai.

Dans le cas d'un téléphone portable:

- il convient de mesurer l'amplitude du champ à l'aide d'un mesureur de champ, en tenant le téléphone portable à 0,5 m de la tête de détection du mesureur de champ; et
- il convient de mesurer la fréquence d'émission approximative à l'aide d'un analyseur de spectre.

NOTE 2 Lors de la rédaction du présent document, les téléphones portables exploitent plusieurs bandes de fréquences, allant de 700 MHz jusqu'à 3,6 GHz. Un opérateur de réseau mobile utilise des fréquences différentes pour différentes stations de base au sein d'une même ville. Une station de base exploite généralement de nombreuses bandes de fréquences simultanément, plus particulièrement si elle prend en charge plusieurs générations de technologies de téléphonie mobile (2G, 3G, 4G, 5G). Par conséquent, il peut être difficile pour l'utilisateur d'un téléphone portable de prévoir sur quelle fréquence son téléphone portable va émettre au cours de l'essai.

A.3.3.2.3 Procédure d'essai

L'émetteur est tenu à la main, à proximité d'une surface verticale de l'EUT. Le point de l'antenne qui est le plus proche de l'EUT se situe entre 0,5 m et 1,0 m de l'EUT. L'émetteur est commuté de l'état "réception" à l'état "émission", puis ramené à l'état "réception". Il convient de veiller à ce que le temps de maintien de l'émission ne soit pas inférieur au temps nécessaire à l'EUT pour être capable de répondre. Dans le cas d'un appareil de type téléphone classique, dans lequel l'utilisateur ne peut pas commuter de l'état "émission" à l'état "réception", l'émission consiste à la place en un numéro de téléphone.

Il convient qu'il y ait au moins trois émissions pour chaque orientation de l'antenne: verticalement, horizontalement selon un plan parallèle à la surface de l'EUT, et perpendiculairement à l'EUT (en direction de l'EUT).

Il convient de suivre la procédure suivante:

- en au moins cinq positions sur chaque surface verticale de l'EUT;
- sur toutes les ouvertures de ces surfaces verticales, une grille de ventilation étant considérée comme une ouverture;
- (si l'EUT est un PDS) à la surface du moteur, s'il inclut des capteurs.

Il convient ensuite de répéter l'intégralité de la procédure pour au moins deux fréquences d'émission différentes.

Plus particulièrement dans le cas d'un téléphone portable, il convient d'utiliser un analyseur de spectre en mode de capture de la valeur de crête (peak-hold), avec une antenne de réception située à quelques mètres de l'émetteur, afin de tenter d'enregistrer la ou les fréquences d'émission qui se sont réellement produites pendant l'essai.

A.4 Techniques de mesure des émissions haute fréquence

A.4.1 Impédance/réseau fictif d'alimentation (AMN)

A.4.1.1 Circuit de l'AMN

La source de perturbations haute fréquence dans un variateur ayant une certaine impédance, la mesure de la tension perturbatrice est affectée par l'impédance du réseau. En particulier en basse fréquence, l'impédance du réseau peut être considérée comme inductive. Cependant, il peut y avoir des résonances dues aux capacités diverses du système. Pour plus d'informations, voir l'IEC TR 61000-2-3:1992, 6.6.

Lorsque cela est possible, il convient d'employer un AMN pour normaliser l'impédance d'alimentation pendant les essais de type. La répétitivité entre différents emplacements d'essai est ainsi améliorée.

Les caractéristiques de différents réseaux sont définies dans la CISPR 16-1-2:2014 et la CISPR 16-1-2:2014/AMD1:2017, Article 4. Dans la plage de fréquence des mesures des tensions perturbatrices définies dans le présent document, le réseau $50 \Omega // 50 \mu\text{H}$ ou le réseau $50 \Omega // 50 \mu\text{H} + 5 \Omega$ peuvent être utilisés. Entre 150 kHz et 30 MHz, chaque ligne de l'accès de puissance de l'équipement soumis à essai (l'entraînement électrique de puissance) voit une impédance à la terre de 50Ω en parallèle avec $50 \mu\text{H}$, indépendamment de l'impédance du réseau d'alimentation.

A.4.1.2 EUT avec lesquels l'AMN ne peut pas être utilisé

A.4.1.2.1 Motifs d'impossibilité

Aux fréquences plus basses, les inductances internes de l'AMN $50 \Omega // 50 \mu\text{H}$ ajoutent $50 \mu\text{H}$ à l'impédance du réseau. Les inductances internes de l'AMN $50 \Omega // 50 \mu\text{H} + 5 \Omega$ y ajoutent $300 \mu\text{H}$. Cette impédance supplémentaire peut empêcher le fonctionnement correct de certains EUT (par exemple, les encoches de commutation deviennent excessivement larges à courant fort et faible angle d'allumage, si l'inductance de ligne est trop élevée). Dans ces cas-là, l'AMN ne peut pas être utilisé.

Si l'AMN n'est pas commercialisé, les méthodes décrites en A.4.1.2.2 ou en A.4.1.2.3 peuvent s'appliquer. La méthode décrite en A.4.1.2.3 est préférentielle. Lorsqu'un courant élevé empêche d'utiliser la méthode normale de l'AMN, il convient d'appliquer les étapes suivantes pour renforcer la corrélation:

- 1) effectuer la mesure conformément à la méthode normale de l'AMN au niveau de puissance maximal possible de l'AMN;

- 2) effectuer la mesure conformément à la méthode en variante de A.4.1.2.2 ou A.4.1.2.3, au même niveau de puissance;
- 3) noter les différences de résultats entre les deux mesures;
- 4) effectuer la mesure conformément à la méthode en variante de A.4.1.2.2 ou A.4.1.2.3, au niveau de puissance souhaité;
- 5) ajuster les résultats de l'étape 4) en fonction de la différence relevée à l'étape 3).

A.4.1.2.2 Sonde de tension à haute impédance

Quand aucun AMN n'est utilisé, la tension perturbatrice peut être mesurée à l'aide de la sonde de tension à haute impédance décrite dans la CISPR 16-1-2:2014, 5.2.1. Puisque le courant principal ne traverse pas la sonde, cette dernière peut être utilisée même avec des EUT présentant les plus fortes valeurs de courant assigné.

En ajustant la valeur et la tension assignée du condensateur, cette sonde peut être utilisée avec des alimentations jusqu'à 1 000 V au moins. Si la valeur du condensateur est réduite, il convient de tenir compte de son influence sur le facteur d'échelle de la mesure lors de l'étalonnage, comme indiqué dans la CISPR 16-1-2.

La sonde est branchée entre une phase et la terre de référence. Si l'EUT a une masse métallique reliée à la terre, celle-ci peut être prise comme terre de référence. Il convient de placer la sonde sur les câbles d'alimentation qui entrent dans l'EUT. Il convient que les connexions de la sonde soient aussi courtes que possible, de préférence moins de 0,5 m.

La CISPR 16-1-2 donne des informations sur la nécessité de réduire le plus possible la surface de la boucle formée par les liaisons de la sonde, le conducteur soumis à essai et la terre de référence. Cela permet de réduire la susceptibilité aux champs magnétiques.

A.4.1.2.3 Méthode en variante pour les EUT à courant élevé

Dans certains cas, il peut être difficile d'utiliser une sonde haute impédance pour des raisons de sécurité lors des modifications de phases, et les résultats peuvent être plus élevés de plusieurs dizaines de décibels que ceux obtenus avec la méthode du réseau fictif d'alimentation (à cause d'impédances désadaptées).

Une méthode en variante, expérimentée dans certains pays depuis plusieurs années, se sert d'un AMN de faible courant (par exemple de 25 A) comme d'une sonde de tension, même avec un EUT de courant élevé (supérieur à plusieurs centaines d'ampères). Cette méthode est décrite dans la CISPR 16-2-1:2014, Article A.5. L'EUT n'est pas déconnecté de son réseau d'alimentation.

Il convient que le côté charge de l'AMN soit connecté aux lignes d'alimentation de l'EUT au niveau des bornes d'accès de puissance à l'aide d'un câble de 1 m. Il convient qu'une certaine inductance (par exemple celle du câblage) soit présente entre le point de couplage (PC) et l'AMN. Il convient que le côté réseau de l'AMN soit laissé ouvert (par exemple, pas de connexion aux périphériques). Il convient que le récepteur soit connecté à l'AMN selon l'usage habituel. Les résultats de mesure, à l'aide de cette méthode, sont quasiment similaires à ceux d'un AMN de plusieurs centaines d'ampères.

A.4.2 Exécution des essais d'émissions haute fréquence in situ

Quand l'équipement ne peut pas être soumis à un essai sur un emplacement d'essai, il est soumis à des essais in situ. Dans ce cas, il convient de s'attacher à éviter tout problème lié au bruit ambiant.

La répétabilité des essais in situ n'est pas aussi bonne que celle des essais réalisés sur un emplacement d'essai. Il convient donc d'utiliser des résultats d'essai in situ avec une certaine prudence pour prédire la conformité d'un produit fabriqué en série.

Pour les équipements volumineux, l'antenne peut être déplacée autour de l'équipement, afin de déterminer le point présentant les émissions les plus élevées.

A.4.3 Expérience acquise avec les EUT de grande puissance

Depuis plusieurs décennies, l'expérience dans différents pays a montré que la législation et les procédures de protection établies par les services de radiocommunication contre les perturbations haute fréquence ont apporté, dans la pratique, d'excellents résultats. La procédure utilisée depuis plusieurs années est décrite ci-dessous.

Selon cette procédure, les équipements de grande puissance destinés à être utilisés comme partie d'une installation dans un environnement industriel ne font pas l'objet d'un essai sur un emplacement d'essai. Voir [1]³. Les mêmes règles s'appliquent à l'équipement construit par l'utilisateur lui-même, sous sa propre responsabilité (voir [2]). Les limites d'émission d'une telle installation de grande puissance correspondent aux dimensions réelles du site d'installation, même dans le cas où il est prévu d'y installer des équipements de commande et de mesure. Les limites d'émission ont été appliquées en fonction de l'étendue de l'installation (le point de mesure pour la tension perturbatrice sur les bornes réseau correspond au secondaire basse tension du transformateur de moyenne tension le plus proche; pour les émissions rayonnées, il se situe à une distance de 30 m de la limite); voir [1] et [2].

La procédure établie en 6.6 tient donc compte de l'expérience acquise. L'utilisation d'un EUT (catégorie C4) dans de telles conditions exige une certaine compétence en CEM. Il convient que celle-ci soit appliquée à la conception de l'appareillage ou que le fabricant et l'utilisateur définissent les niveaux de compatibilité appropriés pour l'environnement spécifique.

³ Les chiffres entre crochets renvoient à la Bibliographie.

Annexe B (informative)

Phénomènes basse fréquence

B.1 Encoches de commutation

B.1.1 Conditions d'évaluation

Les encoches de commutation sont mesurées au niveau des accès de puissance à l'aide d'un oscilloscope (voir B.1.2). L'analyse est effectuée dans le domaine temporel. Les encoches sont produites par des convertisseurs contrôlés commutés par le réseau.

Lorsqu'il est établi que le circuit d'entrée de l'EUT ne produit pas d'encoches ou ne produit que des encoches d'amplitude négligeable (par exemple dans le cas de redresseurs à diode), l'émission d'encoches peut ne pas être prise en compte.

Le principal cas pratique où il convient que l'émission d'encoches soit prise en compte est celui des convertisseurs à thyristor (à commutation par le réseau). Les filtres radiofréquences (RFI, Radio Frequency Interference) sont des cas pratiques d'équipements qui peuvent être affectés par les encoches. Ils peuvent être soumis à des surcharges ou à des surtensions répétées.

NOTE Un redresseur à diodes est un convertisseur non commandé commuté par le réseau, qui produit des encoches de commutation d'amplitude négligeable. Certains convertisseurs autocommutés (par exemple, un convertisseur indirect de type onduleur de tension à étage d'entrée actif) peuvent produire des encoches de commutation en fonction du type de modèle de modulation à largeur d'impulsions (MLI).

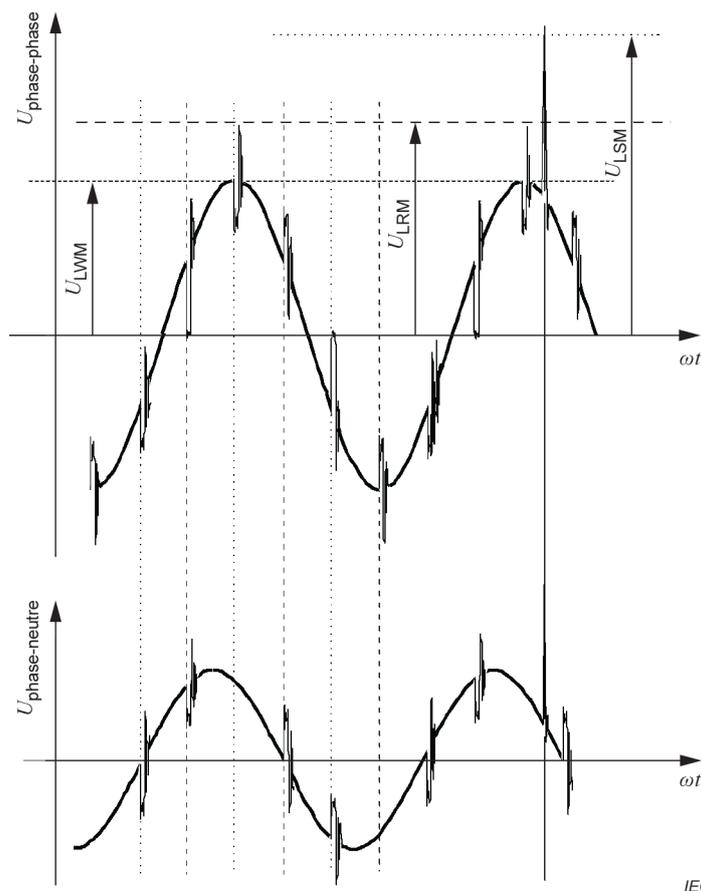
Lorsque les encoches sont à prendre en compte, les informations suivantes doivent figurer dans la documentation destinée à l'utilisateur:

- valeur de toutes les réactances de découplage incluses dans l'EUT;
- réactances de découplage disponibles qui peuvent être ajoutées en externe pour permettre l'atténuation (voir B.1.3).

Il convient de suivre les recommandations données en B.1.4.

B.1.2 Occurrence – Description

Les encoches de commutation (voir l'IEC 60050-551:1998, 551-16-06) sont provoquées par des courts-circuits entre phases aux bornes d'un convertisseur à thyristor. Cela se produit lorsque le courant est commuté d'une phase de l'alimentation à la phase suivante. Les encoches de tension sont des écarts de la tension alternative du réseau par rapport à la valeur instantanée du fondamental. L'amplitude des encoches de commutation rencontrées en un autre point du système d'alimentation dépend du rapport entre l'impédance d'alimentation et la réactance de découplage dans le convertisseur à thyristor. La Figure B.1 représente une forme d'onde type d'encoches de commutation.



La figure prend pour hypothèse qu'il n'y a aucune impédance entre les bornes de l'EUT et le convertisseur.

Transitoires répétitifs $(U_{LRM}/U_{LWM}) = 1,25$ à $1,50$; en fonction de la conception du circuit d'amortissement relativement aux valeurs di/dt et I_{RR} (courant inverse dynamique du semiconducteur).

Transitoires non répétitifs $(U_{LSM}/U_{LWM}) = 1,80$ à $2,50$ en fonction des dispositifs de protection supplémentaires.

NOTE La plage type des valeurs par unité est fournie pour référence seulement.

Figure B.1 – Forme d'onde type des encoches de commutation – Distinction par rapport aux transitoires non répétitifs

L'analyse des encoches prend en considération une plage de fréquences plus grande que l'analyse harmonique normale. Leurs caractéristiques dans le domaine temporel engendrent des effets qui ne peuvent pas être compris par le biais d'une simple analyse harmonique. Elles sont donc analysées dans le domaine temporel à l'aide d'un oscilloscope.

Il convient d'abord de rappeler les points suivants.

- Dans les cas simples où la règle s'applique, l'hypothèse retenue est la suivante: l'impédance de réseau peut être modélisée avec une réactance pure: $Z = L\omega$ (cette hypothèse n'est pas valable si des condensateurs ou des câbles longs sont raccordés; des résonances peuvent survenir dans ces cas).
- L'immunité contre les encoches de commutation est classée dans l'IEC 60146-1-1:2009, en 5.4.1 et dans le Tableau 9, où sa mesure est définie en profondeur (en % de U_{LWM}) et en surface (profondeur multipliée par largeur, en % degrés); l'IEC 60146-1-1 définit U_{LWM} comme la valeur instantanée maximale de U_L excluant les transitoires (c'est donc l'amplitude), où U_L est la tension entre phases côté alimentation du convertisseur ou transformateur, le cas échéant.

Si le convertisseur ne possède aucune inductance, la profondeur d de l'encoche principale de tension entre phases aux bornes du convertisseur lui-même (et non aux bornes du BDM/CDM) est donnée par:

$$d = 100 \sin \alpha \quad (\%)$$

où α représente l'angle d'allumage d'un convertisseur à contrôle de phase (référéncé au point de commutation naturelle d'une diode).

- L'encoche principale est caractérisée par une valeur de 0 V (tension entre phases aux bornes du convertisseur).
- L'approximation donne une sous-évaluation de d pour $\alpha < 90^\circ$ et une surévaluation de d pour $\alpha > 90^\circ$.

La surface d'encoche a peut être approchée par une relation simple (exemple d'un pont triphasé, voir conditions de l'approximation dans la note ci-dessous):

$$a = 8\,000 (Z_t \times I_{1L}/U_L) \quad (\% \text{ degrés})$$

où

Z_t est l'impédance de ligne totale par phase (ici, par hypothèse, une inductance pure), incluant toute impédance dans l'EUT;

I_{1L} est la composante fondamentale du courant côté réseau;

U_L est la tension entre phases.

Il peut être constaté que le cas le plus défavorable survient quand l'EUT est aux conditions limites de courant.

NOTE Pendant l'angle de commutation u , de α à $(\alpha + u)$, la tension de commutation est:

$$\sqrt{2} U_L \sin \omega t$$

et

$$\sqrt{2} U_L \sin \omega t = 2 L_t di/dt$$

la surface de l'encoche de commutation est

$$A = \int_{\alpha}^{\alpha+u} U(\theta) d\theta = 2L_t \int_{\alpha}^{\alpha+u} \frac{di}{dt} \frac{dt}{d\theta} d\theta \quad (\text{en volt} \times \text{radian})$$

$$A = 2 L_t \omega I_{\alpha} \quad \text{ce qui se traduit par} \quad A = 2 Z_t I_{\alpha}$$

où I_{α} est le courant commuté.

Pour prendre en considération l'ondulation dans le pont triphasé, soit $I_{\alpha} \approx 0,75 I_d$, où I_d est le courant continu:

$$A = 1,5 Z_t I_d$$

et avec a en % degrés

$$a = 100 A (360/2 \pi) (1/\sqrt{2} U_L) = 6\,077 (Z_t I_d/U_L)$$

$$a = 7\,794 (Z_t I_{1L}/U_L)$$

$$a \approx 8\,000 (Z_t I_{1L}/U_L) \quad \text{ou en valeurs par unité} \quad a \approx 4\,500 (z_t i_L)$$

Des informations supplémentaires sur les encoches de commutation sont données dans l'IEC 61800-1:2021, Article B.7.

B.1.3 Calcul

B.1.3.1 Évaluation générale

Lorsque les hypothèses énumérées en B.1.2 sont valables, la profondeur d'encoche au PC est:

$$d_{PC} \% = 100 \sin \alpha [Z_c / (Z_c + Z_d)] = 100 \sin \alpha (Z_c / Z_t)$$

où Z_t est l'impédance totale de ligne.

$$Z_t = Z_c + Z_d$$

où

Z_d est la réactance de découplage entre le PC et les bornes du convertisseur (qu'elle soit incluse ou non dans l'EUT);

Z_c est l'impédance du réseau d'alimentation au PC.

L'ampleur de la capacité de commande du convertisseur (par exemple dans le cas d'un pont contrôlé triphasé) est souvent représentée par $\sin \alpha$. La profondeur d'encoche varie de 100 % aux bornes du convertisseur, jusqu'à 0 % à celles de la source d'impédance nulle.

L'adjonction d'une réactance de découplage Z_d entre le PC et le BDM réduit la profondeur d'encoche et augmente la largeur d'encoche au PC, mais la surface d'encoche reste constante.

$$a_{PC} = 8\,000 (Z_c \times I_{1L} / U_L) (\% \text{ degrés})$$

Dans les cas simples où ces hypothèses s'appliquent, ces équations peuvent être utilisées pour définir la réactance de découplage exigée. Connaissant la limite de profondeur d'encoche (voir le Tableau B.1) et l'ampleur de commande du convertisseur, la profondeur d'encoche au PC est donnée par le rapport:

$$Z_c / (Z_c + Z_d)$$

Donc Z_c , définie par l'utilisateur, permet à l'installateur de calculer Z_d , de laquelle peut être retranchée la réactance de découplage interne (donnée par le fabricant), le cas échéant. La valeur restante est la réactance à ajouter pour un découplage correct.

NOTE Les calculs ci-dessus ne tiennent pas compte des transitoires au début et à la fin de l'encoche.

B.1.3.2 Règles pratiques

Le calcul donné en B.1.3.1 définit la règle pratique pour découpler l'émission au moyen d'une réactance Z_d . En voici un résumé. En prenant pour hypothèse que l'impédance du réseau est une inductance pure, les relations fondamentales s'écrivent comme suit:

$$Z_c = L_c \times \omega$$

$$Z_t = Z_c + Z_d$$

$$d_{PC} \% = 100 \sin \alpha (Z_c/Z_t)$$

$$a_{PC} \% \text{ degrés} = 8\,000 (Z_c \times I_{1L}/U_L)$$

Si plusieurs convertisseurs sont raccordés sur la même ligne, il convient de tenir compte de l'IEC TR 60146-1-2:2019, 5.4.2.

Cependant, il convient de rappeler que la conformité aux critères d'émission sur les encoches n'assure pas automatiquement la conformité aux critères d'émission harmonique. De la même manière, la conformité aux critères d'émission harmonique n'assure pas automatiquement la conformité aux critères d'émission sur les encoches de commutation. L'aspect immunité n'est pas entièrement couvert par les critères de distorsion harmonique. En fait, comme le critère harmonique ne fixe aucune relation de phase entre les différentes composantes harmoniques, il ne prévient pas de l'application d'une forme d'onde de tension particulière aux bornes de l'EUT. La forme d'onde particulière due aux encoches de commutation (dv/dt , et passage possible par zéro) affecte le fonctionnement des circuits d'amortissement et peut aussi affecter le fonctionnement de la commande électronique.

B.1.4 Recommandations relatives aux encoches de commutation

B.1.4.1 Émission

Les recommandations ne s'appliquent pas aux convertisseurs de puissance équipés d'une structure pour laquelle il est connu que les encoches de commutation n'existent pas ou qu'elles n'ont qu'une amplitude négligeable.

Par exemple, un convertisseur indirect de type onduleur à source de tensions ayant un étage d'entrée actif équipé d'un filtre de découplage conçu pour atténuer les effets de la fréquence de commutation ne produit pas d'encoches. Un simple redresseur à diodes produit des encoches d'amplitude négligeable. Le principal cas pratique où il convient que l'émission d'encoches soit prise en compte est celui des convertisseurs à thyristor (à commutation par le réseau).

La conformité aux recommandations relatives aux encoches de commutation ne dispense pas du besoin de vérifier la conformité aux exigences relatives aux harmoniques. Il convient de limiter la profondeur de l'encoche principale au PC (PCC ou IPC) conformément au Tableau B.1, avec une impédance de ligne qui est, par hypothèse, une inductance pure:

$$Z = L \omega$$

et ayant une valeur de 1,5 % (par rapport à la puissance assignée de l'EUT).

NOTE 1 Lors de l'installation de l'EUT, l'impédance de ligne est pratiquement définie à partir de la puissance de court-circuit S_{sc} au PC:

$$Z_{sc} = U_{LN}^2/S_{sc}$$

**Tableau B.1 – Profondeur maximale admissible
des encoches de commutation au PC**

	Environnement résidentiel, commercial ou de l'industrie légère	Environnement industriel
Profondeur d'encoche maximale	20 % Classe C de l'IEC 60146-1-1 ou conformité aux exigences des autorités locales chargées de l'alimentation en énergie	40 % Classe B de l'IEC 60146-1-1 ou accord avec l'utilisateur

NOTE 2 Cette règle ne peut être utilisée lorsque des résonances dues aux condensateurs ou à des câbles de grande longueur peuvent être attendues.

Certains réseaux de distribution peuvent exiger une attention toute particulière (par exemple les réseaux de distribution internes, dans les hôpitaux). Dans ces cas, il convient que les conditions soient spécifiées par l'utilisateur.

La conformité peut être déterminée par calcul, simulation ou par mesure.

Pour permettre à l'utilisateur de suivre cette recommandation si l'EUT s'en écarte, il convient que le fabricant fournisse les informations suivantes dans la documentation destinée à l'utilisateur:

- l'impédance de ligne maximale et minimale pour le fonctionnement correct de l'EUT;
- la description de la réactance de découplage Z_d , incluse le cas échéant dans l'EUT;
- la description des réactances de découplage Z_d disponibles pouvant être fournies en option.

NOTE 3 L'impédance de ligne maximale est directement liée à la surface d'encoche maximale au PC (voir B.1.2).

Cependant, dans le cas de plusieurs EUT connectés au même PC, la limitation des encoches dépend du système; aucune règle simple ne peut donc être définie.

Le principal cas pratique où il convient de tenir compte de l'immunité aux encoches pour d'autres équipements est celui des filtres RFI.

