

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC
1800-3**

Première édition
First edition
1996-06

**Entraînements électriques de puissance
à vitesse variable –**

**Partie 3:
Norme de produit relative à la CEM incluant
des méthodes d'essais spécifiques**

**Adjustable speed electrical
power drive systems –**

**Part 3:
EMC product standard including specific
test methods**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 1800-3: 1996

Validité de la présente publication

Le contenu technique des publications de la CEI est constamment revu par la CEI afin qu'il reflète l'état actuel de la technique.

Des renseignements relatifs à la date de reconfirmation de la publication sont disponibles auprès du Bureau Central de la CEI.

Les renseignements relatifs à ces révisions, à l'établissement des éditions révisées et aux amendements peuvent être obtenus auprès des Comités nationaux de la CEI et dans les documents ci-dessous:

- **Bulletin de la CEI**
- **Annuaire de la CEI**
Publié annuellement
- **Catalogue des publications de la CEI**
Publié annuellement et mis à jour régulièrement

Terminologie

En ce qui concerne la terminologie générale, le lecteur se reportera à la CEI 50: *Vocabulaire Electrotechnique International* (VEI), qui se présente sous forme de chapitres séparés traitant chacun d'un sujet défini. Des détails complets sur le VEI peuvent être obtenus sur demande. Voir également le dictionnaire multilingue de la CEI.

Les termes et définitions figurant dans la présente publication ont été soit tirés du VEI, soit spécifiquement approuvés aux fins de cette publication.

Symboles graphiques et littéraux

Pour les symboles graphiques, les symboles littéraux et les signes d'usage général approuvés par la CEI, le lecteur consultera:

- la CEI 27: *Symboles littéraux à utiliser en électrotechnique*;
- la CEI 417: *Symboles graphiques utilisables sur le matériel. Index, relevé et compilation des feuilles individuelles*;
- la CEI 617: *Symboles graphiques pour schémas*;

et pour les appareils électromédicaux,

- la CEI 878: *Symboles graphiques pour équipements électriques en pratique médicale*.

Les symboles et signes contenus dans la présente publication ont été soit tirés de la CEI 27, de la CEI 417, de la CEI 617 et/ou de la CEI 878, soit spécifiquement approuvés aux fins de cette publication.

Publications de la CEI établies par le même comité d'études

L'attention du lecteur est attirée sur les listes figurant à la fin de cette publication, qui énumèrent les publications de la CEI préparées par le comité d'études qui a établi la présente publication.

Validity of this publication

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC, thus ensuring that the content reflects current technology.

Information relating to the date of the reconfirmation of the publication is available from the IEC Central Office.

Information on the revision work, the issue of revised editions and amendments may be obtained from IEC National Committees and from the following IEC sources:

- **IEC Bulletin**
- **IEC Yearbook**
Published yearly
- **Catalogue of IEC publications**
Published yearly with regular updates

Terminology

For general terminology, readers are referred to IEC 50: *International Electrotechnical Vocabulary* (IEV), which is issued in the form of separate chapters each dealing with a specific field. Full details of the IEV will be supplied on request. See also the IEC Multilingual Dictionary.

The terms and definitions contained in the present publication have either been taken from the IEV or have been specifically approved for the purpose of this publication.

Graphical and letter symbols

For graphical symbols, and letter symbols and signs approved by the IEC for general use, readers are referred to publications:

- IEC 27: *Letter symbols to be used in electrical technology*;
- IEC 417: *Graphical symbols for use on equipment. Index, survey and compilation of the single sheets*;
- IEC 617: *Graphical symbols for diagrams*;

and for medical electrical equipment,

- IEC 878: *Graphical symbols for electromedical equipment in medical practice*.

The symbols and signs contained in the present publication have either been taken from IEC 27, IEC 417, IEC 617 and/or IEC 878, or have been specifically approved for the purpose of this publication.

IEC publications prepared by the same technical committee

The attention of readers is drawn to the end pages of this publication which list the IEC publications issued by the technical committee which has prepared the present publication.

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC
1800-3**

Première édition
First edition
1996-06

**Entraînements électriques de puissance
à vitesse variable –**

**Partie 3:
Norme de produit relative à la CEM incluant
des méthodes d'essais spécifiques**

**Adjustable speed electrical
power drive systems –**

**Part 3:
EMC product standard including specific
test methods**

© CEI 1996 Droits de reproduction réservés — Copyright — all rights reserved

Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'éditeur.

No part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from the publisher.

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale 3, rue de Varembe Genève, Suisse



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE **XC**

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

SOMMAIRE

	Pages
AVANT-PROPOS	6
Articles	
1 Domaine d'application et objet	8
2 Références normatives	10
3 Définitions	14
4 Prescriptions communes	22
4.1 Aspects système	22
4.2 Essais	22
4.2.1 Conditions générales	22
4.2.2 Rapport d'essais	24
4.3 Documentation pour l'utilisateur	24
5 Prescriptions d'immunité	26
5.1 Conditions générales	26
5.1.1 Critères de qualification (critères de performance)	26
5.1.2 Sélection des critères de qualification intrinsèque ou spécifique	28
5.1.3 Conditions pendant l'essai	30
5.2 Prescriptions d'immunité de base – perturbations basse fréquence	30
5.2.1 Harmoniques et encoches de commutation / distorsion en tension	30
5.2.2 Variations, fluctuations, creux de tension et coupures brèves	32
5.2.3 Déséquilibre de tension et variations de fréquence	34
5.2.4 Influences de l'alimentation	34
5.3 Prescriptions d'immunité de base – perturbations haute fréquence	36
5.3.1 Premier environnement	36
5.3.2 Deuxième environnement	38
5.3.3 Immunité contre les champs électromagnétiques	40
5.4 Application des prescriptions d'immunité – aspect statistique	44
6 Prescriptions d'émission	44
6.1 Limites d'émission de base en de basse fréquence	46
6.1.1 Encoches de commutation	46
6.1.2 Harmoniques et interharmoniques	48
6.1.3 Fluctuations de tension	50
6.1.4 Emission harmonique de mode commun (tension de mode commun à basse fréquence)	50
6.2 Conditions pendant les essais en haute fréquence	50
6.2.1 Prescriptions générales de mesure	50
6.2.2 Prescriptions de raccordement	52

CONTENTS

	Pages
FOREWORD.....	7
Clause	
1 Scope and object.....	9
2 Normative references	11
3 Definitions