B.1.4.2 Immunité

L'effet nuisible des encoches sur un EUT peut être bien supérieur à celui qu'indiquerait une analyse dans le domaine fréquentiel de leur contribution à la distorsion harmonique totale. Une analyse des encoches de commutation est donc nécessaire dans le domaine temporel. Il est à noter que la contrainte due aux harmoniques et aux encoches de commutation affecte la commande électronique, ainsi que certains des composants de puissance (circuits d'amortissement, par exemple). Dans la mesure où des dysfonctionnements de commande électronique se produisent immédiatement, et où les circuits d'amortissement ont une constante de temps thermique brève, il n'est pas nécessaire de prolonger la durée d'un essai dans des conditions permanentes au-delà de 1 h.

Il convient que l'immunité contre les encoches soit prise en compte dans les cas pratiques suivants:

- le fonctionnement est affecté instantanément, par exemple l'effet sur les circuits de synchronisation électronique où le passage par zéro de la tension est pris comme référence;
- surcharge thermique, par exemple surcharge des circuits d'amortissement dans le convertisseur de puissance;
- surtensions sur les circuits L-C, par exemple les filtres RFI.

Tableau B.2 – Exigences d’immunité recommandées pour les encoches de commutation sur les accès de puissance des EUT

Phénomène	Environnement résidentiel, commercial ou de l’industrie légère		Environnement industriel		Critère de performance (de qualification)
	Document de référence	Niveau	Document de référence	Niveau	
Encoches de commutation	(Aucun)	Aucune exigence	IEC 60146-1-1, classe B ^a	Profondeur = 40 %, surface totale = 250 en % degrés	A
^a La classe C de l’IEC 60146-1-1 convient pour le primaire du transformateur.					

B.2 Définitions relatives aux harmoniques et interharmoniques

B.2.1 Discussion générale

B.2.1.1 Résolution des tensions et courants non sinusoïdaux

L’analyse classique en série de Fourier (IEC 60050-103:2009, 103-07-18) permet de réduire toute grandeur non sinusoïdale mais périodique, en une série de composantes sinusoïdales de diverses fréquences, et une composante continue. La fréquence la plus basse est dite fondamentale (IEC 60050-161-1990, 161-02-17). Les autres fréquences de la série sont des multiples entiers de la fréquence fondamentale; elles sont dites fréquences harmoniques. Les composantes correspondantes sont respectivement appelées composantes fondamentales et harmoniques.

La transformée de Fourier (IEC 60050-103:2009, 103-04-01) peut être appliquée à toute fonction, périodique ou non périodique. Le résultat de la transformée est un spectre dans le domaine fréquentiel, qui, dans le cas d’une fonction temporelle non périodique, est continu et n’a pas de composante fondamentale. Le cas particulier d’application à une fonction périodique indique un spectre de raies dans le domaine fréquentiel, où les raies du spectre sont le fondamental et les harmoniques de la série de Fourier correspondante.

NOTE 1 Lors de l’analyse de la tension d’un système d’alimentation électrique, la composante à la fréquence fondamentale est la composante d’amplitude la plus élevée. Ce n’est pas nécessairement la première raie du spectre obtenu en appliquant une transformée de Fourier discrète (DFT, Discrete Fourier Transform) à la fonction temporelle.

NOTE 2 Lors de l’analyse d’un courant, la composante à la fréquence fondamentale n’est pas nécessairement la composante d’amplitude la plus élevée.

B.2.1.2 Phénomènes temporels variables

Les tensions et courants d’un réseau d’alimentation électrique type sont affectés par les commutations incessantes et la variation de charges linéaires et non linéaires. Pour les analyses, elles sont cependant considérées comme fixes dans la fenêtre de mesure (environ 200 ms), qui est un multiple entier de la période de la tension d’alimentation électrique. Les analyseurs d’harmoniques sont conçus pour présenter le meilleur compromis que la technologie puisse offrir (voir l’IEC 61000-4-7:2002).

B.2.2 Conditions d’application

B.2.2.1 Valeurs de référence

Pour le présent document et dans un but de clarté, les limites sont référencées par rapport à la valeur assignée correspondante.

Les limites pour le THD et le TDR sont appliquées à:

$$THD_N = \sqrt{\sum_{h=2}^{h=H} \left(\frac{Q_h}{Q_{N1}} \right)^2}, \text{ et}$$

$$TDR = \frac{\sqrt{Q^2 - Q_1^2}}{Q_1}, \text{ ou}$$

$$IDR = \frac{Q_h}{Q_{N1}}$$

où Q_{N1} est la valeur efficace assignée du fondamental.

NOTE 1 Il est important de noter que le THD n'inclut pas les interharmoniques et que la limite supérieure H est généralement 40. Le TDR inclut les interharmoniques et les fréquences supérieures au rang 40 jusqu'à 9 kHz. Si les interharmoniques et les émissions à des fréquences supérieures au rang 40 sont négligeables, le THD et le TDR sont égaux.

Il convient de déterminer l'émission harmonique à partir des conditions de fonctionnement qui produisent le plus fort résidu harmonique en courant, conformément à l'IEC 61000-3-12 et en référence à la grandeur assignée. Il convient que les interharmoniques soient néanmoins pris en compte séparément.

NOTE 2 Le résidu harmonique en courant (HCI) est appelé courant harmonique total (THC, Total Harmonic Current) dans l'IEC 61000-3-12. Lorsque les interharmoniques peuvent être omis, il constitue une bonne approximation du résidu total de distorsion en courant (DCI):

$$THC = HCI = \sqrt{\sum_{h=2}^{h=40} (I_h)^2} \approx DCI = \left(\sqrt{I^2 - I_1^2} \right)$$

B.2.2.2 Systèmes et installations

Un BDM/CDM/PDS est généralement un composant d'un plus grand système qui peut être aussi important qu'une ligne complète de traitement dans l'industrie du métal ou du papier. 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 PCC (point de couplage commun) sur un réseau public de distribution d'énergie.

B.2.2.3 Conditions de charge

Pour un système, les conditions en régime établi représentent le régime le plus défavorable à condition que les régimes de surcharge (accélération ou autre) ne dépassent pas une durée totale de 5 % sur une période de 24 h, et 1 % sur une période de 7 jours. Si la charge du système est définie par un cycle, il convient que l'évaluation de l'émission harmonique pendant la période de charge la plus forte soit réalisée selon la méthode de mesure définie dans l'IEC 61000-4-7.

Les régimes de surcharge ne sont pas pris en compte pour l'évaluation des EUT basse tension avec un courant d'entrée assigné inférieur à 75 A (voir B.3.2.3).

B.2.2.4 Puissance souscrite

La puissance souscrite S_{ST} définit le courant équivalent de référence I_{TN} (valeur efficace totale):

$$S_{ST} = U_N \times I_{TN} \times \sqrt{3}$$

où

U_N est la tension entre phases nominale (ou déclarée) au PCC;

I_{TN} est le courant de référence.

Il est à noter que I_{TN} est proche de la valeur du courant de déclenchement du disjoncteur principal d'alimentation. 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. Elle est sous la responsabilité du distributeur d'électricité.

NOTE La "puissance souscrite" résulte d'un accord entre l'utilisateur (propriétaire de l'installation) et l'opérateur du réseau de distribution.

Lorsque la puissance souscrite est utilisée pour définir le courant de référence auquel les courants harmoniques sont comparés pour les exprimer en p.u. (pour un), le courant de référence I_{TN1} est, par convention, égal à I_{TN} .

B.2.2.5 Puissance interne souscrite (extension de la définition de la puissance souscrite)

La puissance interne souscrite S_{ITA} , pour une installation à un IPC défini " α ", définit le courant de référence équivalent I_{TNA} (valeur efficace totale) pour la partie A de l'installation alimentée depuis α :

$$S_{ITA} = U_N \times I_{TNA} \times \sqrt{3}$$

où U_N est la tension entre phases assignée à l'IPC " α ".

Il est à noter que I_{TNA} est le courant assigné de la section d'alimentation de la partie A de l'installation. I_{TNA} est proche de la valeur assignée au 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) $S_{SC\alpha}$ raisonnable définie à l'IPC " α ". Elle est sous la responsabilité des personnes en charge de la distribution de la puissance en interne.

B.2.2.6 Rapport de courant de court-circuit de la source dans l'installation

R_{SI} est le rapport de la puissance de court-circuit de la source à un PC défini avec la puissance apparente assignée de l'installation ou d'une partie de l'installation alimentée depuis ce PC (voir la Figure B.2):

$$R_{SIA} = S_{SC\alpha}/S_{ITA} = I_{SC\alpha}/I_{TNA}$$

L'indice "A" indique la partie considérée de l'installation et l'indice " α " indique quel PC (IPC α) est à l'origine de cette partie.

NOTE 1 L'IEC 60146-1-1:2009, 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. Elle se rapporte à un point donné du réseau, pour des conditions spécifiées de fonctionnement et pour une configuration spécifiée du réseau". Le concept est similaire à la définition de RSI ci-dessus. Cependant, R_{SI} se rapporte à la puissance apparente assignée de la charge totale en aval du point de couplage, et non à la puissance apparente fondamentale d'une charge définie (le convertisseur) en aval du point de couplage.

NOTE 2 R_{SI} 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.

NOTE 3 R_{SI} 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 ($IPC\alpha$) de cette partie de l'installation à son courant assigné.

NOTE 4 Par extension, cette définition peut également être appliquée à une partie d'un équipement de courant assigné I_{TNI} . R_{Sli} 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 dédiée à la prise en compte des contraintes internes d'un équipement.

NOTE 5 A la Figure B.2, 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.

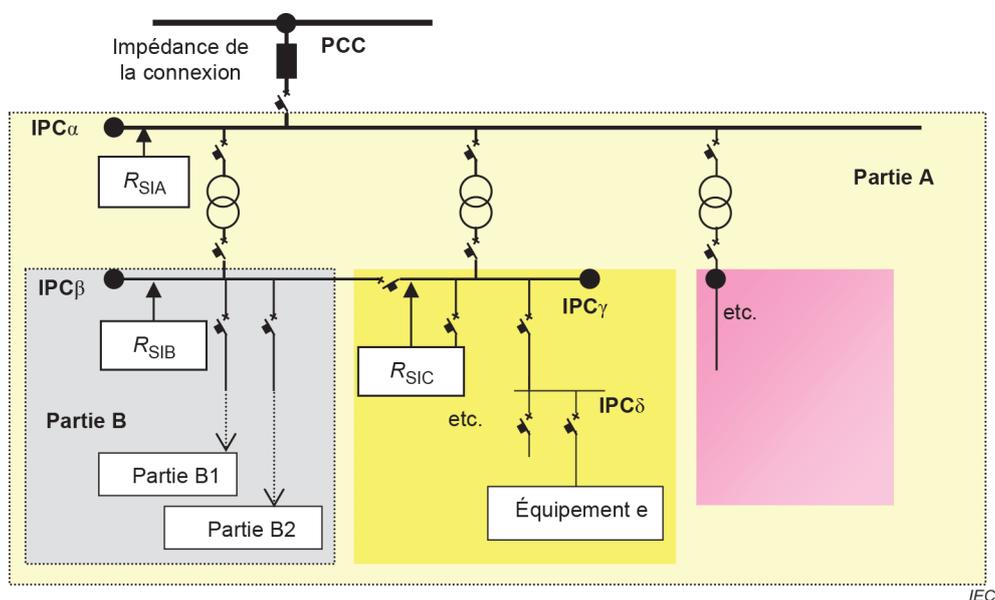


Figure B.2 – PCC, IPC, rapports de courant de l'installation et R_{SI}

B.2.2.7 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 61000-3-12):

$$R_{SC} = S_{SC}/S_{Ne} = I_{SC}/I_{LNe}$$

NOTE 1 Avec l'exemple de la Figure B.3, il peut s'énoncer comme une fonction du R_{SI} concerné. La partie d'équipement (e) est alimentée par un jeu de barres de raccordement ($IPC\delta$), 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:

$$R_{Sle} = S_{SC\delta}/S_{I_{Te}} = I_{SC\delta}/I_{LNe} = (I_{SC\delta}/I_{SC}) \times (I_{SC}/I_{LNe}) = (S_{SC\delta}/S_{SC}) \times (R_{SCE})$$

ou

$$R_{SCE} = (S_{SC}/S_{SC\delta}) \times R_{Sle}$$

Cette définition convient, dans l'application de l'IEC 61000-3-12, pour définir les conditions de connexion d'une partie d'équipement au réseau public d'alimentation basse tension.

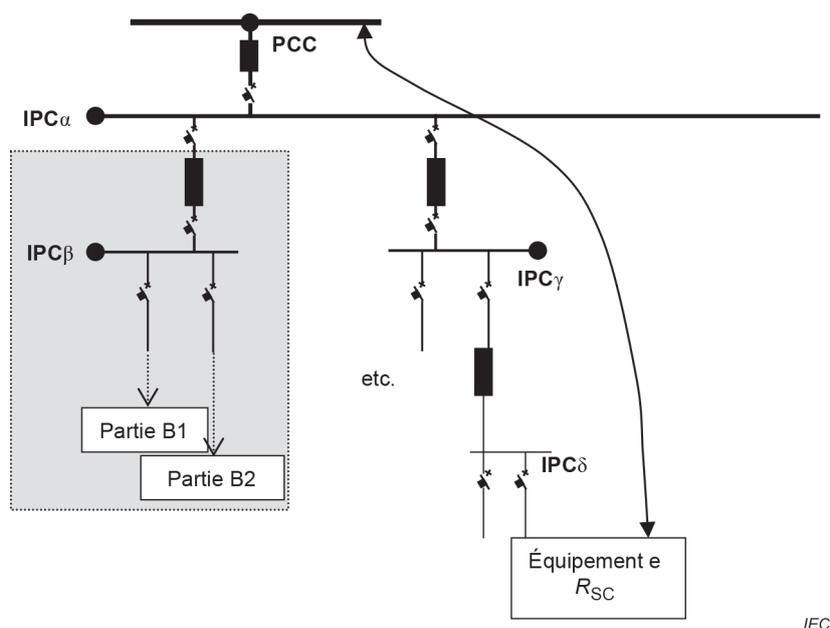


Figure B.3 – PCC, IPC, rapports de courant de l'installation et R_{SC}

NOTE 2 L'IEC TR 61000-2-6:1995, Article A.2, donne une autre définition du R_{SC} pour les redresseurs se référant au courant continu.

B.2.2.8 EUT non déformant

Un EUT conforme aux limites de l'IEC 61000-3-2 ou aux limites $R_{SCE} = 33$ données dans l'IEC 61000-3-12:2011, Tableau 2, peut être étiqueté comme suit: "Équipement non déformant". L'emploi d'un tel équipement est autorisé sans aucune restriction.

B.3 Application des normes relatives à l'émission harmonique

B.3.1 Généralités

L'étude théorique des convertisseurs de puissance et de leur emploi modélise le convertisseur par une source de courants harmoniques. Certains convertisseurs récents (utilisant la commutation forcée et la commande MLI) sont mieux décrits comme sources de tensions harmoniques. Ils sont alors reliés au PC (qui est aussi une source de tension) par une impédance (réactance) qui les convertit en sources de courants harmoniques.

Mais ce modèle commun ne convient pas lorsque l'impédance harmonique interne du convertisseur est faible, comparée à celle du réseau. À titre d'exemple, soit un redresseur à diodes et un filtrage capacitif, dans lesquels à la fois les côtés alternatif et continu sont démunis de réactance de découplage. La composante du circuit ayant l'impédance harmonique la plus faible détermine la tension harmonique.

Il est nécessaire d'avoir une connaissance minimale du système pour établir un modèle des sources harmoniques. Le modèle de source de courants harmoniques convient généralement à la plupart des convertisseurs et à des rangs harmoniques allant jusqu'à 25. Cependant, il convient de réviser ce modèle pour les fréquences situées au-dessus du rang harmonique 40, auquel les modèles de sources de tensions harmoniques sont généralement plus appropriés. Il convient de définir soigneusement le modèle approprié dans la bande moyenne entre les rangs harmoniques 25 et 40.

Différents modèles ont déjà été proposés pour définir le rang et l'amplitude des différentes composantes harmoniques pour différents types de convertisseurs. Un résumé de ces publications est donné en A.1 de l'IEC TR 61000-2-6:1995 et à l'Annexe B de l'IEC 61800-1:2021, qui incluent des informations de l'IEC TR 60146-1-2.

Une telle analyse n'est pas reprise ici.

Un EUT est souvent une source de courants harmoniques qui contribue aux tensions harmoniques. Il convient que ces tensions harmoniques soient comparées aux niveaux de compatibilité de l'IEC 61000-2-2 ou de l'IEC 61000-2-4. Il convient aussi de tenir compte de l'influence des conditions de fonctionnement et d'installation. Cela est souligné dans l'IEC TR 61000-2-6, qui fournit aussi des méthodes de sommation des harmoniques. Des conséquences sur les méthodes appropriées d'atténuation des émissions (voir l'Annex C) et sur les règles pratiques de raccordement d'un EUT (voir l'Article B.4) en découlent naturellement.

En ce qui concerne les EUT de catégorie C4, la pratique industrielle établit des solutions optimales des points de vue à la fois économique et technique. Cela inclut des méthodes adaptées d'atténuation des émissions, par exemple en utilisant des transformateurs à déphasage approprié appliqués aux différents EUT.

Le filtrage individuel de chaque EUT peut entraîner un risque sévère de résonances multiples. De plus, comme l'impédance harmonique et la distorsion de tension sont généralement inconnues et variables, le dimensionnement du filtre est particulièrement délicat. Il convient donc d'adopter une approche globale du filtrage pour l'installation entière. Une telle approche est développée dans l'IEEE Std 519™.

B.3.2 Réseaux publics

B.3.2.1 Conditions générales

Pour les EUT basse tension dont le courant d'entrée assigné dépasse 16 A par phase jusqu'à 75 A inclus, l'IEC 61000-3-12 spécifie la limite des courants harmoniques injectés dans le réseau d'alimentation public. Les limites de l'IEC 61000-3-12 s'appliquent principalement aux équipements électriques et électroniques destinés à être connectés à des réseaux de distribution publics en courant alternatif basse tension.

Lorsqu'un EUT correspond à un équipement relevant du domaine d'application de l'IEC 61000-3-12, les exigences de cette norme s'appliquent. Lorsqu'un ou plusieurs EUT sont inclus dans un équipement qui relève du domaine d'application de l'IEC 61000-3-12, les exigences de cette norme s'appliquent à l'équipement complet, et non aux EUT individuellement.

La configuration d'essai pour la mesure directe ou pour la validation par simulation numérique des EUT relevant du domaine d'application de l'IEC 61000-3-12 est composée d'une source de tension et d'un équipement de mesure, comme décrit dans l'IEC 61000-4-7. Si une machine synchrone est utilisée comme une source indépendante pour l'essai, il convient de noter que son impédance harmonique est déterminée par la composante inverse de l'impédance, et non par le courant de court-circuit.

NOTE 1 Si l'EUT contient un transformateur à décalage de phase, le point de mesure est sur le primaire du transformateur.

Les mesures sont effectuées dans des conditions de régime établi. Les conditions de surcharge (affectant le couple à pleine vitesse) sont liées à des applications exceptionnelles. Le cas échéant, elles sont suffisamment limitées dans le temps pour pouvoir être ignorées.

Le niveau d'émission peut être évalué par une mesure directe ou par une simulation validée dans les conditions définies dans l'IEC 61000-3-12. Les deux conditions de fonctionnement suivantes sont définies pour couvrir les différents types d'EUT:

- courant d'entrée assigné à la vitesse nominale en fonctionnement moteur (onduleur à source de tension);
- couple assigné à 66 % de la vitesse nominale en fonctionnement moteur (variateur à courant continu à thyristors ou onduleur à source de courant).

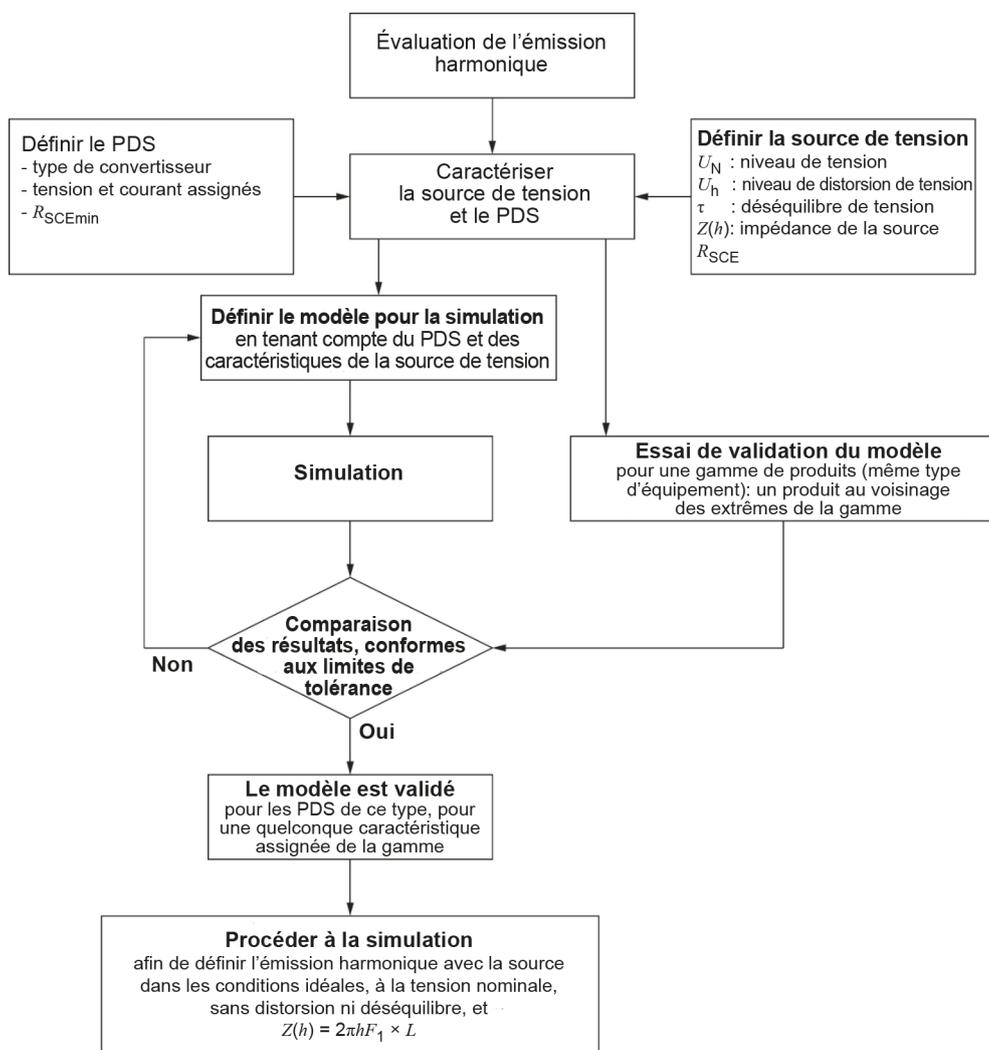
NOTE 2 L'IEC 61800-1 et l'IEC 61800-2 utilisent le terme "vitesse de base" pour désigner la plus faible vitesse à laquelle le moteur est capable de fournir la puissance de sortie maximale. Dans le cas d'un onduleur à source de tension, cette vitesse est souvent la même que pour un moteur qui serait directement alimenté par le réseau.

Pour un équipement non couvert par l'IEC 61000-3-2 ou par l'IEC 61000-3-12 (courant assigné supérieur à 75 A, par exemple), des recommandations sont données en B.4.

NOTE 3 Les harmoniques des différents composants électriques de l'équipement peuvent être sommées à l'aide d'une loi physique analytique plus exacte, utilisable en raison de la nature de l'EUT et de la nature des autres composants (voir B.3.3).

B.3.2.2 Évaluation par simulation

Il convient que l'évaluation de l'émission harmonique individuelle d'un EUT respecte les règles de base résumées à la Figure B.4. La caractérisation de l'EUT et de la source de tension constitue la première étape.



IEC

Figure B.4 – Évaluation de l'émission harmonique d'un EUT

Dans le cas d'un équipement de puissance élevée ou en moyenne tension, il est possible que la validation de la simulation puisse constituer un processus plus complexe que celui décrit ici.

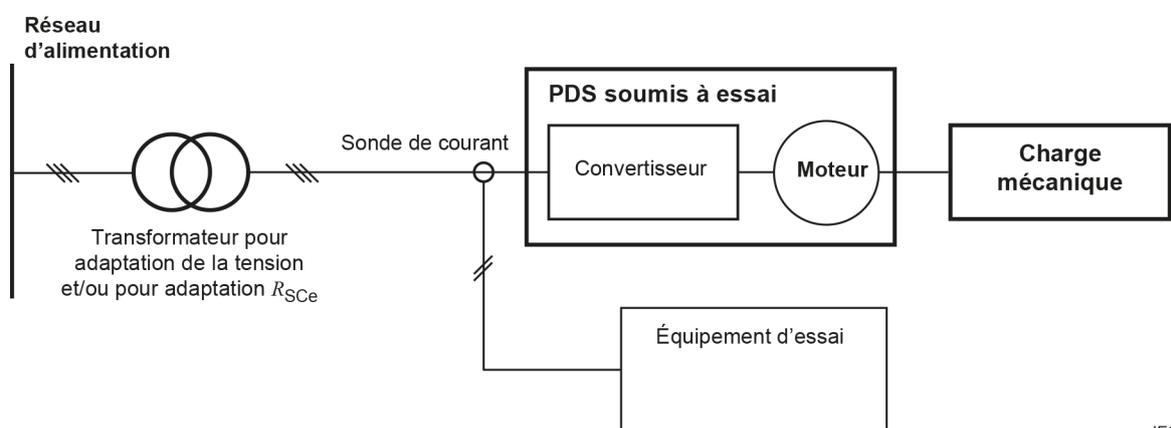
B.3.2.3 Conditions de charge pour l'évaluation par un essai

B.3.2.3.1 Généralités

Lorsque l'émission harmonique d'un EUT est mesurée individuellement, la caractérisation de la source de tension et de l'EUT est réalisée conformément à B.3.2.2. Pour un équipement avec courant d'entrée assigné supérieur à 16 A et inférieur ou égal à 75 A, l'IEC 61000-3-12 exige que le R_{SCEmin} corresponde, pendant l'essai, au minimum à 1,6 fois le R_{SCE} référencé pour la déclaration de conformité. Les conditions de charge sont définies comme suit:

- inférieur ou égal à 100 % du courant d'entrée assigné avec optimisation du THC;
- mode traction;
- régime établi.

La Figure B.5 représente la configuration d'essai avec une charge mécanique. La Figure B.6 et la Figure B.7 représentent les possibilités de charges électriques lorsqu'aucune charge mécanique n'est disponible.



IEC

Figure B.5 – Configuration d'essai avec une charge mécanique

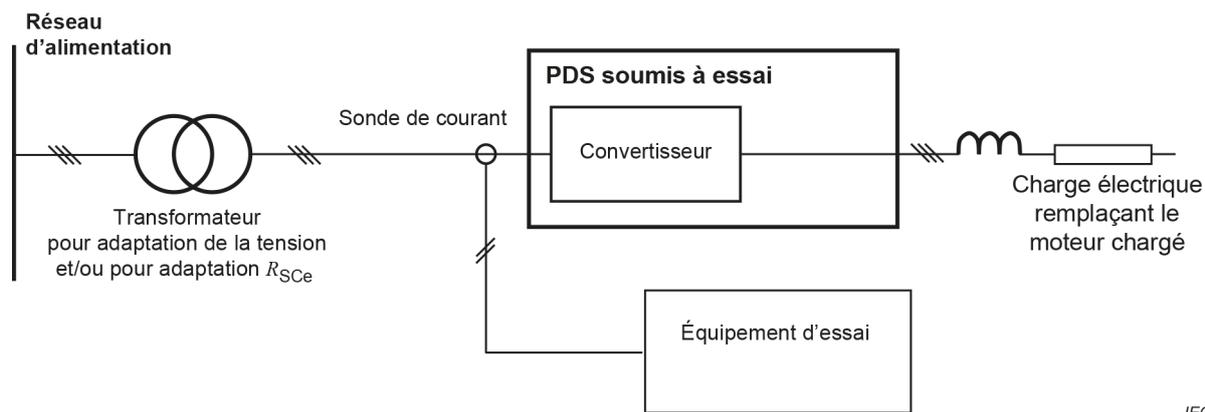
B.3.2.3.2 Redresseur d'entrée à diodes

Un EUT avec redresseur d'entrée à diodes (ou redresseur à thyristors, les thyristors étant utilisés comme des diodes avec une fonction de contacteur) peut être soumis à essai à 100 % du courant efficace d'entrée assigné, comme défini par les spécifications du fabricant. La charge nécessaire à l'obtention du courant d'entrée peut être fournie par un moteur et par une charge mécanique pour un fonctionnement en régime établi.

Le moteur chargé peut être remplacé par une charge électrique connectée soit à la sortie du convertisseur, soit à la sortie de la liaison en courant continu:

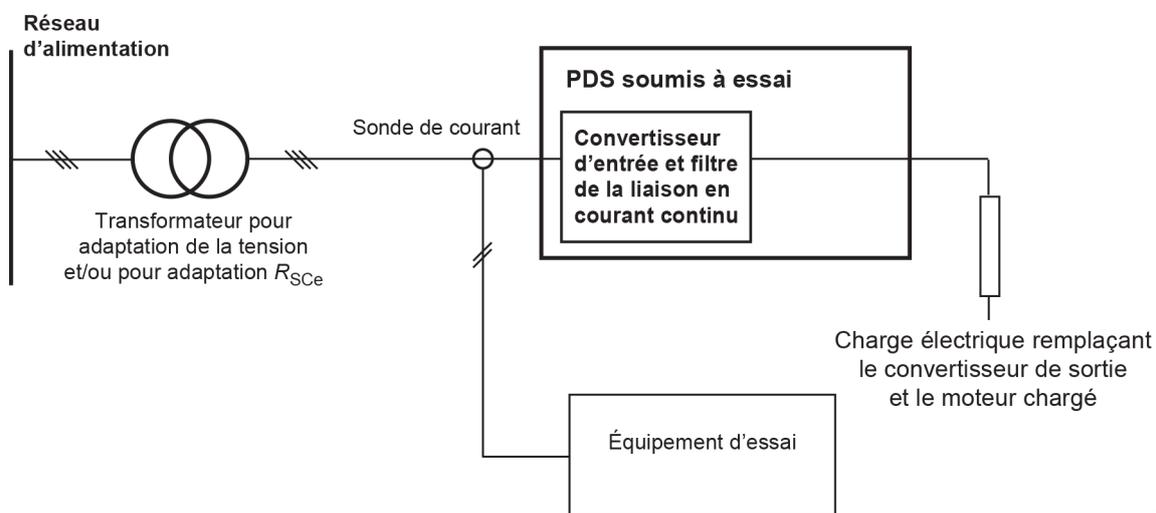
- à la sortie du convertisseur, il convient que la charge électrique se compose d'une réactance et d'une résistance (voir la Figure B.6);
- à la sortie de la liaison en courant continu, il convient que la charge électrique se compose d'une résistance (voir la Figure B.7).

Pour les courants d'entrée assignés supérieurs ou égaux à 75 A, la condition relative au courant d'entrée assigné peut être remplacée par la condition qui augmente le plus possible le THC.



IEC

Figure B.6 – Configuration d'essai avec une charge électrique remplaçant le moteur chargé



IEC

Figure B.7 – Configuration d'essai avec une charge résistive

B.3.2.3.3 Convertisseur d'entrée commuté par le réseau

Un EUT équipé d'un convertisseur d'entrée commuté par le réseau (convertisseur à thyristors) est soumis à l'essai au courant efficace d'entrée assigné défini par les spécifications du fabricant, ou à une valeur plus faible pour optimiser le THC. Aucun essai n'est exigé en mode générateur. La charge nécessaire à l'obtention du courant d'entrée correspondant peut être fournie par un moteur défini par le fabricant et par une charge mécanique pour un fonctionnement en régime établi.

Dans le cas d'un convertisseur de source de courant, le moteur chargé peut être remplacé par une réactance à la sortie de l'étage à courant continu (au lieu du moteur). Dans le cas d'un convertisseur de source de tension, le moteur chargé peut être remplacé par une résistance à la sortie de l'étage à courant continu (voir la Figure B.7).

NOTE Les conditions produisant un THC maximal sont proches des conditions produisant la valeur maximale d'ondulation de crête à crête du courant, dans l'étage à courant continu à la sortie du convertisseur d'entrée.

B.3.2.3.4 Convertisseur d'entrée autocommuté

Un EUT avec convertisseur d'entrée autocommuté est soumis à l'essai au courant efficace d'entrée assigné défini par les spécifications du fabricant, ou à une valeur plus faible pour optimiser le THC. Aucun essai n'est exigé en mode générateur. La charge nécessaire à l'obtention du courant d'entrée correspondant peut être fournie par un moteur défini par le fabricant et par une charge mécanique pour un fonctionnement en régime établi.

Le moteur chargé peut être remplacé par une résistance à la sortie de l'étage à courant continu. Un fonctionnement dos à dos est également possible pour assurer la charge; dans ce cas, évidemment, seul le courant du convertisseur d'entrée est mesuré.

B.3.2.4 Maximum représentatif du THC

Il n'est pas toujours nécessaire de fonctionner au courant d'entrée assigné pour se conformer à l'exigence relative à l'optimisation du THC (résidu harmonique total en courant).

NOTE Dans le présent document, HC désigne le résidu harmonique (voir 3.7.15), et est à ce titre cohérent avec l'IEC 60050-551:2001, 551-20-12. THC correspond au courant harmonique total, qui peut être considéré comme une abréviation du résidu harmonique total en courant. La définition du THC en 3.7.2 est basée sur l'IEC 61000-3-12:2011.

Pour certains types de convertisseurs (par exemple source de courant), l'ondulation de courant dans l'étage à courant continu dépend de la vitesse du moteur. La condition la plus défavorable est obtenue à vitesse nulle, ce qui est l'équivalent du moteur chargé remplacé par une réactance à la sortie de l'étage à courant continu. Ce cas n'est généralement pas représentatif d'un fonctionnement normal de l'EUT.

Deux conditions de fonctionnement sont exigées pour évaluer l'émission harmonique des différents types d'EUT de courant d'entrée assigné supérieur ou égal à 75 A:

- courant d'entrée assigné à la vitesse nominale en fonctionnement moteur (onduleur à source de tension);
- courant moteur assigné à 66 % de la vitesse nominale en fonctionnement moteur (variateur à courant continu à thyristors ou onduleur à source de courant).

Pour d'autres types d'EUT, où il n'est pas évident de savoir laquelle des conditions ci-dessus est la plus défavorable, il convient d'évaluer les deux conditions. Dans les deux cas, il convient que les courants harmoniques soient évalués en pourcentage du courant fondamental d'entrée assigné. Il convient de considérer le cas qui présente le plus grand THC comme le cas le plus défavorable.

Lorsque ces deux conditions ne peuvent pas être évaluées (par essai ou par une simulation validée), ou pour les EUT basse tension de courant d'entrée assigné inférieur à 75 A, la variante simplifiée suivante est admise pour vérifier la condition de THC maximale. Le courant peut être inférieur au courant d'entrée assigné, pourvu qu'il produise l'ondulation de courant maximale dans la liaison à courant continu. Cette condition peut être contrôlée en vérifiant la forme d'onde du courant à l'endroit approprié sur la liaison à courant continu.

Les conditions fournissant une valeur de THC maximale et représentative sont également satisfaites avec des charges électriques, par réglage de la valeur moyenne du courant dans la liaison à courant continu. Elles peuvent être prises pour spécifier les conditions de charge de l'essai, pour validation d'une simulation.

Le rapport de distorsion individuelle (IDR, Individual Distortion Ratio, voir 3.7.18) mesuré dans ces conditions donne une surestimation des composantes harmoniques les plus importantes du courant. Elles peuvent également être prises comme résultat de l'essai, lorsque le courant assigné ne peut être atteint et lorsque la simulation n'est pas utilisée.

B.3.3 Méthodes de sommation pour les harmoniques d'une installation – Règles pratiques

B.3.3.1 Principe

Les émissions harmoniques provenant des différents composants sont sommées de la manière la mieux appropriée. La méthode de sommation choisie peut être une approximation rapide mais conservatoire. Quand une plus grande précision est exigée, la loi de sommation appropriée à la nature et à la structure des convertisseurs des EUT peut être choisie. Le résultat est référencé au courant fondamental assigné de l'appareillage ou du système (puissance interne souscrite).

B.3.3.2 Sommation arithmétique simple de courants harmoniques

Dans cette approche, les courants harmoniques sont additionnés arithmétiquement (c'est une approche simple mais souvent très conservatoire). Le calcul du rapport de distorsion individuelle IDR (pour chaque rang) ou du taux de distorsion harmonique totale THD est réalisé pour les composants triphasés, au moyen de la formule suivante appliquée à tous les composants de type déformant (parties d'équipement) appartenant à une installation ou à une partie d'installation.

HD est le symbole générique pour IDR ou THD. L'indice "eq" indique que cette valeur est associée à une partie d'équipement particulière du système. L'indice "IT" indique que l'exemple se rapporte à une partie d'installation, mais il s'applique également à l'ensemble de l'installation (utilisation de l'indice "ST").

$$HD = \sum_{eq} HD_{eq} \times \frac{S_{eq}}{S_{IT}}$$

Dans cette formule, HD_{eq} est référencé au courant fondamental assigné du composant (partie d'équipement), et HD est référencé au courant fondamental assigné de la partie de l'installation (puissance interne souscrite).

Les composants monophasés sont pris en considération au moyen d'un coefficient de pénalité de déséquilibre:

- pour des charges monophasées, branchées entre phases, le coefficient est $\sqrt{3}$:

$$\sqrt{3} \left(HD_{eq} \times \frac{S_{eq}}{S_{IT}} \right)$$

- pour des charges monophasées, branchées entre phase et neutre, le coefficient est 3:

$$3 \left(HD_{eq} \times \frac{S_{eq}}{S_{IT}} \right)$$

Le coefficient de pénalité est uniquement appliqué aux parties des charges qui créent le déséquilibre.

EXEMPLE $S_{IT} = 150$ kVA

Équipement déformant n° 1: $S_{eq} = 25$ kVA avec $HD = 65$ %, relativement à son courant assigné;

$$HD_{eq1} = 65 \times (25/150)\% = 10,8 \%, \text{ relativement à } I_{TN1} \text{ (ou } S_{IT}\text{)}.$$

Équipement déformant n° 2: $S_{eq} = 10$ kVA avec $HD = 10$ %, relativement à son courant assigné;

$$HD_{eq2} = 10 \times (10/150)\% = 0,7 \%, \text{ relativement à } I_{TN1} \text{ (ou } S_{IT}\text{)}.$$

Équipement déformant n° 3: $S_{eq} = 1$ kVA avec $HD = 85$ %, relativement à son courant assigné, mais monophasé (entre phases), équivalent à 1,73 fois la charge équilibrée, y compris les harmoniques multiples de trois (à examiner) c'est-à-dire:

$$HD_{eq3} = 85 \times (1,0/150) \times 1,73 = 1,0 \text{ \% relativement à } I_{TN1} \text{ (ou } S_{IT}).$$

Pour le système, $HD = (10,8 + 0,7 + 1,0) \% = 12,5 \text{ \%}$ avec $\Sigma S_{eq}/S_{IT} = (25 + 10 + 1)/150 = 0,240$

Il convient d'effectuer le calcul pour chaque rang harmonique et pour le THD.

B.3.3.3 Loi de sommation pseudo-quadratique (exposant variable)

La sommation des courants harmoniques peut s'effectuer à l'aide d'une loi plus représentative:

- courants connus comme étant en phase (par exemple redresseur à diodes), sommation arithmétique de chaque rang:

$$I_h = \Sigma_i I_{hi}$$

- déphasage aléatoire entre les courants, sommation exponentielle de chaque rang:

$$I_h = \left[\sum_i I_{hi}^\alpha \right]^{\frac{1}{\alpha}}$$

où

$\alpha = 1$ pour $h < 5$;

$\alpha = 1,4$ pour $5 \leq h < 10$;

$\alpha = 2$ pour $10 \leq h$.

Les formules ci-dessus peuvent s'appliquer aux rangs harmoniques individuels et au THD.

Cette méthode donne une évaluation des émissions de courant harmonique du système. Le résultat est référencé au courant fondamental assigné du système (puissance interne souscrite) et peut être utilisé pour établir la conformité à l'IEC 61000-3-2 ou l'IEC 61000-3-12 selon la caractéristique assignée de la machine ou du système. Il peut même être utilisé pour l'évaluation de systèmes ou d'installations industrielles plus grandes.

Cette approche s'applique typiquement aux équipements destinés à l'industrie légère ayant une "puissance souscrite" comprise entre 30 kVA et 100 kVA, ou dans les installations de l'industrie légère ayant une "puissance souscrite" comprise entre 100 kVA et 300 kVA.

B.3.3.4 Réseaux industriels – Approche basée sur le calcul et/ou les mesures

Si la conformité aux niveaux limites d'émission harmonique ne peut être démontrée par les approximations données en B.3.3, il convient de réaliser une évaluation plus exacte. Elle concerne la demande totale en courant pour l'installation.

Il convient de déterminer par calcul ou mesure le courant harmonique total produit par l'installation, y compris la charge à installer. Il convient de prendre en considération les déphasages effectifs entre les harmoniques des diverses charges déformantes, de manière à ne pas ignorer les effets d'annulation.

Cette approche s'applique typiquement dans les environnements de l'industrie légère ayant une "puissance souscrite" supérieure à 100 kVA ou dans les environnements industriels.

B.4 Règles d'installation – Évaluation de la compatibilité harmonique

B.4.1 Système industriel triphasé de faible puissance

B.4.1 fournit des recommandations sur l'utilisation et l'intégration des EUT dans des produits, dans des appareillages ou plus généralement dans des systèmes. L'application de limites harmoniques à chaque EUT peut aboutir à une solution financièrement désavantageuse et/ou à une absurdité technique. Il est souvent préférable d'appliquer une approche globale pour filtrer toute l'installation. Cela exige la sommation des courants harmoniques produits dans une installation.

La procédure d'évaluation de l'émission harmonique est résumée à la Figure B.8.

Comme indiqué en 6.3.2.2, l'IEC 61000-3-2 et l'IEC 61000-3-12 s'appliquent aux appareillages avec des EUT directement reliés à un PCC sur un réseau public basse tension. Pour vérifier que la conformité est réalisée, comparer, à l'aide des tableaux de la norme référencée appropriée, les courants harmoniques individuels et le courant harmonique total (THC) produits par le système ou l'appareillage.

Pour les EUT qui ne sont pas couverts par ces publications, la procédure ci-dessous peut servir de guide. L'approche usuelle consiste à appliquer des limites de courant harmonique à toute l'installation. L'évaluation de l'émission harmonique totale est exécutée avec les lois de sommation appropriées, conformément à l'approximation exigée (voir B.3.3). Des méthodes et critères simplifiés sont possibles lorsque la puissance souscrite se situe dans une plage moyenne (par exemple entre 100 kVA et 300 kVA), comme suggéré à la Figure B.8, ou conformément aux règlements locaux. Les limites au PCC s'appliquent à toute l'installation connectée au PCC. Il serait par conséquent inapproprié d'appliquer ces limites à un équipement individuel tel qu'un EUT.

Il convient que le fabricant de chaque EUT fournisse la documentation de l'EUT ou, sur simple demande, le rapport entre le niveau des harmoniques de courant THC (voir 3.7.2) dans des conditions assignées de charge, et le courant efficace sur l'accès de puissance, ainsi que les courants harmoniques jusqu'au 40^e rang. Ces données peuvent s'obtenir par calcul, simulation ou essai.

Pour le calcul ou la simulation, il convient de présumer que la tension d'alimentation appliquée à l'EUT présente un THD (voir 3.7.3) inférieur à 1 %. Il convient de présumer que l'impédance interne du réseau est une inductance pure. Si l'emplacement spécifique de l'EUT est inconnu, il convient de calculer les courants harmoniques en prenant pour hypothèse que l'EUT est relié à un PC doté de la valeur de R_{SI} la plus élevée autorisée par le fabricant de l'EUT.

$$R_{SI} = \frac{I_{SC}}{I_{LN}}$$

où

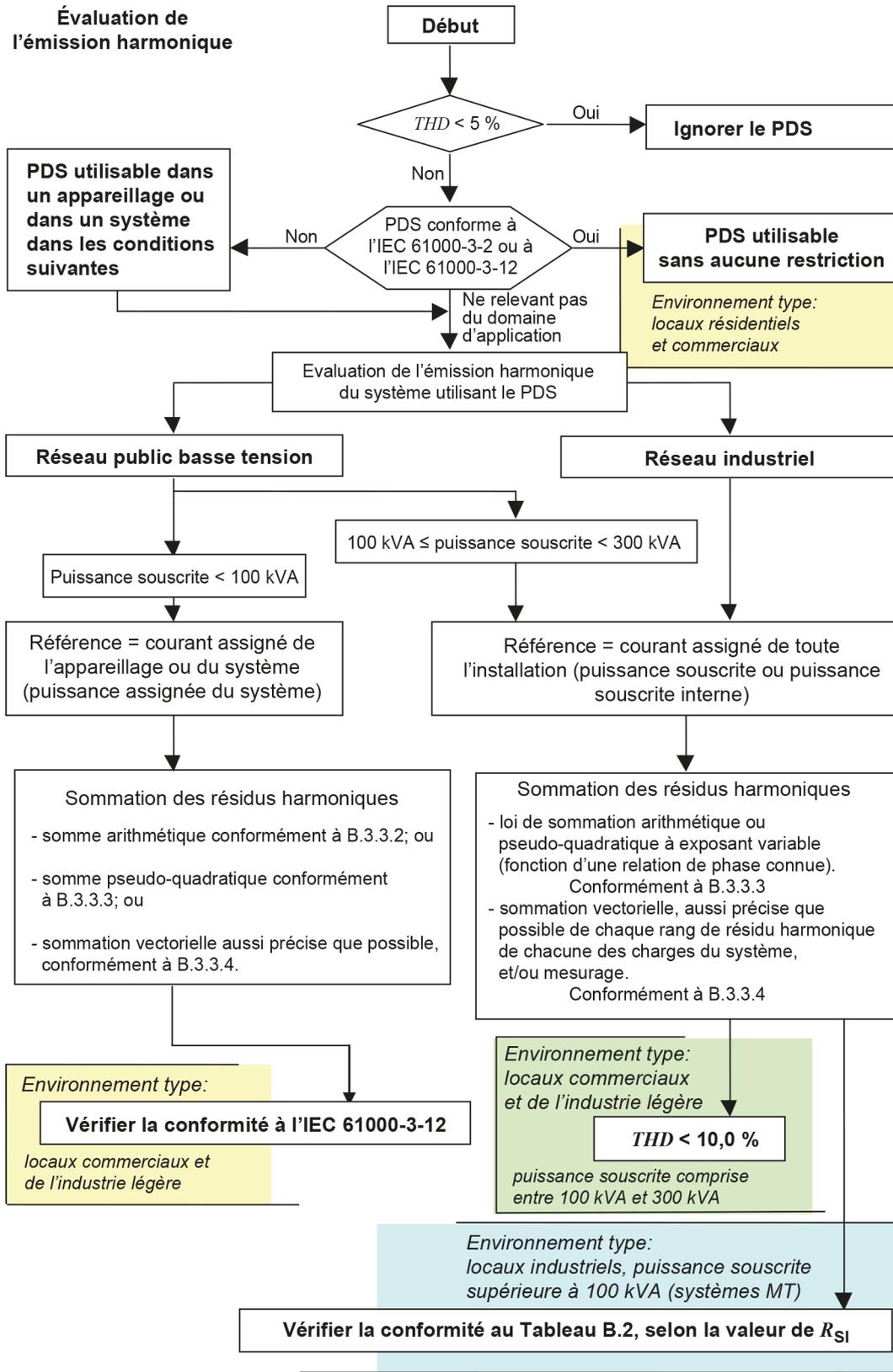
I_{SC} est le courant de court-circuit au niveau du PC examiné;

I_{LN} est le courant d'entrée assigné de l'EUT.

Si aucune valeur maximale n'est stipulée dans la documentation destinée à l'utilisateur pour R_{SI} , il convient de prendre pour hypothèse une valeur de 250. Si l'emplacement spécifique de l'EUT est connu, il convient d'utiliser l'impédance d'alimentation à cet emplacement.

NOTE 1 Un guide de calcul des harmoniques est donné dans l'IEC TR 61000-2-6:1995, Article A.1 et Article A.2. Des lignes directrices pour la sommation d'harmoniques de différentes sources sont également données dans l'IEC TR 61000-2-6:1995, 7.4.

NOTE 2 Les effets des interharmoniques sont étudiés en B.4.3. Les méthodes de calcul sont données dans l'IEC TR 61000-2-6:1995, Annexe C.



IEC

NOTE Toutes les références harmoniques sont relatives aux courants.

Figure B.8 – Évaluation de l'émission harmonique pour l'utilisation d'un EUT (appareillages, systèmes ou installations)

B.4.2 Grand système industriel

B.4.2.1 Principes

B.4.2 vise à donner des recommandations sur l'utilisation et l'intégration des EUT dans des systèmes. L'application de limites harmoniques à chaque EUT peut aboutir à une solution financièrement désavantageuse et/ou à une absurdité technique. Il est souvent préférable d'appliquer une approche globale pour filtrer toute l'installation. Cela exige la sommation des courants harmoniques produits dans une installation.

La procédure d'évaluation de l'émission harmonique est résumée à la Figure B.8.

Il convient d'appliquer directement l'IEC TR 61000-3-6 aux installations alimentées par un réseau de distribution moyenne tension, ce qui est le cas pour les grands EUT, et en particulier ceux d'une tension assignée supérieure à 1 000 V en courant alternatif.

Il est habituel de diviser le système en différentes sections suivant les dispositifs naturels de découplage (transformateurs par exemple). Il convient de déduire cette division de l'analyse du réseau complet, en tenant compte des résonances possibles (voir la Figure B.2).

Il convient de définir soigneusement l'emplacement des filtres exigés, mais il est évident qu'il n'est pas réalisable de filtrer chaque EUT.

L'approche usuelle consiste à appliquer des limites de courant harmonique à l'installation complète ou à des parties d'installation, comme décrit ci-dessus. Dans les cas critiques, une analyse plus détaillée, tenant compte du niveau existant de distorsion harmonique en tension, est utilisée.

B.4.2.2 Méthode de détermination de la distorsion du courant pour l'installation complète

Dans cette approche, des limites de courant harmonique sont appliquées à toute l'installation. Ces limites sont appliquées aux rapports de distorsion individuelle (IDR) pour les rangs individuels et au THD.

Il convient que les courants harmoniques de toute l'installation soient conformes au Tableau B.3 suivant, au point de couplage défini. Voir définition de R_{SI} en B.2.2.6. Il convient que le fournisseur d'EUT et le client se mettent d'accord sur le point de couplage (PCC ou IPC) et sur les applications d'autres limites d'émission issues de règlements locaux. Il convient que le point de couplage soit un jeu de barres de raccordement identifié.

NOTE A partir de la définition de R_{SI} , dédiée à un jeu de barres de raccordement défini, il est clair que toutes les charges alimentées par ce jeu de barres de raccordement contribuent à la définition du courant correspondant (I_{TN}) à prendre en considération pour le calcul de l'émission harmonique.

Aux États-Unis, l'IEEE Std 519 applique cette approche à tous les niveaux de tension pour les réseaux de distribution électrique. Le Tableau B.3 fournit un exemple des limites pratiques déjà expérimentées en Amérique du Nord.

Les courants harmoniques sont exprimés en pourcentages du courant total correspondant à la puissance souscrite interne de l'alimentation en courant alternatif de toute l'installation (IDR). Dans le cas d'un PCC, le courant de charge est défini par la "puissance souscrite", comme convenu entre l'utilisateur et l'opérateur du réseau de distribution. Dans le cas d'un IPC, le courant de charge fondamental assigné est égal au courant de charge assigné du dispositif d'alimentation de l'IPC. Voir B.2.2.5 et B.2.2.6.

Tableau B.3 – Exigences relatives aux émissions de courant harmonique par rapport au courant total de la puissance souscrite au PCC ou à l'IPC

R_{SI}	Rapport de distorsion individuelle <i>IDR</i>					TDR
	$h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h \leq 40$	
$R_{SI} < 20$	4 %	2 %	1,5 %	0,6 %	0,3 %	5 %
$20 \leq R_{SI} < 50$	7 %	3,5 %	2,5 %	1 %	0,5 %	8 %
$50 \leq R_{SI} < 100$	10 %	4,5 %	4 %	1,5 %	0,7 %	12 %
$100 \leq R_{SI} < 1000$	12 %	5,5 %	5 %	2 %	1 %	15 %
$1\ 000 \leq R_{SI}$	15 %	7 %	6 %	2,5 %	1,4 %	20 %

Les harmoniques pairs sont limités à 25 % des harmoniques impairs.

Pour les systèmes avec un nombre d'impulsions (= q) supérieur à 6, les limites pour chaque harmonique individuel sont augmentées du facteur $\sqrt{q/6}$. Cela correspond pour un système à 12 impulsions à $\sqrt{2}$. La limite du THD reste inchangée.

B.4.2.3 Analyse au cas par cas

Une analyse complète du réseau peut également être menée; il convient qu'elle soit menée dans les cas critiques. Les résultats de l'analyse peuvent être utilisés pour définir correctement le filtrage total ou d'autres méthodes d'atténuation.

Il convient de suivre la procédure suivante:

- évaluer la distorsion de tension harmonique existante au PCC (de la responsabilité de l'opérateur du réseau de distribution – public ou privé);
- calculer ou mesurer l'impédance harmonique du réseau au PC (de la responsabilité de l'opérateur du réseau de distribution – public ou privé dans le cas d'un PCC – et de la responsabilité de l'utilisateur dans le cas d'un point de couplage interne (IPC); l'IEC TR 61000-2-6:1995, A.2, fournit des données sur l'impédance harmonique rencontrée dans les réseaux;
- calculer ou mesurer les courants harmoniques que l'EUT à connecter va injecter dans le réseau (de la responsabilité du fabricant);
- calculer les tensions harmoniques qui peuvent en résulter (de la responsabilité de l'utilisateur).

NOTE Toutes les règles et méthodes énumérées dans l'IEC TR 61000-3-6, bien qu'elles soient définies pour les réseaux publics en moyenne tension (de 1 kV jusqu'à 35 kV inclus) ou haute tension (> 35 kV), s'appliquent aux réseaux industriels, y compris à leurs parties basse tension.

Dans le cas d'un PCC, il convient que les tensions harmoniques résultantes ne dépassent pas les niveaux de planification définis par l'opérateur du réseau de distribution. Dans le cas d'un IPC, il convient que les tensions harmoniques résultantes ne dépassent pas les niveaux de compatibilité.

Les niveaux de compatibilité pour les tensions harmoniques sont définis par l'IEC 61000-2-2 sur les réseaux publics en basse tension, par l'IEC 61000-2-12 sur les réseaux publics moyenne tension, et par l'IEC 61000-2-4 sur les réseaux industriels privés.

Au PC, une puissance nominale disponible (appelée "puissance interne souscrite") peut être définie. Dans le cas d'un PCC, il s'agit de la "puissance souscrite" (voir B.2.2.4 et B.2.2.5). Une marge de perturbation peut être affectée à l'EUT à connecter. La solution raisonnable consiste à définir cette marge de perturbation proportionnellement au rapport de la puissance assignée

de l'EUT à la puissance interne souscrite au PC, et proportionnellement aux niveaux de compatibilité définis par les normes citées en B.4.2.3.

B.4.2.4 Interférence téléphonique

En Amérique du Nord et en Finlande, la construction de lignes de distribution d'énergie et de téléphone sur des cheminements parallèles a conduit à l'introduction du facteur d'interférence téléphonique (TIF, Telephone Interference Factor). L'IEEE Std 519-2022, Annexe B, présente le résultat d'une pondération des divers harmoniques.

- Le courant psophométrique équivalent est défini par $I_p = I \times TIF$.
- Les pratiques locales recommandées exigent que $I_p < I_{pA}$.

A l'intérieur de l'installation, l'émission harmonique de mode commun sur le câble moteur peut provoquer des interférences avec les lignes de téléphone s'ils cheminent en parallèle. Il convient d'éviter une telle disposition (voir 6.3.3).

B.4.3 Interharmoniques et tensions ou courants à des fréquences supérieures

Dans cette plage de fréquences, supérieures au rang harmonique 40 et jusqu'à 9 kHz, il convient de considérer l'EUT comme une source de tension. Il n'existe pas d'exigence d'émission pour les EUT, en attendant que les niveaux de comptabilité soient normalisés.

Cependant, il se peut que l'application de certains types d'EUT exige la prise en compte de l'émission d'interharmoniques ou de courant ou de tension à des fréquences supérieures (jusqu'à 9 kHz). C'est principalement le cas des EUT de grande puissance, tels que les cycloconvertisseurs ou onduleurs à source de courant. Cela peut également être le cas des convertisseurs d'entrée actifs, où la commutation MLI est directement couplée au réseau.

Un interharmonique à fréquence légèrement différente du fondamental ou d'harmoniques prépondérants peut également provoquer des fluctuations de tension (voir B.6.2). Elles résultent de fréquences de battements qui peuvent être observées sur des systèmes non linéaires tels que l'éclairage (fonction du carré de la tension). La réponse non linéaire de l'équipement perturbé provoque l'apparition de composantes dont la fréquence est la somme et la différence des fréquences existantes. La fréquence de différence peut se situer dans la bande de papillotement ("flicker"). Les cycloconvertisseurs et onduleurs à source de courant en sont l'origine principale. Ce cas est couvert par les niveaux de compatibilité indiqués dans l'IEC 61000-2-4.

B.5 Déséquilibre de tension

B.5.1 Origine

Le déséquilibre de tension sur un réseau triphasé est généralement causé par des charges monophasées inégales sur deux des trois phases. Le déséquilibre de tension est une fonction directe de la valeur de la charge monophasée en pourcentage de la puissance de dimensionnement du réseau, et de l'impédance du réseau. À titre d'exemple, soit un transformateur triphasé de chute interne donnée, et chargé par une seule impédance monophasée connectée entre deux phases. Si la charge est significative devant la puissance apparente assignée du transformateur, les tensions (phase-neutre) de sortie des deux phases reliées à la charge sont réduites, tandis que la troisième phase sans aucune charge reste inchangée.

Le déséquilibre de tension sur des transformateurs entraîne des échauffements excessifs. Il convient de consulter le fabricant pour déterminer si le transformateur est capable d'alimenter des charges monophasées qui représentent une proportion significative de sa puissance apparente assignée.

Les autres charges triphasées, connectées à une source de puissance triphasée déséquilibrée, sont généralement affectées de façon préjudiciable. A titre d'exemple, le déséquilibre est à l'origine d'un courant inverse dans les moteurs asynchrones triphasés, ce qui réduit le couple de sortie au courant assigné ou cause un échauffement excessif au couple assigné. Dans certains moteurs, un déséquilibre de 3 % peut entraîner un déclassement de 10 % sur leur couple. Si le réseau présente un déséquilibre important et alimente un moteur triphasé, il est important de consulter le fabricant du moteur pour déterminer le déclassement correct permettant un fonctionnement sûr.

B.5.2 Définition et appréciation

B.5.2.1 Définition

Le déséquilibre de tension est défini dans l'IEC 61000-2-2, l'IEC 61000-2-4 ou l'IEC 61000-2-12. Quelques méthodes de calcul sont indiquées ci-dessous.

Dans un réseau polyphasé, le déséquilibre de tension est un état dans lequel les valeurs efficaces du fondamental des tensions entre phases ou l'angle de phase entre les phases consécutives ne sont pas égaux. Pour les besoins du présent document, le degré de cette inégalité est exprimé en tant que rapport de la composante inverse à la composante directe.

Dans certaines circonstances, il convient d'inclure la composante homopolaire dans l'évaluation du déséquilibre de tension.

B.5.2.2 Analyse complète

La définition précise est liée à l'analyse au moyen des composantes symétriques du système triphasé. Le concept de ce type d'analyse est basé sur le fait que tout écart de tension de phase par rapport à un système triphasé idéal peut être décrit par la somme de trois vecteurs. Ils sont appelés les vecteurs de composante homopolaire, directe et inverse et sont définis comme suit:

$$\begin{aligned} \underline{U}_A &= \underline{U}_{A0} + \underline{U}_{A1} + \underline{U}_{A2} && \text{tension de la phase A;} \\ \underline{U}_{A0} &= (\underline{U}_A + \underline{U}_B + \underline{U}_C)/3 && \text{composante homopolaire;} \\ \underline{U}_{A1} &= (\underline{U}_A + a \underline{U}_B + a^2 \underline{U}_C)/3 && \text{composante directe;} \\ \underline{U}_{A2} &= (\underline{U}_A + a^2 \underline{U}_B + a \underline{U}_C)/3 && \text{composante inverse} \end{aligned}$$

où

$$\begin{aligned} \underline{U}_A, \underline{U}_B \text{ et } \underline{U}_C & \text{ sont les vecteurs de tension de phase;} \\ a & \text{ est l'opérateur et } a = - (1/2) + j (\sqrt{3}/2). \end{aligned}$$

Le rapport de la tension inverse à la tension directe est le déséquilibre de tension, à savoir:

$$\tau \% = 100 U_2/U_1$$

EXEMPLE 1 Les amplitudes et les déphasages des tensions simples (phase/neutre) permettent de calculer les amplitudes et les déphasages des tensions composées.

$$\begin{aligned} U_{AN} = 231,00 \text{ et } 0,0^\circ, \quad U_{BN} = 220,00 \text{ et } -125,1^\circ, \quad U_{CN} = 215,00 \text{ et } 109,8^\circ \\ U_{AB} = 400,26 \text{ et } 26,7^\circ, \quad U_{BC} = 386,03 \text{ et } -98,0^\circ, \quad U_{CA} = 365,01 \text{ et } 146,3^\circ \end{aligned}$$

donnant

composante homopolaire	$U_0 = 12,91 \text{ et } 35,2^\circ,$
composante directe	$U_1 = 221,41 \text{ et } -5,0^\circ,$
composante inverse	$U_2 = 11,78 \text{ et } 90,7^\circ,$

et déséquilibre de tension: $\tau = 100 (11,78/221,41) = 5,32 \%$ avec une composante homopolaire de 5,83 %.

EXEMPLE 2 Les amplitudes et les déphasages des tensions simples (phase/neutre) permettent de calculer les amplitudes et les déphasages des tensions composées.

$$U_{AN} = 230,00 \text{ et } 0,0^\circ, \quad U_{BN} = 280,00 \text{ et } -135,0^\circ, \quad U_{CN} = 170,00 \text{ et } 130,0^\circ$$

$$U_{AB} = 471,57 \text{ et } 24,8^\circ, \quad U_{BC} = 340,00 \text{ et } -105,1^\circ, \quad U_{CA} = 363,41 \text{ et } 159,0^\circ$$

donnant composante homopolaire $U_0 = 34,26 \text{ et } -138,7^\circ$,
 composante directe $U_1 = 223,09 \text{ et } -3,7^\circ$,
 composante inverse $U_2 = 49,59 \text{ et } 48,1^\circ$,

et déséquilibre de tension: $\tau = 100 (49,59/223,09) = 22,23 \%$ avec une composante homopolaire de 15,36 %.

B.5.2.3 Méthodes d'approximation

Trois méthodes d'approximation sont indiquées ci-dessous. La première donne généralement les meilleurs résultats, avec un taux d'erreur inférieur à 5 % pour tout type de déséquilibre pour lequel les tensions simples présentent des angles de phase dans une tolérance de $\pm 15^\circ$, et une amplitude dans une tolérance de $\pm 20 \%$ comparé au réseau équilibré idéal correspondant (composante directe ou inverse).

Soient U_{12} , U_{23} et U_{31} les trois tensions entre phases, avec $\delta_{ij} = (U_{ij} - U_{\text{moyenne}})/(3 \times U_{\text{moyenne}})$ pour chacune de ces trois tensions entre phases, et τ le déséquilibre de tension exprimé en tant que rapport de l'amplitude de tension inverse à l'amplitude de tension directe:

$$\tau \approx \sqrt{6 \sum_{1}^3 \delta_{ij}^2}$$

L'approximation ci-après, bien plus simple, donne des résultats acceptables (erreur absolue généralement inférieure à 1 %) pour τ allant jusqu'à 7 %:

$$\tau \approx \left(\frac{2}{3}\right) \times \left[\frac{U_{\text{max}} - U_{\text{min}}}{U_{\text{average}}} \right]$$

La formule que propose l'association des fabricants américains de matériel électrique (NEMA, National Electrical Manufacturers Association) donne également des résultats acceptables (erreur absolue généralement inférieure à 1 %) pour τ allant jusqu'à 10 % ou lorsque les déphasages sont importants:

$$\tau \approx \frac{\text{MAX} |U_{ij} - U_{\text{moyenne}}|}{U_{\text{moyenne}}}$$

EXEMPLE 1 Comme ci-dessus:

$$U_{AN} = 231,00 \quad U_{BN} = 220,00 \quad \text{et } U_{CN} = 215,00$$

$$U_{AB} = 400,26 \quad U_{BC} = 386,03 \quad \text{et } U_{CA} = 365,01$$

$$U_{\text{moyenne}} = (400,26 + 386,03 + 365,01)/3 = 384,07 \text{ et sans décimales} \quad U_{\text{moyenne}} = (400 + 386 + 365)/3 = 383,66$$

$$\delta_{12} = 1,433 \% \quad \delta_{23} = 0,197 \% \quad \delta_{31} = -1,629 \%$$

Le déséquilibre de tension est $[6 (1,433^2 + 0,197^2 + 1,629^2)]^{1/2} = 5,3 \%$

ou $(2/3) \times (U_{\max} - U_{\min}) / U_{\text{moyenne}} = (2/3) \times (400 - 365)/383,7 = 6,1 \%$, ou avec la dernière approximation:
 $19,1/383,7 = 5,0 \%$.

EXEMPLE 2 Comme ci-dessus:

$$U_{AN} = 230,00 \quad U_{BN} = 280,00 \quad \text{et } U_{CN} = 170,00$$

$$U_{AB} = 471,57 \quad U_{BC} = 340 \quad \text{et } U_{CA} = 363,41$$

$$U_{\text{moyenne}} = (471,57 + 340 + 363,41) / 3 = 391,66$$

$$\delta_{12} = 6,801 \% \quad \delta_{23} = -4,397 \% \quad \delta_{31} = -2,404 \%$$

Le déséquilibre de tension est $[6 (6,801^2 + 4,397^2 + 2,404^2)]^{1/2} = 20,7 \%$

ou $(2/3) \times (U_{\max} - U_{\min}) / U_{\text{moyenne}} = (2/3) \times (472 - 340) / 391,7 = 22,4 \%$, ou avec la dernière approximation:
 $80,6/391,7 = 20,6 \%$.

B.5.3 Effet sur les BDM/CDM/PDS/MT

L'effet sur les BDM/CDM/PDS/MT dépend du type de circuit de puissance et de la méthode de commande utilisée. Il convient d'analyser en détail chaque type de commande et de circuit. L'effet est généralement faible sur des convertisseurs contrôlés ou non contrôlés qui alimentent des charges résistives. Les convertisseurs à contrôle de phase synchronisés par une boucle à verrouillage de phase sont moins affectés que les convertisseurs qui utilisent en référence de phase une rampe synchronisée au réseau par le passage à zéro de la tension. Les convertisseurs contrôlés ou non contrôlés, qui alimentent les batteries de condensateurs des boucles intermédiaires à tension continue (onduleurs à source de tension), ont des déséquilibres de courants nettement plus grands que le déséquilibre de tension, et plus grands que ceux des convertisseurs qui alimentent une charge inductive, comme un moteur à courant continu.

Il convient de prendre un soin particulier dans la conception des convertisseurs qui alimentent des batteries de condensateurs, car le courant de crête augmente fortement avec le déséquilibre de tension. Pour les très grandes batteries de condensateurs où l'ondulation de tension redressée est faible, le courant de crête de chaque phase n'est limité que par l'impédance de source, les éventuelles impédances supplémentaires de l'EUT, et la différence entre la tension de la batterie de condensateurs et la tension de ligne. Le rapport entre les courants de crête des phases peut atteindre 20 % pour 3 % de déséquilibre de tension et une impédance de source de 1 %. C'est heureusement une condition extrême, car il est peu vraisemblable qu'une charge monophasée puisse causer un tel déséquilibre avec une impédance de source de 1 %.

B.6 Creux de tension – Fluctuations de tension

B.6.1 Creux de tension

B.6.1.1 Définition

La forme la plus commune de perturbation basse fréquence est peut-être le creux de tension ou la réduction de tension sur une ou sur les trois phases. Un creux de tension est une réduction soudaine de tension en un point du réseau électrique, suivie de son rétablissement après une courte période de temps, d'une demi-période à quelques secondes. Un creux de tension est généralement causé par l'apparition et l'élimination des défauts sur le réseau par l'opérateur du réseau de distribution, ou par le démarrage de gros moteurs sur le site de l'utilisateur ou à proximité de celui-ci. La surveillance effectuée par différents distributeurs dans différents pays a montré que les creux de tension peuvent durer d'une demi-période jusqu'à 15 périodes ou plus avec des écarts dépassant la tolérance de 10 % sur la tension. La tension résiduelle (la plus faible valeur de la tension durant le creux) est maintenant préférentielle par rapport à la profondeur du creux pour caractériser son amplitude (la profondeur est la différence entre la tension de référence et la tension résiduelle). La tension résiduelle dépend beaucoup de la localisation de la source de tension (généralement une sous-station haute tension/moyenne

tension), d'un événement semblable à un court-circuit et du point d'observation. Des informations explicites sont disponibles dans l'IEC TR 61000-2-8.

B.6.1.2 Effet sur les BDM/CDM/PDS/MT

B.6.1.2.1 Fondamentaux

Les creux de tension peuvent avoir des effets préjudiciables aux performances des BDM/CDM/PDS/MT. Généralement, quand la tension d'alimentation est réduite, la puissance qui peut être transférée au moteur est également réduite. Cependant, certains variateurs de PDS compensent jusqu'à une certaine limite les creux de tension par variation de l'angle de contrôle du pont redresseur d'entrée. Sont également concernés les convertisseurs réversibles qui transfèrent la puissance mécanique du moteur vers le réseau et qui peuvent subir des creux de tension.

Il convient d'examiner l'effet des creux de tension sur les EUT en fonction de la nature physique des équipements entraînés. De plus, il convient de distinguer la commande de l'EUT et le convertisseur de puissance (voir l'IEC TR 61000-2-8).

La commande pourrait être insensible à certains types de creux, avec critère de performance A, et cela pourrait être inutile si cette performance n'est pas coordonnée avec les propriétés du convertisseur ou celle des équipements entraînés. Le convertisseur ne dispose d'aucune capacité de stockage de l'énergie. L'équipement entraîné, quant à lui, ne dispose généralement que d'une faible capacité de stockage, qui peut être utilisée sous certaines conditions. Il serait trompeur de déclarer qu'un EUT est insensible aux creux de tension uniquement sur la base de l'insensibilité de la commande. Il convient que toute séquence spécifique de la commande soit documentée, pour permettre à l'utilisateur de définir l'adaptation à l'équipement entraîné.

B.6.1.2.2 Convertisseurs contrôlés

Les convertisseurs contrôlés, tels que ceux constitués de thyristors, de thyristors à blocage par la gâchette (GTO, Gate Turn Off) ou de transistors, sont généralement utilisés pour convertir l'énergie du réseau alternatif en énergie disponible sous tension continue variable. La logique qui est utilisée pour synchroniser la commande des semiconducteurs de puissance est souvent conçue pour inhiber la commande quand la tension du réseau chute en dessous d'une valeur spécifique. Dans certains cas, la commande est bloquée jusqu'au réarmement de la logique par l'utilisateur ou, dans d'autres cas, le fonctionnement ne reprend que si la tension revient dans un laps de temps spécifié. Normalement, l'EUT ne peut pas contrôler le moteur pendant le creux de tension, et la commande peut être perdue jusqu'au réarmement de la logique. Si le processus piloté par l'EUT est critique, il convient que le fabricant de l'EUT et l'utilisateur conviennent d'un comportement compatible avec les besoins du processus. Dans certains cas critiques, il est nécessaire d'avoir recours à des méthodes supplémentaires (par exemple des sources de puissance en variante) pour maintenir le fonctionnement du processus pendant les creux de tension importants.

Pendant les creux de tension, la puissance disponible sur le BDM/CDM pour le moteur est réduite. Ceci peut affecter le comportement selon le point de fonctionnement du moteur. Soit un pont contrôlé à 6 thyristors fournissant la puissance à un moteur à courant continu. Si le moteur tourne à grande vitesse, un creux de tension peut entraîner la tension de crête du réseau à une valeur inférieure à la tension d'induit. Le courant dans le circuit d'induit s'annule et les thyristors sont alors éteints. Si en revanche le moteur tourne à basse vitesse, un creux de tension du réseau peut être compensé par le circuit de commande en avançant l'angle d'allumage. Dans ce cas, la commande du moteur est peu affectée. Pour des charges critiques, il convient d'examiner l'effet des creux de tension avec le fabricant de l'EUT, afin de déterminer le comportement du circuit de commande.

Les convertisseurs réversibles à commutation assistée par le réseau sont particulièrement sensibles aux creux de tension. Si la tension réseau chute trop pendant le fonctionnement en mode réinjection de puissance, le contrôle de la puissance transférée du moteur vers le réseau est perdu, car les thyristors ne peuvent plus être éteints. Si le circuit de commande ne réagit

pas, si le creux est particulièrement abrupt ou survient juste après l'allumage d'un thyristor, le thyristor précédemment conducteur ne peut pas être éteint et le moteur peut générer des courants incontrôlés excessifs. Ces courants peuvent potentiellement entraîner des effets préjudiciables au processus, ou même des dommages au moteur. Si la charge est critique, il convient d'examiner avec le fabricant de l'EUT l'effet des creux de tension sur des convertisseurs réversibles, afin de déterminer le comportement des circuits de puissance et de commande durant ces périodes. Dans le cas de charges critiques, un circuit supplémentaire peut être ajouté pour forcer la commutation des thyristors, ou des sources de puissance en variante peuvent être utilisées pour maintenir l'EUT pendant les creux.

Les convertisseurs réversibles à commutation forcée peuvent aussi être affectés par les creux de tension. En effet, la réduction de tension pendant le creux peut réduire la puissance qui peut être transférée de la charge vers le moteur et vers le réseau. Si tel est le cas, le contrôle de la commande du moteur peut être perdu pendant ce temps.

B.6.1.2.3 Convertisseurs non contrôlés

Les convertisseurs non contrôlés, tels que les ponts de diodes, ne sont que peu sensibles à un creux de tension, à l'exception des courants d'appels élevés qui peuvent circuler dans la batterie de condensateurs à la réapparition de la tension. Cependant, leur tension et leur puissance de sortie sont réduites pendant le creux de tension. Cela peut entraîner des effets préjudiciables sur d'autres parties de l'EUT. Si, par exemple, le convertisseur alimente un onduleur, la tension de sortie de l'onduleur est limitée, entraînant la perte du contrôle du moteur à courant alternatif.

Certains fabricants inhibent également le fonctionnement quand la tension d'alimentation de l'onduleur tombe en dessous d'une valeur spécifique. Certains modèles exigent aussi le réarmement de la logique avant de pouvoir redémarrer. D'autres modèles redémarrent au retour de la tension, mais le contrôle du moteur est perdu pendant la période durant laquelle la logique est inhibée. Cette période peut être prolongée du temps nécessaire pour synchroniser la logique de commande de l'onduleur avec la vitesse réelle du moteur après la perte de commande.

La synchronisation est nécessaire pour accorder la fréquence de sortie de l'onduleur avec la vitesse réelle du moteur. Le procédé de synchronisation détermine la tension et la fréquence appropriées qu'il convient d'appliquer au moteur pour une transition douce des conditions de décélération naturelle à la reprise du contrôle.

Les EUT qui incorporeraient une très grosse batterie de condensateurs pourraient passer des creux de tension courts au moyen de l'énergie emmagasinée dans la batterie de condensateurs. Généralement, il n'est pas économique de dimensionner la batterie de condensateurs pour passer les creux de tension. Dans le cas de charges critiques, une batterie d'accumulateurs peut être utilisée pour fournir la puissance pendant les creux de tension. Les EUT avec une commande adaptée peuvent continuer à fonctionner pendant les interruptions de tension, si la puissance de sortie est voisine de zéro. Dans tous les cas, il convient d'examiner avec le fabricant les effets des creux de tension sur le fonctionnement de l'EUT, pour déterminer s'il est compatible avec les besoins du processus.

B.6.1.2.4 Types généraux de protection

Il a été démontré que l'immunité aux creux de tension était très dépendante de la nature du convertisseur et des propriétés de la charge. La protection absolue peut être très coûteuse, et il convient d'adapter soigneusement le choix de la protection aux exigences du processus.

- La protection absolue exige une source de puissance réversible. Il peut s'agir d'une alimentation sans interruption (UPS) externe à l'EUT, ou d'une source en courant continu (batterie d'accumulateurs) alimentant la boucle à tension continue d'un onduleur à source de tension.
- La séquence de passage des creux est une technique qui utilise les possibilités de la commande pour éviter la surintensité transitoire, sans recours à une source d'énergie de

secours. La vitesse d'une charge passive diminue nécessairement avec un taux approximativement donné par le rapport du couple de charge à l'inertie. Pour des raisons de sécurité, ce type de protection ne peut être utilisé avec des charges actives (exemple du levage pendant la récupération où le frein mécanique est nécessaire).

- Le redémarrage à la volée est un prolongement de la séquence de passage des creux de tension qui peut être utilisé en cas de charges passives ayant des décélérations naturellement longues ou très longues. Cela peut être également une protection contre les creux de tension ou contre les coupures brèves.
- Le redémarrage automatique implique toujours des conditions de sécurité, qui sont de la responsabilité de l'utilisateur.

B.6.2 Fluctuation de tension

Les interharmoniques peuvent provoquer un papillotement sur les équipements d'éclairage, comme expliqué en B.4.3 et les niveaux de compatibilité sont indiqués dans l'IEC 61000-2-2, l'IEC 61000-2-4 ou l'IEC 61000-2-12, selon le type de réseau. Il convient de limiter l'émission interharmonique d'un EUT de telle manière que la tension interharmonique calculée à l'IPC, du fait d'un EUT donné, ne dépasse pas 80 % des niveaux de compatibilité de tension.

Les EUT entraînant de grandes charges telles que presses poinçonneuses, cisailles volantes et machines-outils, créent périodiquement de forts appels de courant au réseau. Cela cause des variations de la tension du réseau. Il convient d'évaluer l'impédance de source du réseau alimentant ces EUT de sorte que la fluctuation de tension ne dépasse pas la tolérance de 10 %.

Pour dimensionner cette impédance, il convient de prendre en compte les pointes de charge qui en moyenne ne dépassent pas la puissance de dimensionnement du réseau d'alimentation, mais qui produisent des variations de tension qui dépassent la tolérance. Sur le réseau public, il est présumé que la fluctuation de tension d'un équipement ne dépasse pas 3 %. Si les fluctuations sont fréquentes, il convient que des limites de papillotement soient appliquées au réseau public et à tout réseau qui alimente une charge d'éclairage (voir 6.3.2).

Annexe C (informative)

Compensation de puissance réactive – Filtrage

C.1 Installation

C.1.1 Pratique usuelle

Un utilisateur, alimenté par un réseau de distribution, a généralement plusieurs appareillages reliés au même PCC. Le terme "installation" est utilisé pour décrire la combinaison d'appareillages, d'équipements ou de systèmes (et leurs alimentations) connectés au PCC.

De même, beaucoup d'appareillages industriels comportent plus d'un EUT.

Ainsi l'examen du facteur de puissance, de la puissance réactive et de l'émission harmonique d'un seul EUT ne suffit pas, et peut entraîner des difficultés techniques inutiles. En réalité, la solution exigée est une solution pour l'installation. L'installation contient plusieurs charges différentes.

C.1.2 Définitions de puissance en conditions de distorsion

En conditions de distorsion, la définition de la puissance est étendue par rapport aux conditions sinusoïdales ou sans distorsion. La puissance apparente totale S , à laquelle un composant électrique est soumis, est définie dans un réseau triphasé équilibré comme suit:

$$S = 3VI = 3 \sqrt{\sum_1^{\infty} V_k^2 \sum_1^{\infty} I_k^2}$$

En raison de la présence d'harmoniques de tension et de courant de rang élevé superposés à la fondamentale, la puissance active P et la puissance réactive Q deviennent:

$$P = 3 \sum_1^{\infty} V_k I_k \cos \phi_k$$

$$Q = 3 \sum_1^{\infty} V_k I_k \sin \phi_k$$

et la puissance apparente se définit comme suit:

$$A = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

Cette puissance est différente de la puissance apparente totale. En particulier, la relation ci-dessous s'applique:

$$S^2 = P^2 + Q^2 + D^2$$

où

D est la puissance de distorsion et tient compte de la puissance générée par les composantes de tension et de courant avec différents numéros ordinaux.

La somme des carrés de la puissance réactive Q et de la puissance de distorsion D équivaut au carré de la puissance inactive N :

$$N^2 = Q^2 + D^2$$

Cette puissance est définie comme inactive, car elle correspond à la différence entre le carré de la puissance apparente totale S et le carré de la puissance active P :

$$N^2 = S^2 - P^2$$

Le facteur de puissance totale λ entre la puissance active P et la puissance apparente totale S observée depuis le réseau peut s'exprimer ainsi:

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

La correction du facteur de puissance renvoie à ce paramètre.

Le facteur de déphasage total en conditions de distorsion, $\cos\phi$, correspond à une extension du facteur de déphasage habituel en conditions sinusoïdales et se définit comme suit:

$$\cos\phi = \frac{P}{A}$$

En l'absence de distorsion des formes d'onde de tension et de courant, les deux facteurs de déphasage sont identiques.

Afin d'exprimer l'influence de la puissance de distorsion D , un facteur de distorsion $\cos\psi$ peut être appliqué et défini comme:

$$\cos\psi = \frac{\lambda}{\cos\phi} = \frac{A}{S}$$

C.1.3 Solutions pratiques

C.1.3.1 Pratique usuelle

Il est bien connu que pour éviter le surdimensionnement de l'installation et un accroissement inutile du courant circulant dans le réseau de distribution, il est nécessaire de travailler avec un bon facteur de puissance. Cependant, dans la pratique, ce facteur de puissance n'était observé que du point de vue de la puissance réactive; en réalité, il ressort du présent document que le résidu harmonique intervient également.

Il était habituel qu'une installation industrielle consomme de la puissance réactive. Donc, il a aussi été habituel d'installer une compensation globale pour réduire le facteur de déphasage, et ainsi diminuer la consommation de puissance réactive de l'installation. Pour ce faire, des condensateurs étaient installés soit à proximité du consommateur de puissance réactive, soit globalement proches du PCC. Dans certains pays, les distributeurs d'électricité introduisent des pénalités sur ce facteur de déphasage, en particulier quand le réseau de distribution est fortement chargé.

C.1.3.2 Évolution de la pratique usuelle

Comme le facteur de puissance constitue une préoccupation, et du fait de la généralisation de l'utilisation de charges déformantes, la compensation harmonique devient aussi nécessaire. Cette compensation harmonique peut être réalisée globalement en filtrant l'installation complète, ou localement, avec des filtres proches des charges déformantes. Il peut aussi être préférable d'utiliser des charges non polluantes.

Il ressort de cette introduction que deux types de compensations sont nécessaires: le facteur de déphasage et le résidu harmonique du courant. Deux méthodes peuvent être utilisées pour chacun de ces types de compensations: une approche globale pour l'installation totale ou une approche locale pour chaque charge déformante. Quatre cas peuvent être distingués, mais aucun n'est indépendant, si bien qu'il convient d'étudier ce problème plus en détail.

C.1.4 Compensation de puissance réactive

C.1.4.1 Critères généraux de compensation

Un équipement corrigeant le facteur de puissance est composé de batteries de condensateurs connectées à la ligne d'alimentation par des contacteurs électromécaniques ou statiques. Les paragraphes suivants couvrent les phénomènes relatifs à l'utilisation de batteries de condensateurs connectées par contacteurs électromécaniques.

La dimension de la batterie de condensateurs à installer est fonction de la compensation de puissance active et réactive nécessaire au système, et aussi de leurs variations durant la journée (caractéristiques de charge en fonction du temps). Elle est aussi fonction de la politique de prix pratiquée par l'opérateur du réseau de distribution et par le "fournisseur" d'électricité.

La correction est fréquemment définie à l'aide de la valeur moyenne de l'énergie consommée (active et réactive) pendant les heures de pointe de la journée et sur une durée d'un mois.

NOTE Le concept d'énergie réactive utilisé dans l'Annex C est défini par l'intégrale dans le temps de la puissance réactive.

Pour le dimensionnement, il est nécessaire de connaître les critères définis par l'opérateur du réseau de distribution et par le "fournisseur" d'électricité:

- les périodes de forte charge du réseau dans la journée;
- les limites du taux de puissance réactive gratuit (par exemple $\tan \varphi$);
- les données utilisateur telles que la caractéristique de charge en fonction du temps.

Il peut être constaté que cette correction de la consommation d'énergie réactive ne peut être ni constante ni permanente. Une correction permanente conduirait en fait à une injection de puissance réactive dans le réseau de distribution à certains moments. Le résultat en serait une élévation de la tension dans l'installation de l'utilisateur, ce qui n'est pas nécessairement un avantage. Une telle étude est pertinente pour une installation complète, et presque impossible si chaque EUT est pris isolément.

Par ailleurs, les condensateurs peuvent être installés soit côté basse tension, soit côté moyenne tension. L'usage courant montre que la solution MT est économiquement plus avantageuse dès que la correction de puissance réactive atteint 600 kvar. En dessous, il convient de préférer la solution BT.

Si des condensateurs de correction de facteur de puissance sont à installer sur les réseaux avec des sources de courant harmonique, il convient d'ajouter des réactances en série avec les condensateurs, de sorte que les fréquences de résonance soient rejetées en dessous de la fréquence harmonique caractéristique la plus basse, généralement le rang 5 (voir C.1.4.4).

C.1.4.2 Application à la correction en basse tension

C.1.4.2.1 Différentes solutions

Selon les conditions locales, trois types de corrections peuvent être définis (voir la Figure C.1):

- la correction individuelle par appareillage;
- la correction par section;
- la correction globale.

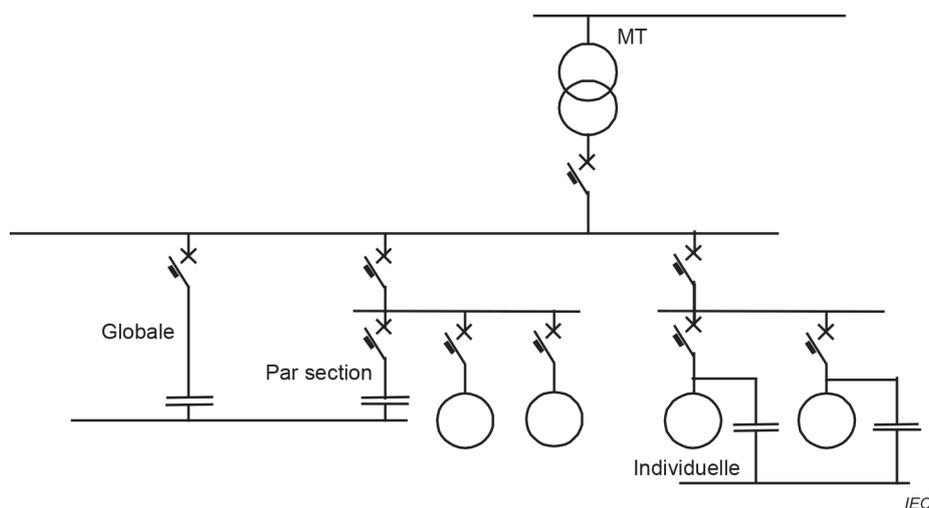


Figure C.1 – Compensation de puissance réactive

C.1.4.2.2 Compensation individuelle – Pour moteur directement couplé au réseau

La compensation individuelle est particulièrement conseillée sur les moteurs existants, à vitesse fixe de plus de 25 kW et s'il est attendu qu'ils fonctionnent pendant la majorité des heures de travail. Cela s'applique en particulier aux moteurs entraînant des machines de forte inertie, comme les ventilateurs. La manœuvre du contacteur du moteur alimente ou isole automatiquement le condensateur. Il est conseillé de vérifier qu'il n'y a pas de risque de résonance.

- Avantages: L'énergie réactive est produite directement au point où elle est consommée. Il en résulte une réduction du courant de charge réactif tout le long du câble d'alimentation. La compensation individuelle contribue ainsi de façon importante à la réduction de la puissance apparente, et à celle des chutes de tension et des pertes dans les conducteurs.
- Inconvénients: La compensation individuelle est relativement coûteuse, car plusieurs petits condensateurs sont plus chers qu'une seule grande batterie de condensateurs. Quand les condensateurs sont enclenchés, ils élèvent localement la tension du réseau de l'usine. Il semblerait ainsi nécessaire de pouvoir les déconnecter pendant les périodes de faible charge (et donc de tension élevée) du réseau public, dans le but de réduire la tension. En effet, une haute tension entraîne un risque de contraintes excessives sur l'équipement, causant ainsi un vieillissement prématuré. En conséquence, il convient que les condensateurs soient connectés si possible au réseau, au moyen de leur propre contacteur. La prolifération de condensateurs dans un réseau industriel présente l'autre inconvénient majeur d'augmenter les risques de résonances. Tous ces facteurs réduisent considérablement les avantages potentiels tirés de la compensation individuelle.

C.1.4.2.3 Compensation par section

Dans le cas d'une compensation par section, une seule batterie de condensateurs, actionnée au moyen de son propre contacteur, compense un groupe de postes consommateurs d'énergie réactive, situé dans un atelier ou dans une même zone.

- a) **Avantages:** La compensation par section exige moins d'investissements que la compensation individuelle. Cependant, il convient de connaître à l'avance les courbes de charge pour permettre le dimensionnement correct des batteries de condensateurs, et pour éviter les risques de surcompensation (quand la puissance réactive fournie est plus grande que celle exigée), ce qui produit des surtensions permanentes, conduisant à des vieillissements prématurés. La batterie de condensateurs possède son propre contacteur, ce qui facilite sa mise hors tension pendant les périodes de faible charge sur le réseau public, même lorsque les consommateurs de puissance correspondants restent connectés.
- b) **Inconvénients:** Il convient que les câbles d'alimentation des divers consommateurs de puissance soient dimensionnés pour supporter à la fois les courants actifs et réactifs. En outre, il convient de prendre des dispositions pour assurer la protection des condensateurs (par des fusibles, des disjoncteurs, etc.) et de les décharger (sur des résistances), pour assurer la sécurité pendant les opérations de maintenance. Il convient également de contrôler régulièrement les fusibles.

C.1.4.2.4 Compensation globale

Dans le cas d'une compensation globale, la production d'énergie réactive est concentrée en un point unique, le plus fréquemment dans la sous-station, ou dans une zone suffisamment grande et bien aérée. Dans des installations qui ne comportent que des charges de faible puissance, il est généralement recommandé d'adopter une compensation centrale contrôlée automatiquement, afin d'éviter la surcompensation. Si la courbe de charge varie peu, il est plus simple d'enclencher la batterie entière pendant les périodes de fonctionnement des installations.

- a) **Avantages:** Les condensateurs ont un bon facteur d'utilisation, et l'installation est plus facile à contrôler. En outre, avec la compensation automatique par la batterie de condensateurs, la courbe de charge de l'usine peut être surveillée efficacement, tout en évitant l'intervention manuelle (c'est-à-dire l'enclenchement et la coupure manuels). Cette solution est avantageuse d'un point de vue économique si les variations de charge proviennent de l'ensemble des récepteurs de l'installation et non pas de l'un d'eux en particulier.
- b) **Inconvénients:** Les installations en aval du raccordement du compensateur global véhiculent toute la puissance réactive.

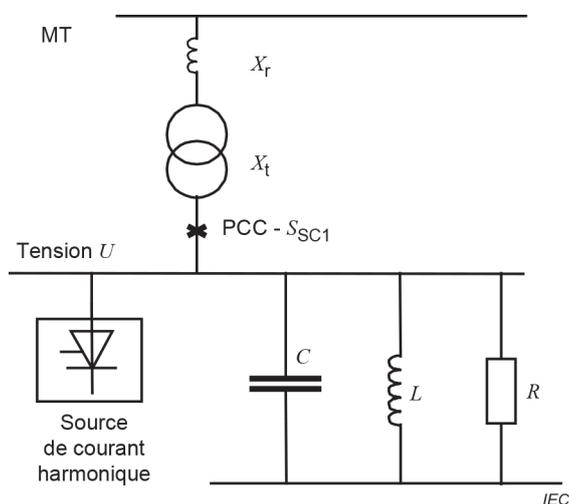
C.1.4.3 Application à la correction en moyenne tension

La compensation est généralement centralisée. Les condensateurs sont groupés dans des batteries dans la sous-station de moyenne tension. Les batteries sont reliées au jeu de barres moyenne tension par un disjoncteur. Leur puissance peut atteindre plusieurs mégavars (Mvar), et elles peuvent être divisées en sections plus petites, mises en route successivement pour obtenir une compensation optimale en fonction de la courbe de charge quotidienne. Chaque section est contrôlée par un ordre de commutation fourni dans ce but par la courbe de charge quotidienne ou par un contrôle permanent.

- a) **Avantages:** Typiquement, quand les batteries de condensateurs ont une puissance supérieure à 600 kvar, le coût de la compensation en moyenne tension est inférieur à celui de la compensation en basse tension.
- b) **Inconvénients:** Cette méthode de compensation ne soulage pas la partie du réseau située en aval des condensateurs. La mise sous tension de la batterie de condensateurs provoque des pointes de tension. Le fonctionnement exige plus de précautions qu'avec des condensateurs en basse tension.

C.1.4.4 Risques de résonance

Les risques de résonance sont dus à la présence simultanée, dans un réseau, de condensateurs pour compenser la puissance réactive, et de sources de courants harmoniques, comprenant les convertisseurs statiques. Un schéma unifilaire simplifié d'un réseau, incluant une charge passive R-L et une batterie de condensateurs pour une compensation globale de la charge, est représenté à la Figure C.2.



Légende

- P puissance active de la charge passive et des pertes
- Q puissance réactive de la charge passive
- X_r impédance du réseau d'alimentation d'une puissance de court-circuit S_{sc0}
- X_t impédance du transformateur de puissance apparente S_N (réactance x_{sc})
- PCC point de couplage commun sur le jeu de barres secondaire avec une puissance de court-circuit S_{sc1}
- R, L résistance et réactance correspondant aux puissances active et réactive P et Q de la charge
- C condensateur de compensation de l'énergie réactive d'une puissance Q_{cond}

Figure C.2 – Schéma simplifié d'un réseau industriel

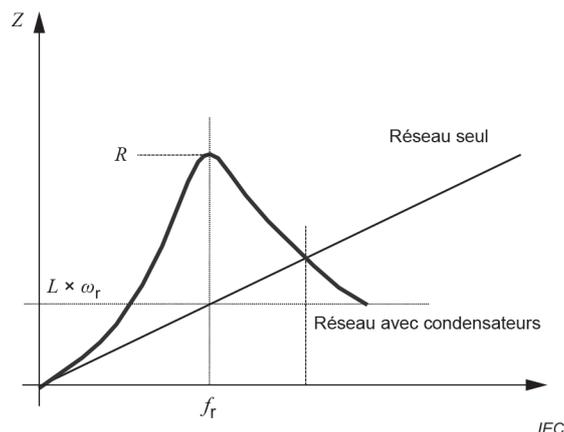


Figure C.3 – Impédance en fonction de la fréquence du réseau simplifié

La Figure C.3 représente la variation de l'impédance harmonique du réseau au PCC, et les risques de résonance associés à la présence d'une source de courants harmoniques. Les impédances amont X_r et X_t contribuent à une réduction de la puissance de court-circuit disponible au PCC de la valeur S_{sc0} à la valeur S_{sc1} :

$$S_{sc1} = (1/S_{sc0} + X_{sc}/S_N)^{-1}$$

Par conséquent, Z_h , l'impédance harmonique équivalente du réseau vu du PCC, pour le rang harmonique h , prend la valeur suivante:

$$Z_h = (h U)^2 [(h^2 Q_{cond} - S_{sc1} - Q)^2 + h^2 P^2]^{-1/2}$$

et la fréquence de résonance est:

$$f_r = f_1 [(S_{sc1} + Q)/Q_{cond}]^{1/2}$$

où

f_1 est la fréquence du fondamental.

La Figure C.3 montre la variation de l'impédance Z_h en fonction de la fréquence, et de l'impédance du réseau uniquement due à X_r et X_t . Il est à noter que Z_h présente une amplification à la fréquence de résonance f_r par rapport à l'impédance du réseau seul. L'IEC TR 61000-3-6 donne des exemples d'impédance de réseau et des considérations sur les amortissements.

À certaines fréquences harmoniques, quand l'impédance du réseau est élevée et quand des courants harmoniques sont injectés aux fréquences correspondantes, des tensions harmoniques considérables apparaissent, comme on peut le constater en appliquant la loi d'Ohm. Il y a résonance entre les réactances et les condensateurs de réseau. Cela a diverses conséquences.

- a) Il y a un risque de surcharge des condensateurs, due aux surintensités les traversant, et due en particulier aux harmoniques haute fréquence.
- b) Il y a un risque de claquage aux bornes de ces condensateurs, dû aux tensions harmoniques importantes.

- c) Une tension harmonique élevée aux bornes d'une installation industrielle peut provoquer un fonctionnement anormal d'appareillages équipés d'une électronique sensible, et un échauffement anormal des enroulements des moteurs.
- d) L'apparition de tensions harmoniques produit des courants harmoniques dans le réseau de distribution et dans les installations des autres clients.

Il convient de veiller soit à réduire l'émission des sources de courant harmonique, soit à installer des filtres. L'emplacement des condensateurs dans un réseau industriel est de plus un facteur important dans l'apparition des résonances.

Les problèmes de résonance nécessitent souvent une analyse détaillée du réseau électrique avant de pouvoir les résoudre. Ces problèmes ne sont pas systématiques par nature, mais quand ils surviennent, ils ont souvent pour conséquence des dégâts sur l'équipement, sans parler des effets de vieillissement accéléré.

L'analyse présentée ici est limitée à un seul circuit de compensation de puissance réactive. Il est à noter que la multiplication de tels circuits dans un réseau augmente les risques de résonance.

C.1.5 Méthodes de filtrage

C.1.5.1 Critères

Le présent document ne prend pas en considération le filtrage d'une installation. L'application aux EUT présente des difficultés similaires à celles rencontrées dans le filtrage d'une installation. De plus, l'analyse développée en C.1.4.2, C.1.4.3 et C.1.4.4 à propos de la compensation de puissance réactive pourrait être suivie selon une approche similaire, et aboutir à des conclusions analogues car seuls les critères de base sont spécifiques.

Il convient de filtrer si un niveau de distorsion trop élevé du côté haute tension peut être attendu. Le niveau de distorsion de la tension est évalué conformément aux Articles B.3 et B.4. Les caractéristiques conventionnelles d'émission harmonique issues d'un EUT particulier à filtrer sont connues, c'est-à-dire que les niveaux des courants harmoniques sont connus. Mais cette caractéristique n'est pas suffisante pour définir un filtre.

Un filtre est généralement un équipement connecté au réseau et présentant une impédance très faible aux fréquences particulières qui sont filtrées. Par conséquent, le filtre absorbe les courants harmoniques à ces fréquences particulières. Cependant, il n'y a aucune distinction entre le courant harmonique venant du PDS, dont le passage préférentiel de basse impédance est à travers le filtre (au lieu du réseau de plus forte impédance), et le courant harmonique provenant de la tension harmonique présente sur le réseau. Ce dernier courant n'est limité que par la somme de l'impédance harmonique du réseau et de l'impédance du filtre (voir la Figure C.4). De cet examen, il ressort que le dimensionnement d'un filtre est une affaire plutôt complexe qui exige la connaissance de trois paramètres fondamentaux:

- le courant à filtrer, dont l'origine est l'EUT (de la responsabilité du fabricant de l'EUT);
- la tension harmonique existante (les niveaux de compatibilité pourraient être choisis, mais cela conduirait généralement à surdimensionner le filtre);
- l'impédance harmonique au PC (de la responsabilité de l'opérateur du réseau de distribution, qui est l'utilisateur à l'intérieur de l'usine en cas d'IPC, ou l'opérateur du réseau public de distribution en cas de PCC).

La conception de tels filtres exige un échange d'informations entre le fournisseur du système et l'utilisateur.

Il est important de noter que connaître la tension harmonique n'est d'aucune utilité si l'impédance harmonique est inconnue. Souvent, des mesures préliminaires de tensions et d'impédance sont nécessaires pour pouvoir assurer un dimensionnement correct du filtre.

Enfin, le risque de résonances multiples est à noter, pour des raisons similaires à celles développées en C.1.4.4.

C.1.5.2 Filtres passifs

Les filtres les plus traditionnels sont les circuits résonnants (réactances et condensateurs en série) ou des circuits d'amortissement par adjonction de résistances ou de structures plus complexes ajoutant des pôles et des zéros à l'impédance du filtre.

Un filtre présente une impédance très basse à une fréquence particulière qui est un multiple de la fréquence du réseau. Une batterie de filtres utilisant différents circuits résonnants en parallèle assure le filtrage des rangs harmoniques 5, 7, 11 et 13 par exemple (voir la Figure C.4). Ils peuvent également inclure des circuits passe-haut. Ils sont conçus pour une fréquence fixe et, en particulier quand ils sont peu amortis, leur efficacité dépend de la stabilité de la fréquence du réseau.

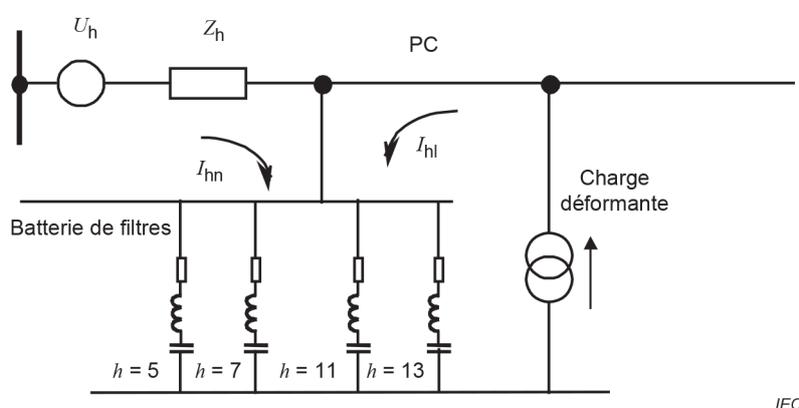


Figure C.4 – Exemple de batterie de filtres passifs

Il est à noter que le filtrage des interharmoniques exige des filtres amortis, et n'est efficace que dans une bande de fréquences étroite.

Deux phénomènes principaux aggravant le risque de résonances sont mis en exergue.

- Une résonance existe généralement à une fréquence un peu plus basse que la fréquence d'accord. Il est nécessaire de vérifier qu'elle n'affecte pas le contrôle d'ondulation ou la signalisation réseau qui peuvent être utilisés sur le réseau. Le fabricant ne connaît pas le détail de la transmission de signaux déployée sur le site de l'utilisateur. Il convient par conséquent que l'utilisateur, assisté de l'opérateur du réseau de distribution, informe le fabricant de la possibilité de telles répercussions sur la signalisation réseau et des caractéristiques de la fréquence porteuse.
- Le filtrage de chaque EUT multiplie le risque de résonance, et le résultat peut affecter une grande partie de l'installation. Généralement, seule une analyse au cas par cas peut éliminer ces difficultés; c'est pourquoi il convient de préférer une compensation globale.

C.1.5.3 Emplacement du filtre

En cas de filtrage individuel, il convient de placer l'équipement de filtrage au plus près de l'EUT perturbateur.

Cependant, avec la méthode préférentielle de la compensation globale, il convient que l'emplacement et la structure du filtre soient choisis en fonction des paramètres de l'installation:

- sections naturellement découplées dans le réseau;
- autres EUT ou charges déformants associés à leurs caractéristiques d'émission, c'est-à-dire rayonnement conventionnel en courant harmonique;

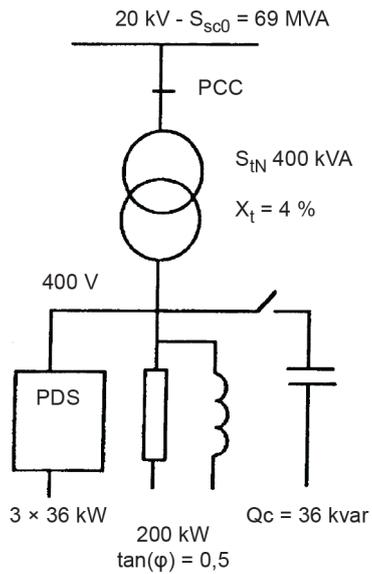
- impédances du réseau de distribution, en particulier présence de grandes longueurs de câble, ou de circuits de compensation de puissance réactive (voir C.2).

C.2 Puissance réactive et harmoniques

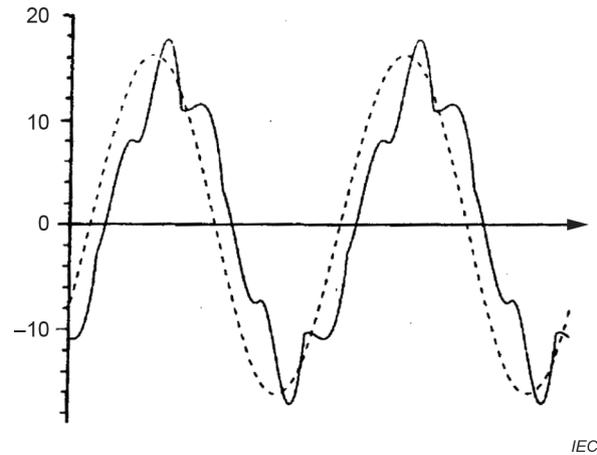
C.2.1 Méthodes usuelles d'atténuation dans l'installation

Comme indiqué en C.1.1, la compensation de puissance réactive et le filtrage des courants harmoniques sont des techniques étroitement liées; elles ne peuvent donc pas être correctement appliquées indépendamment l'une de l'autre.

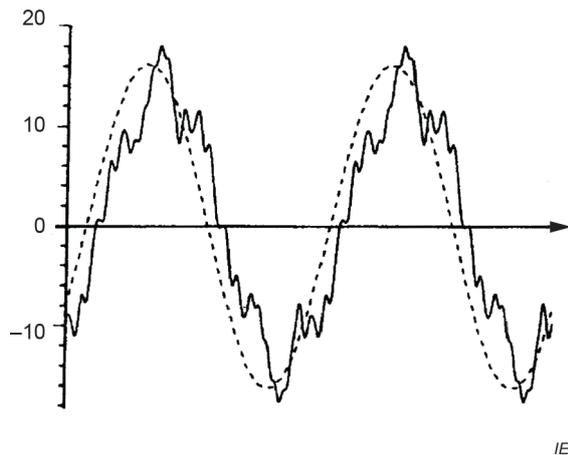
En se référant à C.1.4.4, il y a risque de résonance dès lors qu'un condensateur est raccordé à un réseau naturellement inductif. Les câbles électriques introduisent également des capacités dans un réseau. L'exemple représenté à la Figure C.5 a) représente un condensateur de compensation de puissance réactive. La Figure C.5 B) représente le courant au PCC lorsque le condensateur est déconnecté. Lorsque le condensateur est connecté, il y a davantage de courants harmoniques au PCC, comme représenté à la Figure C.5 c). Le courant harmonique dans le condensateur est lui aussi significatif, comme représenté à la Figure C.5 d).



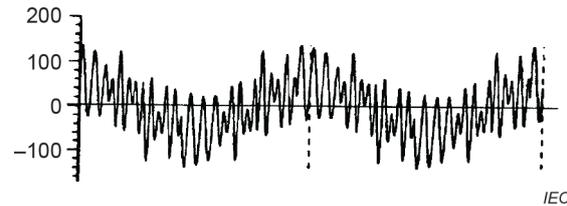
a) Schéma de circuit



b) Formes d'onde au PCC lorsque Q_c n'est pas connecté



c) Formes d'onde au PCC lorsque Q_c est connecté



d) Courant en Q_c

Légende

ligne continue courant en ampères

ligne discontinue tension phase-neutre en kV

Figure C.5 – Exemple de solution inappropriée de compensation de puissance réactive

Il peut être constaté à la Figure C.5, a) à d), que le problème est déjà complexe avec un seul condensateur et augmente avec le nombre de condensateurs utilisés pour compenser la puissance réactive. Dans un réseau, la multiplication des condensateurs pour le filtrage passif, mais également pour la compensation de puissance réactive, augmente le nombre potentiel des fréquences de résonance. Par conséquent, les meilleurs résultats sont obtenus avec une compensation globale, qui tient compte du réseau entier.

De plus, en procédant séparément au filtrage et à la compensation de puissance réactive, le risque d'en produire trop est accru. En fait, un filtrage passif efficace produit également une quantité significative de puissance réactive. L'étude simultanée des deux phénomènes donne

donc l'opportunité de définir une meilleure solution, en concevant un équipement optimal pour toute l'installation.

C.2.2 Autres solutions

C.2.2.1 Généralités

Le principal inconvénient des filtres passifs est souvent leur incapacité à s'adapter aux variations de réseau et aux dérives des composants des filtres (vieillesse, température, etc.). Un filtre passif est efficace si son impédance à une fréquence donnée est très faible en comparaison de celle de la source. Cependant, dans certains cas, la compensation devient difficile si l'impédance de source (c'est-à-dire du réseau) est faible ou si les caractéristiques de fréquence de filtre ne sont pas exactement accordées aux harmoniques générés par la charge. Mais, par-dessus tout, les problèmes les plus graves sont les résonances séries ou parallèles qui peuvent apparaître sur le réseau.

En conséquence, à la fois pour l'opérateur du réseau de distribution et/ou l'utilisateur, d'autres méthodes de compensation peuvent être exigées pour rendre optimale l'utilisation de l'énergie tirée du réseau. De nouvelles solutions, offrant de meilleures performances, sont à l'étude, et certaines ont déjà atteint l'étape industrielle. Ces solutions sont les filtres actifs de puissance et les EUT non déformants possédant un correcteur de facteur de puissance.

C.2.2.2 Filtres actifs

Tous les filtres actifs ont été développés en fonction des convertisseurs MLI actifs. Ils peuvent être décomposés en deux types, indépendamment de la topologie de configuration.

- Les convertisseurs à correction du facteur de puissance (PFC, Power Factor Correction), habituellement utilisés pour les applications à faible puissance. Ils n'ont aucune influence sur la puissance active et ne peuvent pas fonctionner comme des redresseurs. Ils fonctionnent en courant continu et sont installés en cascade avec des convertisseurs alternatif/continu.
- Les convertisseurs à alimentation active (AIC), souvent connus sous le nom de convertisseurs à étage d'entrée actif (AFE, Active Front End). Il s'agit de convertisseurs alternatif/continu qui peuvent transmettre la puissance active et influencer la puissance réactive. Les AIC fonctionnent dans quatre cadrans. Ils peuvent être classés en tant qu'onduleur à source de courant (CSI, Current Source Inverter) ou qu'onduleur à source de tension (VSI, Voltage Source Inverter). Les onduleurs à pont modulé CSI MLI se comportent comme une source de courant non sinusoïdal et présentent des harmoniques de courant liés aux charges non linéaires. Ils présentent une inductance sur le bus à courant continu qui assure la circulation continue du courant au sein de la liaison à courant continu. Les onduleurs CSI sont fiables; cependant, ils s'accompagnent de pertes importantes et exigent des filtres capacitifs de valeur supérieure utilisés en parallèle des bornes réseau, afin d'éliminer les courants harmoniques non recherchés. Les onduleurs CSI ne peuvent en outre pas être utilisés en configuration multiniveau pour une compensation haute puissance. L'autre type d'onduleur AIC correspond aux onduleurs VSI MLI modulés. Cet onduleur est plus adapté aux applications de filtrage actif de puissance. Il est en effet plus léger, plus économique et extensible à des versions multiphasées et multiniveaux, ce qui permet d'améliorer la performance de correction du facteur de puissance, pour des puissances supérieures et des fréquences de commutation inférieures. L'onduleur à dérivation modulée VSI MLI peut être connecté au bus à courant continu par l'intermédiaire d'un réacteur de couplage et d'un condensateur électrolytique qui maintient une tension constante sans ondulation à son extrémité. Les filtres actifs peuvent être classés en fonction du type de convertisseur, du schéma de contrôle et des caractéristiques de compensation.

D'un point de vue topologique, les filtres actifs peuvent être à dérivation, série ou hybrides; dans ce cas, il s'agit d'une combinaison de compensation passive et active. Les filtres actifs à dérivation sont utilisés pour compenser les courants harmoniques, la puissance réactive et les charges déséquilibrées.

Pour compenser les courants harmoniques, les filtres actifs à dérivation, représentés à la Figure C.6 a), injectent des courants harmoniques opposés dans une mesure équivalente. Dans ce cas, le filtre actif fonctionne comme une source de courant qui injecte des composantes harmoniques déphasées à 180° par rapport à celles générées par la charge. Les composantes des courants harmoniques sont alors éliminées par le filtre actif et le courant en provenance de la source (générateur en courant alternatif) reste sinusoïdal et en phase avec la tension phase-neutre en courant alternatif. Ce principe s'applique à n'importe quelle charge considérée comme source d'harmoniques. Avec un système de contrôle de ce type, le filtre actif de puissance peut en outre également compenser le facteur de puissance de la charge. Le système de distribution d'énergie considère la combinaison de la charge non linéaire et du filtre actif comme une résistance parfaite.

Les filtres actifs de type série, représentés à la Figure C.6 b), sont connectés en série entre la charge et le réseau. Les filtres actifs série sont fréquemment connectés à un système de couplage de type transformateur.

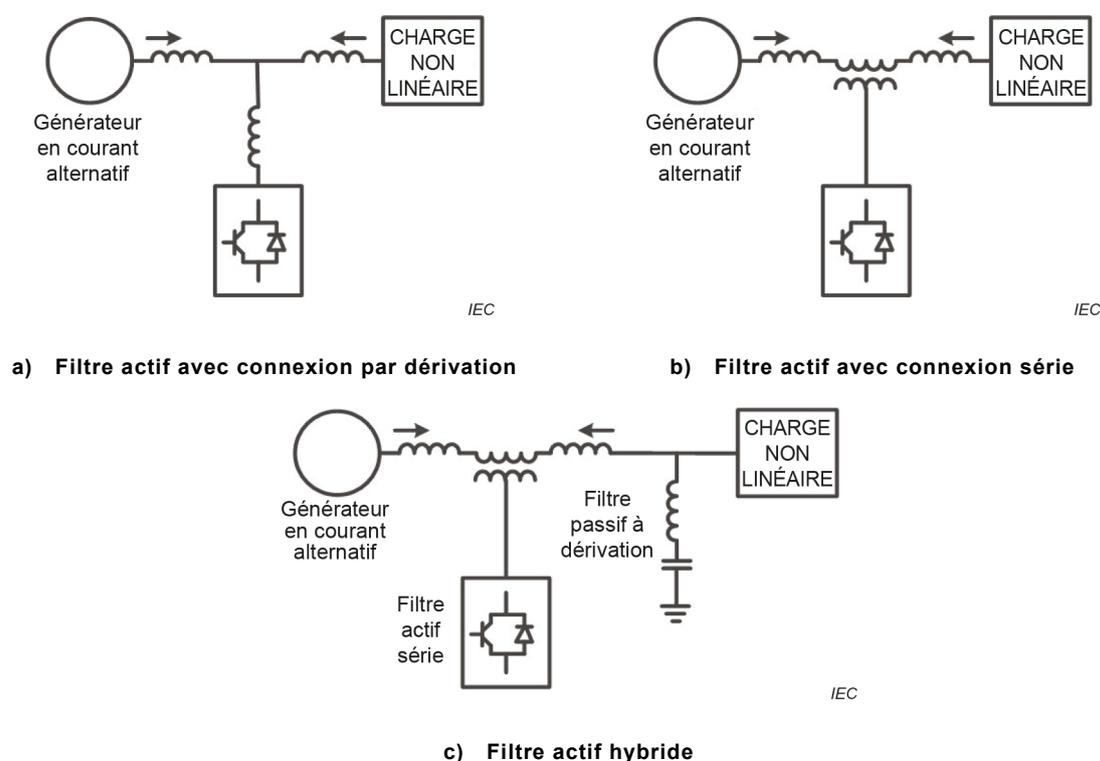


Figure C.6 – Topologies de filtre actif VSI MLI

La configuration hybride, représentée à la Figure C.6 c), correspond à une combinaison d'un filtre actif série et d'un filtre passif à dérivation. Cette topologie est adaptée à la compensation de puissance réactive des systèmes à puissance élevée. En effet, la puissance assignée du filtre actif (en tant que PFC) correspond à un petit pourcentage (10 % environ) de la puissance assignée de la charge. Le filtre hybride est majoritairement constitué de la bobine et du condensateur (LC) du filtre passif à dérivation, utilisés pour compenser les harmoniques de rang inférieur et la puissance réactive.

Le filtre actif dédié à la compensation des harmoniques et à la réduction du déphasage se situe, indépendamment de la connexion, entre le réseau et la charge non linéaire. Il est généralement constitué d'un convertisseur de commutation installé entre le redresseur d'entrée et le condensateur de stockage. Le contrôle est exécuté de sorte que le courant d'entrée suive la tension d'entrée. Le convertisseur élévateur s'inscrit comme le type de circuit de commutation le plus massivement utilisé. Cela ne signifie pas que le convertisseur fonctionne en mode élévateur, mais seulement que le circuit est de type élévateur. Voir la Figure C.7.

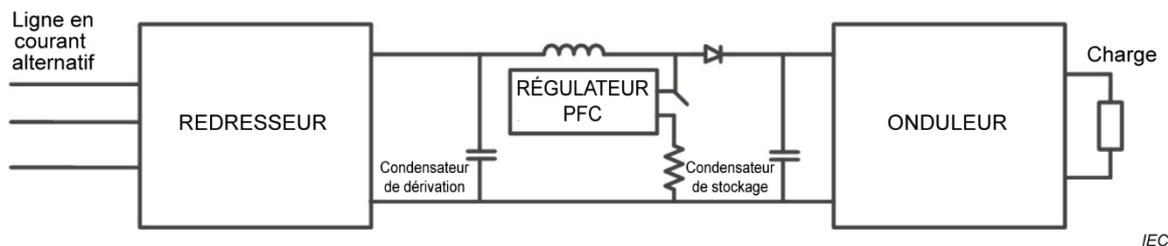


Figure C.7 – Convertisseur en mode élévateur

Le PFC modifie une forme d'onde distordue afin d'établir un courant sinusoïdal en phase avec la tension d'entrée. Il existe différentes techniques pour obtenir une forme d'onde sinusoïdale pour un courant d'entrée à faible distorsion, c'est-à-dire à faible résidu harmonique.

Dans le circuit élévateur du PFC, l'inductance est installée en série avec la ligne d'alimentation en courant alternatif. L'entrée de courant du bloc du redresseur ne constitue donc pas une forme d'onde d'impulsion. L'utilisation du PFC englobe la régulation active de la forme d'onde du courant d'entrée I_1 , le filtrage des fréquences de commutation, la détection rétroactive de la source de courant pour le contrôle de la forme d'onde et le contrôle rétroactif dédié à la régulation de la tension de sortie.

Un PFC actif offre une efficacité supérieure et se révèle nettement plus petit et léger qu'un filtre passif. Il peut en fait fonctionner à des fréquences de commutation supérieures aux fréquences de ligne, ce qui permet une réduction significative de la taille et du coût des composants du filtre passif.

C.2.2.3 Convertisseur à alimentation active

Le terme "convertisseur à alimentation active" (AIC) désigne un convertisseur de puissance installé côté réseau et qui comporte des composants de commutation, par exemple des IGBT. Outre le préamplificateur d'ondes actif, le système intègre une batterie de condensateurs à liaison à courant continu et un onduleur côté charge. Le préamplificateur d'ondes actif fonctionne comme un redresseur. Cependant, en mode de récupération, il peut agir comme un onduleur alimentant le réseau avec une énergie de récupération.

Au cours des périodes où l'énergie circule du réseau vers la charge, le convertisseur fonctionne comme un redresseur avec tension d'entrée en courant alternatif et tension de sortie en courant continu. Il agit comme un hacheur-élévateur, car la tension au niveau de la liaison à courant continu est susceptible d'être supérieure à la tension de crête du réseau en courant alternatif. L'exigence de tension constante au niveau de la liaison à courant continu s'applique tant au fonctionnement du redresseur qu'à celui de l'onduleur. La batterie de condensateurs peut être placée sur la liaison à courant continu pour réduire l'ondulation de la tension.

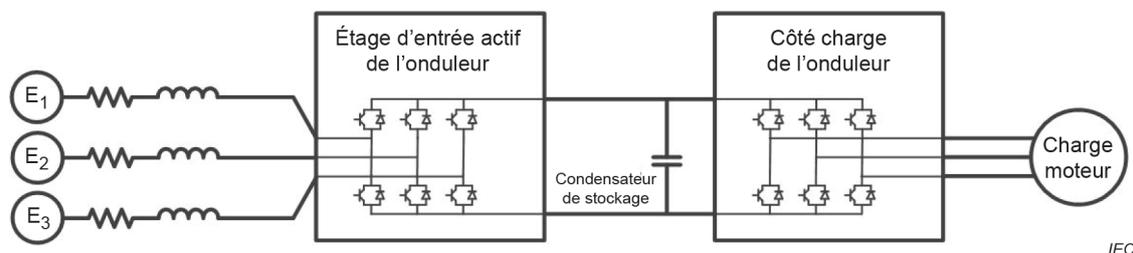


Figure C.8 – Système onduleur à étage d'entrée actif

La Figure C.8 représente un système avec les deux convertisseurs et l'inductance nécessaire aux opérations en mode élévateur côté ligne. Un filtrage supplémentaire peut être nécessaire côté réseau afin de satisfaire aux niveaux de compatibilité de la fréquence et des harmoniques de MLI (voir l'IEC TS 62578). Un AIC peut être considéré comme une source de tension

synchrone connectée par dérivation et un compensateur associé à un élément qui peut stocker de l'énergie, comme le condensateur de la liaison à courant continu. En raison de sa capacité à réguler l'énergie, l'AIC présente divers avantages qui lui permettent de maintenir les niveaux de compatibilité exigés par le réseau.

Ces fonctionnalités peuvent être résumées comme suit.

- La compensation maximale réalisable n'est limitée que par la valeur du courant maximal admis des commutateurs et par le rapport entre la tension en courant alternatif et la tension de la liaison à courant continu. L'AIC peut conserver la valeur maximale de la compensation réactive en volts-ampères et la tension souhaitée au niveau de la liaison à courant continu, y compris en présence de creux importants au niveau du réseau.
- L'AIC peut fonctionner sur l'ensemble de la plage d'intensités, y compris lorsque la tension est réduite. Il peut parfois supporter des tensions réseau réduites jusqu'à 20 %.
- De ce fait, avec l'élimination des harmoniques et la génération de courants réactifs, la marge de stabilité en cas de défaillance augmente.
- Le temps de réponse d'un AIC qui agit comme un compensateur peut correspondre à une fraction de demi-cycle (10 ms). Par comparaison, le temps de réponse dynamique des thyristors contrôlés dure entre 5 cycles et 6 cycles.
- La stratégie de contrôle permet à l'AIC d'échanger les puissances actives et réactives entre le système et la ligne à courant alternatif.
- En raison de sa capacité à échanger la puissance active, l'AIC peut être utilisé pour réguler l'amortissement des oscillations de l'enroulement secondaire d'un transformateur.

C.2.2.4 Application

Les coûts de tels systèmes représentent ou peuvent représenter une partie importante des coûts des charges déformantes qu'ils corrigent (PDS ou autres). Il convient de le considérer comme un investissement de fonctionnement, autant que d'entretien. Il est à noter que le fonctionnement génère des coûts avec l'augmentation des pertes, mais aussi des gains avec la diminution de la consommation de puissance réactive. Les coûts sont à comparer avec l'objectif technique qui n'autorise aucune alternative à l'obligation "d'assurer la CEM" (c'est-à-dire le respect des niveaux de compatibilité).

Par ailleurs, la compensation peut être globale, locale ou combinée, plus facilement qu'avec des solutions passives, puisque les risques de résonance sont réduits.

Enfin et surtout, ces solutions actives multiplient le nombre de commutations des dispositifs d'électronique de puissance, et sont responsables d'un accroissement des émissions haute fréquence.

La solution idéale n'existe pas, et il convient d'examiner tous ces éléments. Cependant, il convient de prendre en considération l'environnement particulier dans la recherche de la solution à un problème spécifique. Cet environnement particulier appartient à une classe générique mais il est précisé par la connaissance réelle des conditions industrielles spécifiques à chaque cas.

Annexe D (informative)

Considérations relatives aux émissions haute fréquence

D.1 Lignes directrices pour l'utilisateur

D.1.1 Émissions attendues sur les BDM/CDM/PDS/MT

D.1.1.1 PDS et ses composants

Dans les environnements industriels, ou sur les réseaux publics qui n'alimentent pas de bâtiments résidentiels, les utilisateurs d'entraînements ont une compétence technique générale, et sont avertis des phénomènes liés à la CEM.

Pour vendre les composants d'un entraînement, les fabricants ne peuvent pas être tenus d'intégrer des moyens d'atténuation des interférences radioélectriques, du fait qu'ils ne connaissent pas les conditions environnantes de l'installation finale. De plus, il convient que l'utilisateur des composants garde sa liberté de choix du point de vue économique, pour utiliser des méthodes de filtrage globales ou locales, la mise en œuvre d'écrans, l'atténuation naturelle par éloignement ou l'utilisation d'éléments parasites répartis dans l'installation existante, de manière à assurer la compatibilité électromagnétique au cas par cas.

D.1.1.2 Tension perturbatrice sur les bornes réseau

Les méthodes et les éléments de jugement quantitatif pour assurer la CEM sont bien décrits dans la partie normative du présent document. Les niveaux de tension perturbatrice sur les bornes réseau dans la plage de fréquences entre 150 kHz et 30 MHz constituent une information importante pour l'utilisateur d'un EUT non filtré qui souhaite évaluer les méthodes d'atténuation potentielles.

Les résultats représentés à la Figure D.1 ci-dessous reposent sur des mesures réalisées en 2012 sur les convertisseurs, notamment des PDS, de différents pays. Afin d'évaluer la plage des niveaux d'émissions qui peuvent être généralement obtenus, la plage de fréquences a été décomposée en trois sections courantes (CISPR 11:2015: 0,15 MHz à 0,50 MHz; 0,50 MHz à 5,0 MHz et 5,0 MHz à 30 MHz). Le niveau maximal de chaque EUT dans chaque partie a été considéré comme représentatif de cette bande. Le niveau maximal de chaque entraînement dans chaque partie a été considéré comme représentatif de cette bande. Les mesures ont été réalisées avec des détecteurs de quasi-crête. Différentes conditions de charge (faible charge et charge maximale), différentes tensions d'entrée assignées (400 V à 690 V) et différentes puissances assignées (75 kVA à 1 000 kVA) ont été relevées.

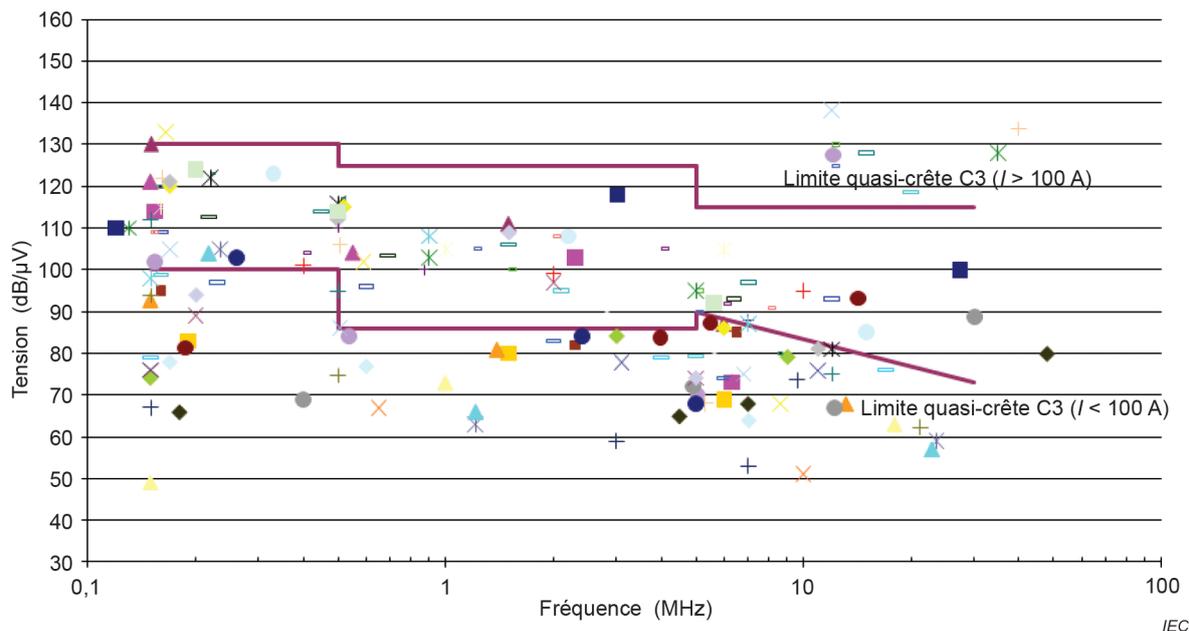


Figure D.1 – Émissions conduites, mesurées sur divers EUT non filtrés

Dans la plupart des cas, ces équipements fonctionnent sans aucune perturbation, mais il convient d'appliquer des méthodes d'atténuation (filtrage HF, par exemple) à proximité d'un radiorécepteur ou d'un appareillage sensible, comme pour les mesures de très basse tension.

D.1.1.3 Perturbations rayonnées

Les mesures des niveaux d'émissions rayonnées ont été peu exploitées en raison de l'absence de plaintes concernant cette bande de fréquences. Cependant, la Figure D.2 montre ce qui peut être attendu de l'équipement. Les résultats évalués représentent les mesures ramenées à des valeurs de crête à une distance de mesure de 10 m pour les EUT avec ou sans l'application de différentes méthodes d'atténuation.

Le prolongement des niveaux de tension perturbatrice prévisibles tirés de la Figure D.1 dans la bande supérieure à 30 MHz n'est qu'une approche grossière ayant très peu de valeurs significatives mais elle pourrait suffire à expliquer l'absence de plaintes. Comme représenté à cette figure, la valeur moyenne des émissions rayonnées au-dessus de 100 MHz, sans méthode d'atténuation, repasse souvent en dessous de la limite de la CISPR 11:2015.

Dans cette bande, l'approche analytique n'est pas présentée. Cela s'explique par le fait que les sources principales d'émissions rayonnées, dans la plupart des cas, sont les microprocesseurs ou certaines alimentations de circuits d'électronique de commande de l'équipement, et non l'électronique de puissance des convertisseurs.

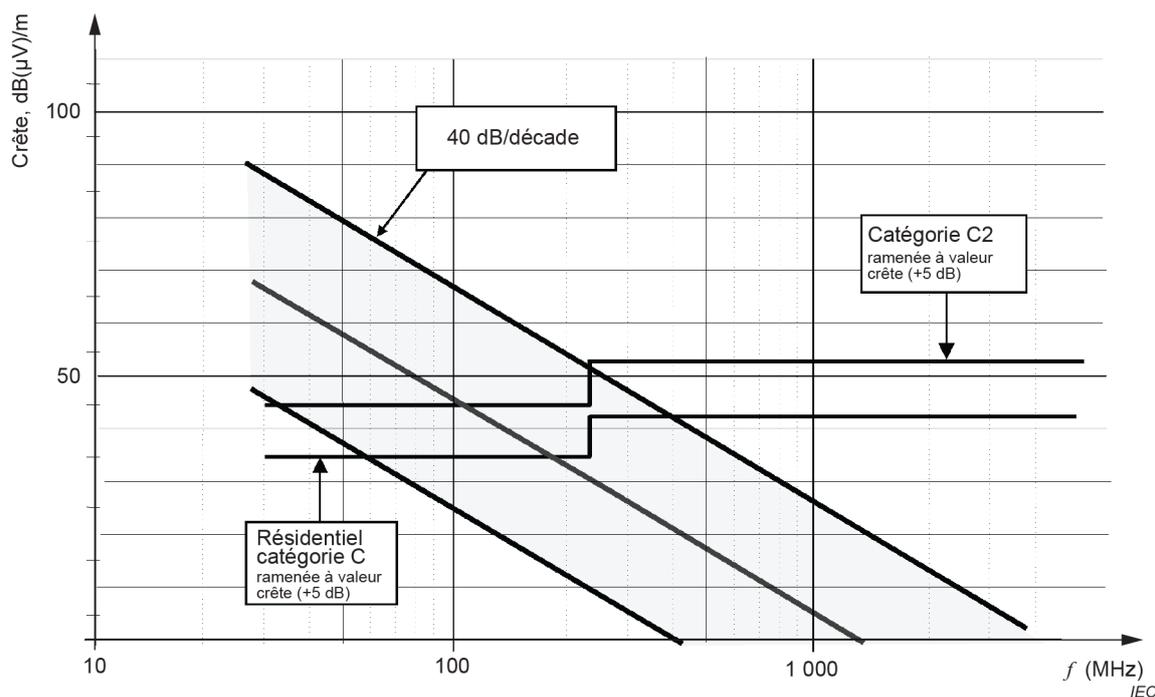


Figure D.2 – Émissions rayonnées prévisibles d'un EUT de tension assignée jusqu'à 400 V – Valeurs de crête normalisées à 10 m

D.1.1.4 Émissions à partir de l'interface de puissance

Les émissions à partir de l'interface de puissance sont principalement dues à la tension en mode commun. La tension en mode commun sur l'interface de puissance peut présenter un rapport dv/dt élevé. Ce taux élevé de dv/dt induit du courant dans la capacité répartie du câble et de la charge électrique (généralement, la charge électrique est constituée des enroulements de l'induit d'un moteur). Ces courants parasites reviennent à leur source par l'intermédiaire de la terre et du réseau d'alimentation ou des filtres d'entrée du convertisseur correspondant. Les émissions à partir de l'interface de puissance sont donc liées à la tension perturbatrice mesurée sur l'accès de puissance.

D.1.2 Lignes directrices

D.1.2.1 Réseau public basse tension

Les effets potentiels des perturbations produites par un EUT dépendent de l'environnement dans lequel il est utilisé.

Dans certains pays, les petits locaux destinés au commerce ou à l'industrie légère peuvent être alimentés par un réseau public basse tension qui alimente aussi les locaux résidentiels. Dans ce type de réseau, il n'y a aucun isolement galvanique entre les bornes triphasées d'entrée de l'EUT d'un local commercial ou de l'industrie légère, et la prise secteur d'un local résidentiel.

Quand un EUT non filtré est directement connecté à un réseau public basse tension qui alimente des locaux résidentiels, il y a un risque significatif de perturbation de la réception radio et radiotélévisée. Dans cet environnement, il est fortement recommandé de filtrer l'entrée de l'alimentation de l'EUT. Il convient donc que l'utilisateur choisisse un EUT qui respecte les limites appropriées données en 6.4.

D.1.2.2 Environnement industriel

Dans un environnement industriel non alimenté par un réseau public basse tension, l'usage courant depuis de nombreuses années est d'utiliser des EUT non filtrés. En général, ceux-ci fonctionnent correctement et ne perturbent pas les autres équipements. Cela est démontré par

l'absence de plaintes relatives aux brouillages radioélectriques en environnement industriel. Par conséquent, ils sont compatibles.

Si des problèmes apparaissent malgré tout, ils sont probablement dus aux perturbations conduites générées par l'EUT. Ces perturbations se propagent le long de la ligne d'alimentation et du câble moteur, et peuvent être couplées à un autre équipement par conduction, par couplage inductif ou capacitif, ou par rayonnement.

Des problèmes peuvent se présenter si un EUT non filtré est utilisé à proximité immédiate d'équipements particulièrement sensibles. Cependant, un EUT peut ne pas être la seule source de perturbation, et l'équipement sensible est habituellement de puissance plus faible que celle de l'EUT. Par conséquent, il peut être plus économique d'améliorer l'immunité de l'équipement sensible plutôt que de filtrer les émissions de l'EUT.

Les problèmes sont généralement évités en suivant des lignes directrices normales d'installation, comprenant la séparation entre les câbles de puissance et ceux de signal. Si ces mesures sont insuffisantes, il convient d'améliorer l'immunité de la victime, ou de réduire les émissions de l'EUT, selon la solution qui paraît la plus économique.

Des dégâts sur l'équipement sont susceptibles de se produire si un filtre CEM conçu pour l'entrée réseau de l'équipement est connecté sur l'interface d'alimentation entre le BDM/CDM et le moteur. Il est possible que les condensateurs de ce filtre soient endommagés par les fronts rapides de commutation présents aux bornes du variateur de cette interface.

Si un câble blindé ou armé est utilisé pour le raccordement entre le variateur et le moteur, sans filtrer l'entrée du variateur, le couplage dû au câble moteur diminue mais les perturbations conduites dans le réseau augmentent à cause de la capacité du câble armé. Par conséquent, si un câble blindé ou armé est utilisé entre le variateur et le moteur pour résoudre un problème de CEM, il convient de filtrer l'entrée réseau du BDM/CDM. Cependant, en diminuant le plus possible la longueur du câble moteur, une réduction des émissions rayonnées par ce câble est généralement observée.

Le filtrage pouvant causer des problèmes de sécurité dans les réseaux isolés, la seule solution dans ce cas est de s'assurer que les autres équipements ont une immunité suffisante pour cet environnement. Dans le cas de réseaux avec une phase reliée à la terre (systèmes dits "corner grounded" dans certains pays), il convient de dimensionner les condensateurs de classe Y (phase-terre) pour la tension entre phases.

D.1.2.3 Catégories C1, C2 et C3

Il convient que le fabricant fournisse les informations nécessaires à l'utilisateur pour choisir la catégorie correcte d'émission et pour installer correctement l'équipement. Il convient que ces informations incluent des instructions claires sur l'installation de tout filtre livré en option. Il convient également d'indiquer si des câbles spéciaux sont exigés.

Les concepteurs d'équipements utilisent souvent les essais de tenue en isolement pour vérifier la qualité de leur câblage. Cependant, un filtre CEM est généralement moins apte à tenir cet essai que le convertisseur de puissance. Il convient donc que le fabricant fournisse à l'utilisateur des instructions claires à ce propos.

Si l'EUT est non filtré ou d'une catégorie d'émission élevée, il convient que le fabricant l'indique clairement dans la documentation utilisateur. Dans ce cas, il est exigé selon 6.5.1.1 et 6.5.1.3 que les instructions d'utilisation incluent une mention selon laquelle l'EUT est susceptible de provoquer des interférences dans un réseau public basse tension qui alimente des locaux résidentiels.

Il convient d'indiquer dans la notice utilisateur si l'EUT génère des encoches de commutation sur l'entrée.

En cas de difficultés, il convient que le fabricant propose la solution permettant de rendre l'EUT conforme à une catégorie d'émissions inférieure.

D.1.2.4 Catégorie C4

Dans ce cas, l'utilisateur a la compétence technique pour concevoir correctement l'installation du point de vue de la CEM. Il convient que le fabricant donne les informations relatives à la catégorie d'émissions de l'EUT.

L'utilisateur est capable de choisir correctement la combinaison entre la catégorie d'émissions et les moyens d'atténuation, qui permette d'obtenir la solution la plus économique pour l'installation.

D.2 Sécurité et filtrage RF sur les réseaux de puissance

D.2.1 Sécurité et courants de fuite

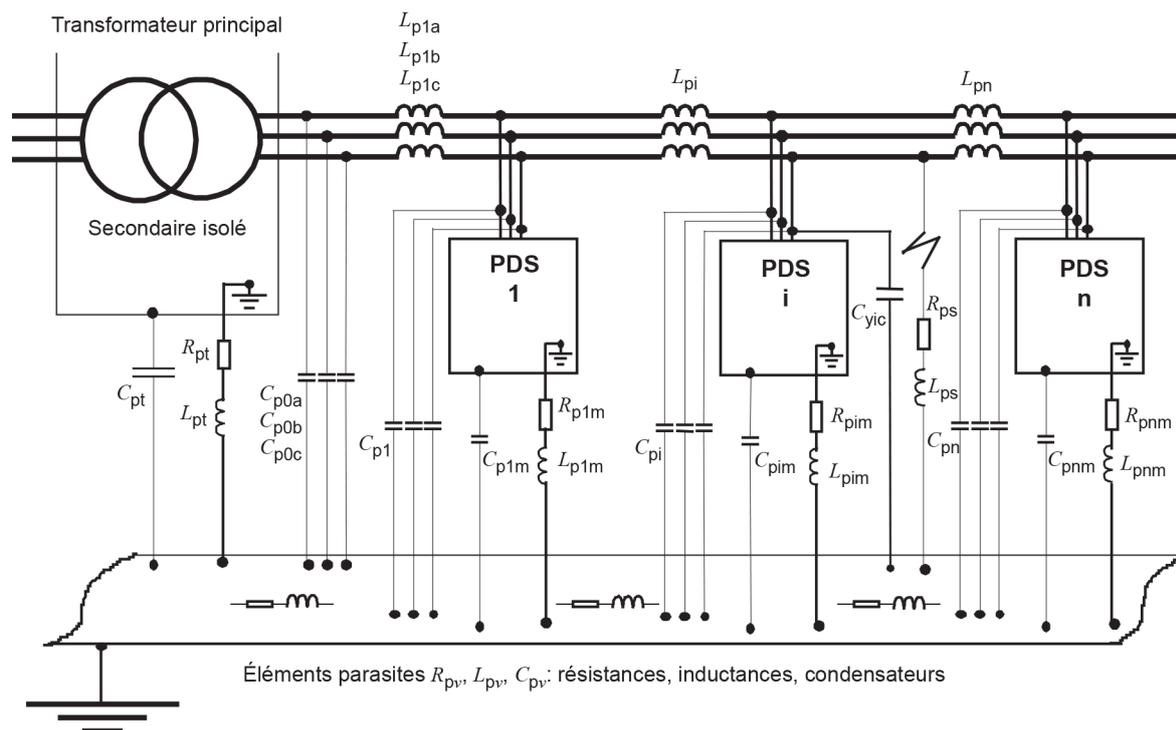
Le filtrage radiofréquence (RF) suffisant pour satisfaire à ces limites d'émission est bien connu dans l'état de l'art. Il est important de tenir compte du fait que les valeurs de capacité, et donc l'énergie mise en jeu, et finalement l'efficacité des condensateurs de type Y utilisés dans les filtres, sont limitées par les exigences des normes de sécurité, telles que l'IEC 60065 pour les appareillages raccordés par une prise, et l'IEC 61140 pour les équipements en général. Si le courant de fuite passant à la terre par ce condensateur de filtrage RF est trop élevé, l'efficacité des mesures de protection comportant des RCD ou RCM au sein de ces réseaux peut être compromise.

Les exigences de sécurité relatives au courant de fuite, y compris les exigences concernant les avertissements, sont indiquées dans l'IEC 61800-5-1.

D.2.2 Sécurité et filtrage RF sur un réseau isolé

Dans des processus complexes tels que les laminoirs, les tréfileries ou les calandres à papier, ainsi que les centrifugeuses et les équipements auxiliaires dans l'industrie du sucre, les équipements de grue et l'industrie chimique, il est utile, et conforme à l'état de la technique, d'utiliser un réseau de distribution de puissance IT. Même si, par exemple, les moteurs sont installés à l'extérieur du bâtiment et sont exposés à une forte humidité, il peut être nécessaire de continuer la production malgré un défaut d'isolement à la terre. Ce défaut d'isolement est détecté par un contrôleur permanent d'isolement (CPI) qui peut être associé à un système de localisation de défauts d'isolement (IFLS, Insulation Fault Location System) conforme à l'IEC 61557-9. Cette mesure permet au processus complet de se poursuivre en toute sécurité jusqu'au prochain arrêt normal d'entretien.

Ces "principes de sécurité appliqués au processus" dans les installations industrielles pourraient être perturbés par un grand nombre d'éléments parasites, comme représenté à la Figure D.3, et par exemple par les capacités parasites C_{pv} entre le réseau et la terre. La capacité résultante est la somme de toutes les capacités parasites et de celles des condensateurs de type Y. La somme de tous les C_{pv} peut atteindre des valeurs de plusieurs microfarads. Tout système de filtrage RF ferait passer cette capacité par rapport à la terre à une valeur extrêmement élevée, en raison du nombre important de condensateurs de type Y nécessaires (par exemple n fois les condensateurs C_Y). Avec l'augmentation de cette capacité, il deviendrait de plus en plus difficile, et finalement impossible, de détecter correctement un défaut d'isolement.



Plusieurs PDS fonctionnent simultanément dans un processus complexe avec une alimentation isolée répartie.

IEC

Figure D.3 – Sécurité et filtrage

Avec les dispositifs de filtrage RF (C_y), tout défaut d'isolement à la terre provoque la circulation de courants très élevés dans les semiconducteurs du PDS. Ces conditions sont équivalentes à celles d'un court-circuit dans le réseau de terre, pour tout défaut en sortie. Cela conduit à un déclenchement des dispositifs électroniques de protection d'urgence, et enfin à un arrêt intempestif du processus avec des conséquences économiques imprévisibles.

C'est pourquoi le filtrage RF n'est pas compatible avec les réseaux d'alimentation isolés appliqués à des processus répartis, et par conséquent n'est pas étudié dans les exemples mentionnés ci-dessus. Par ailleurs, il peut s'avérer qu'un filtrage RF ne soit pas très efficace sur ces réseaux, parce que le chemin de retour du courant perturbateur vers la source perturbatrice, sur les réseaux isolés, est uniquement capacitif. Il est difficile à définir ou à calculer à cause des résonances avec les inductances parasites de ligne L_{pv} . Enfin, un accroissement des courants perturbateurs circulant à travers quelques condensateurs C_y par ce chemin moins bien défini pourrait conduire à des interférences avec d'autres équipements travaillant sur le même réseau d'alimentation.

Annexe E (informative)

Analyse CEM et plan CEM pour EUT de catégorie C4

E.1 Généralités – Analyse CEM du système appliquée aux EUT

E.1.1 Environnement électromagnétique

E.1.1.1 Généralités

À la suite de la classification des emplacements et catégories d'équipement (voir définitions en 3.3), une description plus détaillée et adaptée peut être réalisée. Différentes approches peuvent être utilisées pour décrire l'environnement électromagnétique (environnement EM). Il convient de définir les caractéristiques générales de l'environnement sur lesquelles peuvent être basés les niveaux de compatibilité. Si une étude de compatibilité électromagnétique est à réaliser sur un système, il convient d'examiner les caractéristiques d'immunité de l'équipement, ainsi que les règles de conception, d'installation, de séparation physique, de filtrage et de blindage.

En fonction des types d'EUT, des classes particulières d'environnement peuvent être déterminées.

E.1.1.2 Modélisation générale

Un système se compose de plusieurs sous-systèmes. Les dispositifs existants (sous-systèmes) peuvent avoir deux fonctions: émission et/ou susceptibilité (Figure E.1).

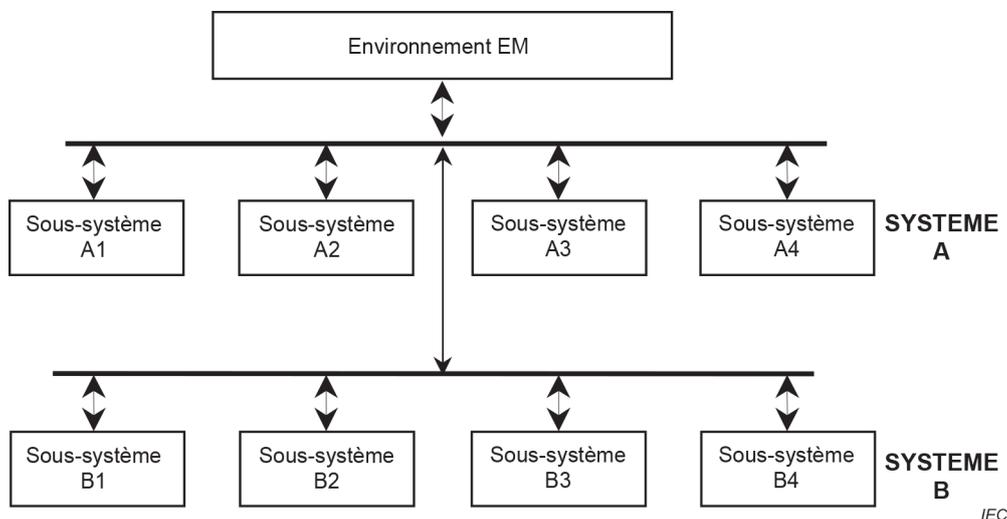


Figure E.1 – Interaction entre les systèmes et l'environnement EM

Les éléments émetteurs déterminent l'environnement électromagnétique. L'émission peut atteindre les éléments susceptibles par différents types de couplages. Les interactions générales sont définies entre le sous-système i et le sous-système j , et entre le sous-système i et son environnement. Ces interactions sont déterminées avec une modélisation de couplage utilisant divers types de couplages (couplage par impédance commune, couplage par induction, et rayonnement – voir le Tableau E.1).

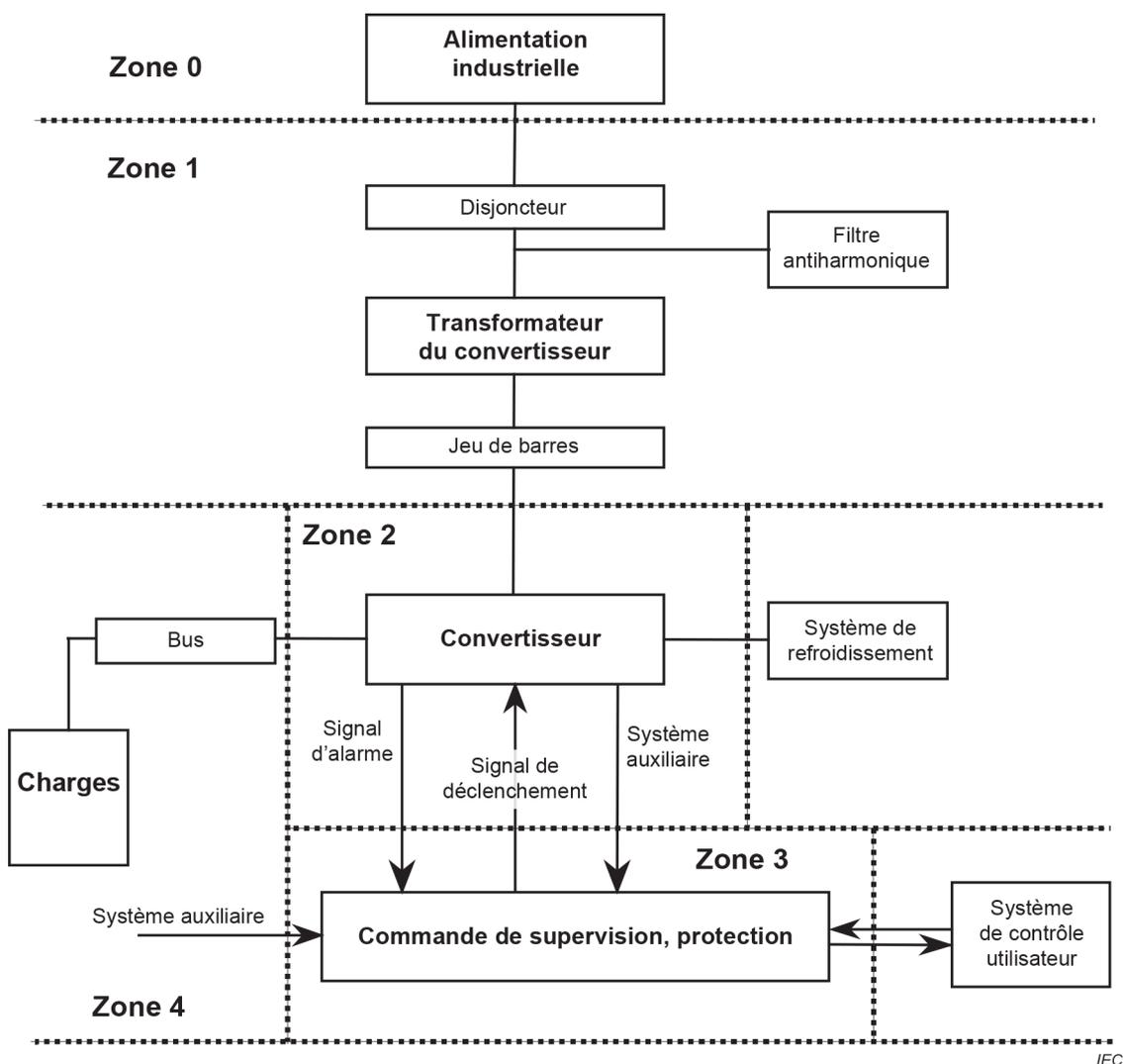
Cette modélisation aide à définir les différents problèmes de CEM et les limites spécifiques. La Figure E.1 et le Tableau E.1 fournissent des exemples.

E.1.2 Techniques d'analyse CEM du système

E.1.2.1 Concept de zone

Il convient de conduire l'analyse CEM d'un système en tenant compte des caractéristiques des signaux de chaque sous-système, des niveaux d'immunité contre le bruit des circuits critiques, des essais d'évaluation technique, et de l'environnement électromagnétique opérationnel. Il convient de développer, aussi souvent que nécessaire, des modèles de sources (émetteurs), de récepteurs, d'antennes, ou de voies de propagation et chemins de couplage. L'objectif de l'analyse CEM est d'aider au développement d'exigences et procédures de conception pour s'assurer que le système d'entraînement satisfait aux exigences de CEM.

Il convient qu'un concept de zone pour les entraînements ou machines-outils repose sur l'environnement électromagnétique opérationnel et sur la susceptibilité des sous-systèmes et des équipements. Il convient de définir des critères de performance (de qualification) spécifiques à chaque zone avant chaque essai CEM. Il convient que ces critères déterminent la procédure utilisée pour la performance de l'entraînement pendant l'essai d'immunité, et pour détecter les dysfonctionnements ou les écarts par rapport aux exigences de la spécification. Il convient que les critères de performance (de qualification) d'un sous-système (ou équipement) particulier soient inclus dans la procédure d'essai CEM applicable. Le concept de zone est représenté à la Figure E.2.

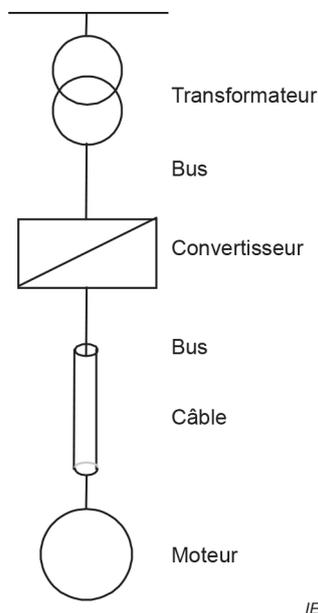


IEC

Figure E.2 – Concept de zone

E.1.2.2 Interfaces

Le Tableau E.1 donne des exemples d'interfaces de puissance entre les sous-systèmes de l'EUT (comme représenté à la Figure E.3) et des types d'interférences (conduites, rayonnées) associés.



IEC

Figure E.3 – Exemple d'entraînement

Tableau E.1 – Interaction EM entre les sous-systèmes et l'environnement

Sous-systèmes sources EM	Sous-systèmes susceptibles				
	Environnement	Transformateur	Convertisseur	Câble	Moteur
Environnement	N/A	CI	CI Rad.	CI	CI
Transformateur	CI E, H, Rad.	N/A	CI	N/A	N/A
Convertisseur	CI Rad.	CI	N/A	CI	N/A
Câble	CI Rad.	Rad.	CI Rad.	N/A	CI
Moteur	Rad.	N/A	CI	CI	N/A
NOTE Modèle de couplage:					
– couplage par impédance commune		– couplage par induction			
CI: couplage à la fois résistif et réactif		E: couplage par champ électrique			
N/A: non applicable		H: couplage par champ magnétique			
		Rad: couplage par rayonnement			

E.1.2.3 Équipement

Il convient de déterminer les caractéristiques électromagnétiques de chaque équipement (émission, immunité) et la zone à laquelle il appartient.

Lorsqu'un plan CEM est exigé, le formulaire de l'Article E.2 peut être utilisé.

NOTE Ce plan est basé sur l'IEC TR 61000-5-1.

Ce plan CEM couvre l'utilisation d'un EUT dans une installation spécifique. Il a pour finalité d'effectuer une analyse CEM au niveau de l'installation. Les mesures permettant d'obtenir la compatibilité électromagnétique sont définies sur la base de cette analyse CEM.

E.2 Exemple de plan CEM

E.2.1 Données et description du projet

Le plan CEM reflète l'accord et l'échange d'informations techniques entre l'utilisateur et le fabricant. Il convient de définir les responsabilités respectives du fabricant de l'EUT, de l'installateur et de l'utilisateur. Ce plan CEM est établi conjointement par ces trois parties. Toute question ne relevant pas de l'application spécifique pourra être omise.

Le plan CEM se compose de deux parties:

- l'Article E.2 définit les clauses sur lesquelles il convient normalement de s'entendre;
- l'Article E.3 définit les clauses supplémentaires pouvant s'avérer nécessaires dans certains cas.

NOTE La notation N/A est utilisée si l'exigence n'est pas applicable. Une explication est fournie dans ce cas.

L'exemple proposé ci-dessous comporte des questions, dont les réponses peuvent constituer un plan CEM.

Nom du fabricant/fournisseur
 Nom de l'utilisateur final
 N° de commande Date

Type d'installation (par exemple, usine chimique, machine à papier, machine-outil)
 Application (par exemple, pompe, ventilateur, convoyeur, presse de fromage)
 Personne(s) responsable(s) de la CEM

E.2.2 Analyse de l'environnement électromagnétique

E.2.2.1 Informations relatives à l'installation

Emplacement de l'installation

Description du voisinage (proche de l'environnement industriel dans lequel l'EUT est installé)
 Environnement résidentiel Environnement commercial ou de l'industrie légère Environnement industriel
 Distance séparant le bâtiment/le local de l'EUT d'un environnement résidentiel: mètres
 Distance séparant le bâtiment/le local de l'EUT d'environnements non résidentiels:..... mètres

Construction du bâtiment et du local

Type de matériau (bois, brique, béton, acier, aluminium, etc.)
 Armature (acier, etc.) Oui..... Non
 Présence d'un local consacré au système Oui..... Non

Plan du local

Tracer le plan du local à l'échelle la plus fine possible. Indiquer tous les éléments essentiels: fenêtres, portes, etc.

E.2.2.2 Informations relatives au réseau et à la mise à la terreRéseau électrique

Système de distribution électrique pour l'EUT:

Identification du point de couplage (code d'identification pour tableau de distribution, contacteur ou transformateur)

Type de système de distribution (par exemple TN-C, TN-S; TT, IT).....

Type d'alimentation électrique pour l'EUT:

En étoile..... En triangle Nombre de phasesNombre de fils

Réseau de terre: connecté où et comment?

Schéma de câblage

Établir un schéma unifilaire du système de distribution électrique du site, depuis le transformateur du réseau jusqu'à l'EUT. Indiquer tous les transformateurs, les tableaux de distribution, etc. Indiquer également la tension nominale, la puissance assignée, la méthode de câblage et son cheminement, le nombre de conducteurs et la longueur approximative des câbles/jeux de barres concernés.

E.2.2.3 Informations relatives à la CEMMise à la terre de l'EUT

Terre de référence de l'EUT? En un point Maillée

Fournir un schéma de la liaison équipotentielle.

Blindage de l'EUT

Des coffrets blindés sont-ils utilisés pour les EUT? Oui..... Non

Description:

Des câbles blindés sont-ils utilisés? Oui..... Non.....

Description:

D'autres mesures sont-elles utilisées (par exemple conteneur)? Oui..... Non.....

Description (tenir compte également des moteurs et câbles):

Équipements sensibles aux fréquences radioélectriques dans l'installation

Dans le bâtiment ou près de l'installation, y a-t-il des équipements sensibles aux perturbations radioélectriques?

Oui..... Non.....

Description: (par exemple, commande et mesure de processus, bus de données, ordinateurs, etc.)

Distance approximative par rapport à l'EUT/câblage de l'EUT: ... mètres

Chemin de couplage le plus probable pour la perturbation: Conduite..... Rayonnée.....

Équipements sensibles aux fréquences radioélectriques à l'extérieur de l'installation

Y a-t-il des antennes de diffusion ou de réception visibles ou proches de l'installation?

Oui..... Non.....

Description (par exemple, radar, transmission radio/TV, radio amateur, micro-ondes ou autres):

Fréquence..... Distance par rapport à l'antenne mètres

Sur le site, utilise-t-on la Citizen Band (CB), des talkies-walkies, la communication sans fil, un système de commande à distance ou par synchronisation d'horloge?

Oui..... Non.....

Description:

E.2.3 Analyse CEM

E.2.3.1 Identifier les équipements ou systèmes les plus sensibles

Analyser les contraintes d'environnement électromagnétique pour l'installation.

E.2.3.2 Identifier les éléments de l'EUT les plus susceptibles de provoquer des perturbations

Analyser les contraintes d'environnement électromagnétique pour l'installation.

E.2.3.3 Les perturbations provenant de l'EUT risquent-elles de provoquer des dysfonctionnements des dispositifs énumérés en E.2.3.2 ?

Oui..... Non.....

Description:

E.2.4 Établissement des règles d'installation

E.2.4.1 Mise à la terre

Noter les recommandations du fabricant de l'EUT pour déterminer les règles d'installation. Pour assurer l'efficacité CEM de la mise à la terre, évaluer les points suivants:

- système de mise à la terre de l'EUT (en un point/maillée);
- liaison équipotentielle:
 - interconnexion des parties conductrices exposées;
 - interconnexion des structures métalliques de l'EUT avec le système de mise à la terre;
- qualité HF des connexions:
 - liaison métal/métal par attaches;
 - suppression de la peinture ou de tout autre matériau isolant si nécessaire;
- description (solutions CEM).

E.2.4.2 Câbles et raccordements

E.2.4.2.1 Choix du câble

Noter les recommandations du fabricant de l'EUT pour déterminer les règles d'installation. Pour assurer l'efficacité CEM de la mise à la terre, évaluer les points suivants:

- type de signal (par exemple, données numériques, MLI pour un moteur);
- conducteurs inutilisés;
- type de câble et type de blindage (le cas échéant);
- description (solutions CEM).

E.2.4.2.2 Cheminement

Noter les recommandations du fabricant de l'EUT pour déterminer les règles d'installation. Pour assurer l'efficacité CEM de la mise à la terre, évaluer les points suivants:

- séparation des câbles forte puissance, des câbles faible puissance, des câbles de signal;
- réduction des longueurs parallèles;
- distances de séparation;
- intersection de câbles à 90°;
- utilisation de conduits et de chemins de câble comme conducteurs de mise à la terre parallèle;
- positionnement du câble dans les chemins de câble;
- mise à la terre des chemins de câble;
- description (solutions CEM).

E.2.4.3 Blindage du coffret de l'EUT

Noter les recommandations du fabricant de l'EUT pour déterminer les règles d'installation. Pour assurer l'efficacité CEM de l'enveloppe, évaluer les points suivants:

- continuité de l'enveloppe métallique;
- dimension des logements et ouvertures;
- entrée de câble au travers de la plaque de référence de terre;
- connexion des blindages de câble sur la plaque de référence de terre (sur 360° de préférence);
- description (solutions CEM).

E.2.4.4 Transformateur dédié

Noter les recommandations du fabricant de l'EUT pour déterminer les règles d'installation. Pour assurer l'efficacité CEM du transformateur, examiner les dispositifs éventuels suivants:

- transformateur d'isolement dédié;
- transformateur avec blindage électrostatique;
- description (taille, emplacement).

E.2.4.5 Filtrage

Noter les recommandations du fabricant de l'EUT pour déterminer les règles d'installation. Pour assurer l'efficacité CEM du transformateur, examiner les dispositifs éventuels suivants:

- configurations de filtres RFI centralisés ou répartis;
- filtrage de la ligne de transfert des signaux;
- filtrage de l'interface de puissance si cela est approprié;
- description (solutions CEM).

E.2.4.6 Autres techniques d’atténuation

Noter les recommandations du fabricant de l’EUT pour déterminer les règles d’installation. D’autres techniques d’atténuation sont-elles nécessaires? Oui Non

Envisager l’utilisation des éléments suivants:

- séparation électrique des circuits;
- fibres optiques;
- isolement galvanique pour les lignes de données (par exemple, photocoupleurs, transformateurs);
- protection supplémentaire pour les appareils sensibles;
- description (solutions CEM).

E.2.5 Résultat formel et maintenance

Vérifier que l’installation est réalisée conformément aux règles d’installation définies.

Tous les détails respectent-ils les règles d’installation définies? Oui Non

Décrire toute action nécessaire pour corriger les défauts.

Définir les instructions permettant d’entretenir les caractéristiques CEM de l’installation (par exemple, mesures contre la corrosion, poussières qui peuvent réduire le contact entre la porte et le cadre, connexions desserrées).

Signature de la ou des personnes responsables de la CEM:

Date

Signature(s)

E.3 Exemple de supplément au plan CEM pour une application particulière

E.3.1 Analyse complémentaire de l’environnement électromagnétique

E.3.1.1 Distribution électrique depuis la sous-station de l’opérateur du réseau de distribution jusqu’au transformateur du réseau d’alimentation de l’installation

Les questions de l’Article E.3 sont liées à des facteurs externes à l’EUT, pouvant concerner la performance de CEM dans une application plus complexe.

Opérateur du réseau de distribution:

Distance approximative depuis la sous-station de l’opérateur du réseau de distribution la plus proche (si elle est connue):

Distribution électrique depuis la sous-station vers l’installation:

lignes aériennes	lignes enterrées	combinaison
description		

Caractéristiques du transformateur du réseau d’alimentation de l’installation: kVA

Entrée (primaire):	volts	nombre de phases
Type de connexion:	en triangle	en étoile

Description

E.3.2 Analyse CEM

E.3.2.1 Plan de fréquences

Étude des fréquences radioélectriques utilisées

Oui Non

Explication

Si oui, l'établissement d'un plan/tableau des fréquences peut clarifier la situation. Un exemple est donné ci-dessous dans le Tableau E.2.

Tableau E.2 – Analyse des fréquences

Équipement	Unité	Fréquence	Largeur de bande	Description de la source de fréquence	V	A	Forme d'onde	Type		Doc. de réf.
								Em	Im	
Onduleur N°1	Module IGBT	5 kHz		Fréquence de commutation de sortie	510		MLI	X		
Onduleur N°2	Module IGBT	5 kHz		Fréquence de commutation de sortie	510		MLI	X		
Onduleur N°1	Commande moteur	40 MHz		Horloge TTL	15		Horloge TTL	X		
Onduleur N°2	Commande moteur	40 MHz		Horloge TTL	15		Horloge TTL	X		
Onduleurs	Capteur de courant de sortie	1 kHz		Fréquence d'échantillonnage	0.03				X	
Équipement auxiliaire	Alimentation	200 kHz		Fréquence de commutation	230		Piquet	X		
Téléphone sans fil									X	
Radio professionnelle	Émetteur/récepteur							X	X	
Radio amateur	Émetteur/récepteur	144 MHz							X	
Em: émission Im: immunité Doc. de réf.: numéro de référence de la spécification de l'équipement										

Il convient d'analyser, pour les équipements mentionnés ci-dessus, les risques de dysfonctionnement dus à des perturbations émanant de l'EUT, et de déterminer des mesures adéquates.

E.3.2.2 Essais de CEM

Faire la liste des références des rapports d'essai de CEM.

Est-il nécessaire de procéder à d'autres essais CEM spécifiques?

Oui

Non

Si oui, il peut être nécessaire d'utiliser l'une des procédures suivantes:

- préparer un plan d'essai CEM (se reporter à l'analyse CEM);
- exécuter des essais CEM et rédiger les rapports d'essai.

Les résultats d'essai sont-ils acceptables?

Oui

Non

Description de toute action nécessaire pour corriger les défauts:

Bibliographie

- [1] Ancienne autorité responsable des télécommunications en Allemagne: Post disposition. J.O. 1045 – Décembre 1984 Annexe 1 – § 2⁴, N° 4
- [2] Ancienne autorité responsable des télécommunications en Allemagne: Post disposition J.O. 1046-1984, Annexe 1, § 6 & § 7
- [3] ENEL (Ente nazionale per l'energia elettrica, producteur d'énergie électrique italien), Spécification GLI (CEM) 07, Annexe A
- [4] T. Williams: "EMC for Product Designers" – Butterworth-Heinemann Ltd, Oxford, 1992
- [5] W. Graupner; Rolle, S.: "Funkstörspannungen leistungselektronischer Antriebe" – Symposium de la Société pour la Microélectronique (GME, Gesellschaft für Mikroelektronik) de la VDI, Francfort 1993
- [6] "Provisional Regulation for Harmonics in Electricity Distribution Systems." SD 126-84 [Chine]
- [7] "Grundsätze für die Beurteilung von Netzrückwirkungen." VDEW 1992 [Allemagne]
- [8] "Limitation des Perturbations Electriques dans les Réseaux Publics de distribution." ASE 3600-1-1987 et ASE 3600-1987/SNV4 3600-1 et -2 [Suisse]
- [9] Engineering Recommendation G5/5, juin 2020, *Harmonic voltage distortion and the connection of harmonic sources and/or resonant plant to transmission systems and distribution networks in the United Kingdom*, par Energy Networks Association [Royaume-Uni]
- [10] IEEE Std 519-2022, *IEEE Standard for harmonic control in electric power systems* (disponible en anglais seulement)
- [11] IEC 60034 (toutes les parties), *Machines électriques tournantes*
- [12] IEC 60038:2009, *Tensions normales de l'IEC*
- [13] IEC 60050-102, *Vocabulaire Électrotechnique International – Partie 102: Mathématiques – Concepts généraux et algèbre linéaire* (disponible à l'adresse www.electropedia.org)
- [14] IEC 60050-103, *Vocabulaire Électrotechnique International – Partie 103: Mathématiques – Fonctions*
- [15] IEC 60050-131, *Vocabulaire Électrotechnique International – Partie 131: Théorie des circuits* (disponible à l'adresse www.electropedia.org)
- [16] IEC 60050-151, *Vocabulaire Électrotechnique International – Partie 151: Dispositifs électriques et magnétiques* (disponible à l'adresse www.electropedia.org)
- [17] IEC 60050-161, *Vocabulaire Électrotechnique International – Partie 161: Compatibilité électromagnétique* (disponible à l'adresse www.electropedia.org)

⁴ Les règlements de [1] et [2] sont harmonisés avec la norme électrotechnique VDE 0875.

- [18] IEC 60050-411, *Vocabulaire Électrotechnique International – Partie 411: Machines tournantes*
- [19] IEC 60050-551, *Vocabulaire Électrotechnique International – Partie 551: Électronique de puissance* (disponible à l'adresse www.electropedia.org)
- [20] IEC 60050-614, *Vocabulaire Électrotechnique International – Partie 614: Production, transport et distribution de l'énergie électrique – Exploitation* (disponible à l'adresse www.electropedia.org)
- [21] IEC 60050-811, *Vocabulaire Électrotechnique International – Partie 811: Traction électrique*
- [22] IEC 60065:2014, *Appareils audio, vidéo et appareils électroniques analogues – Exigences de sécurité*
- [23] IEC TR 60146-1-2:2019, *Semiconductor convertors – General requirements and line commutated converters – Part 1-2: Application guidelines* (disponible en anglais seulement)
- [24] IEC 60146-1-1:2009, *Convertisseurs à semiconducteurs – Exigences générales et convertisseurs commutés par le réseau – Partie 1-1: Spécification des exigences de base*
- [25] IEC 60146-2:1999, *Convertisseurs à semiconducteurs – Partie 2: Convertisseurs autocommutés à semiconducteurs y compris les convertisseurs à courant continu directs*
- [26] IEC 60364-1:2005, *Installations électriques à basse tension – Partie 1: Principes fondamentaux, détermination des caractéristiques générales, définitions*
- [27] IEC TR 61000-2-1:1990, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 2: Environnement – Section 1: Description de l'environnement – Environnement électromagnétique pour les perturbations conduites basse fréquence et la transmission de signaux sur les réseaux publics d'alimentation*
- [28] 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 61000-2-2:2002/AMD1:2017
IEC 61000-2-2:2002/AMD2:2018
- [29] IEC TR 61000-2-3:1992, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 2: Environnement – Section 3: Description de l'environnement – Phénomènes rayonnés et phénomènes conduits à des fréquences autres que celles du réseau*
- [30] IEC TR 61000-2-5:2017, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 2-5: Environnement – Description et classification des environnements électromagnétiques*
- [31] 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*
- [32] IEC TR 61000-2-8:2002, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 2-8: Environnement – Creux de tension et coupures brèves sur les réseaux d'électricité publics incluant des résultats de mesures statistiques*

- [33] IEC 61000-2-12:2003, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 2-12: Environnement – Niveaux de compatibilité pour les perturbations conduites à basse fréquence et la transmission des signaux sur les réseaux publics d'alimentation à moyenne tension*
- [34] IEC TS 61000-3-5:2009, *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*
- [35] IEC TR 61000-3-6:2008, *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)*
- [36] IEC TR 61000-3-7:2008, *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)*
- [37] IEC 61000-4 (toutes les parties), *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 4: Techniques d'essai et de mesure*
- [38] IEC TR 61000-4-1:2016, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-1: Testing and measurement techniques – Overview of IEC 61000-4 series (disponible en anglais seulement)*
- [39] 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*
- [40] IEC 61000-4-8:2009, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 4-8: Techniques d'essai et de mesure – Essai d'immunité au champ magnétique à la fréquence du réseau*
- [41] IEC 61000-4-9:2016, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 4-9: Techniques d'essai et de mesure – Essai d'immunité au champ magnétique impulsionnel*
- [42] IEC 61000-4-10:2016, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 4-10: Techniques d'essai et de mesure – Essai d'immunité du champ magnétique oscillatoire amorti*
- [43] IEC TR 61000-5-1:1996, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 5: Guides d'installation et d'atténuation – Section 1: Considérations générales – Publication fondamentale en CEM*
- [44] IEC TR 61000-5-2:1997, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 5: Guides d'installation et d'atténuation – Section 2: Mise à la terre et câblage*
- [45] 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*
- [46] IEC 61000-6-2:2016, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 6-2: Normes génériques – Norme d'immunité pour les environnements industriels*
- [47] 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*

- [48] IEC 61000-6-4:2018, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 6-4: Normes génériques – Norme sur l'émission pour les environnements industriels*
- [49] IEC 61000-6-5:2015, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 6-5: Normes génériques – Immunité pour les équipements utilisés dans les environnements de centrales électriques et de postes*
- [50] IEC 61000-6-8:2020, *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*
- [51] IEC 61140:2016, *Protection contre les chocs électriques – Aspects communs aux installations et aux matériels*
- [52] IEC 61158 (toutes les parties), *Réseaux de communication industriels – Spécifications des bus de terrain*
- [53] IEC 61557-8:2014, *Sécurité électrique dans les réseaux de distribution basse tension de 1 000 V c.a. et 1 500 V c.c. – Dispositifs de contrôle, de mesure ou de surveillance de mesures de protection – Partie 8: Contrôleur permanent d'isolement pour réseaux IT*
- [54] IEC 61400-21-1:2019, *Systèmes de génération d'énergie éolienne – Partie 21-1: Mesurage et évaluation des caractéristiques électriques – Éoliennes*
- [55] IEC 61557-9:2014, *Sécurité électrique dans les réseaux de distribution basse tension au plus égale à 1 000 V c.a. et 1 500 V c.c. – Dispositifs de contrôle, de mesure ou de surveillance de mesures de protection – Partie 9: Dispositifs de localisation de défauts d'isolement pour réseaux IT*
- [56] IEC 61800-1:2021, *Entraînements électriques de puissance à vitesse variable – Partie 1: Exigences générales – Spécifications de dimensionnement pour systèmes d'entraînement de puissance à vitesse variable en courant continu et basse tension*
- [57] IEC 61800-2:2021, *Entraînements électriques de puissance à vitesse variable – Partie 2: Exigences générales – Spécifications de dimensionnement pour entraînements électriques de puissance à vitesse variable en courant alternatif*
- [58] IEC 61800-3:1996, *Entraînements électriques de puissance à vitesse variable – Partie 3: Norme de produit relative à la CEM incluant des méthodes d'essais spécifiques*⁵
- [59] IEC 61800-5-1:2007, *Entraînements électriques de puissance à vitesse variable – Partie 5-1: Exigences de sécurité – Électrique, thermique et énergétique*
IEC 61800-5-1:2007/AMD1:2016
- [60] IEC TS 62578:2015, *Systèmes et équipements électroniques de puissance – Conditions de fonctionnement et caractéristiques des convertisseurs à alimentation active (AIC), y compris les recommandations de conception pour leurs valeurs d'émission inférieures à 150 kHz*
- [61] CISPR 14-1:2020, *Compatibilité électromagnétique – Exigences relatives aux appareils électrodomestiques, aux outils électriques et aux appareils analogues – Partie 1: Émission*

⁵ Cette publication a été annulée.

- [62] CISPR 16-2-1:2014, *Spécifications des méthodes et des appareils de mesure des perturbations radioélectriques et de l'immunité aux perturbations radioélectriques – Partie 2-1: Méthodes de mesure des perturbations et de l'immunité – Mesures des perturbations conduites*
CISPR 16-2-1:2014/AMD1:2017
- [63] CISPR 16-2-3:2016, *Spécifications des méthodes et des appareils de mesure des perturbations radioélectriques et de l'immunité aux perturbations radioélectriques – Partie 2-3: Méthodes de mesure des perturbations et de l'immunité – Mesurages des perturbations rayonnées*
CISPR 16-2-3:2016/AMD1:2019
- [64] IEC Guide 107:2014, *Compatibilité électromagnétique – Guide pour la rédaction des publications sur la compatibilité électromagnétique*
- [65] ISO 14955-1:2017, *Machines-outils – Évaluation environnementale des machines-outils – Partie 1: Méthode de conception pour l'efficacité énergétique des machines-outils*
- [66] IEEE Standard 1284, *IEEE Standard signaling method for a bidirectional parallel peripheral interface for personal computers* (disponible en anglais seulement)
- [67] IEEE Standard 1394, *IEEE Standard for a high-performance serial bus* (disponible en anglais seulement)
- [68] CISPR TR 16-4-4:2007, *Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods – Part 4-4: Uncertainties, statistics and limit modelling – Statistics of complaints and a model for the calculation of limits for the protection of radio services* (disponible en anglais seulement)
CISPR TR 16-4-4:2007/AMD1:2017
CISPR TR 16-4-4:2007/AMD2:2020
- [69] IEC 60146-1-1:2009, *Convertisseurs à semiconducteurs – Exigences générales et convertisseurs commutés par le réseau – Partie 1-1: Spécification des exigences de base*
- [70] IEC 60050-171, *Vocabulaire Électrotechnique International – Partie 171: Technologies numériques – Concepts fondamentaux*
- [71] CISPR 11:—, *Appareils industriels, scientifiques et médicaux – Caractéristiques de perturbations radioélectriques – Limites et méthodes de mesure*⁶

⁶ En cours d'élaboration. Stade au moment de la publication: CISPR/NFDIS 11:2022.

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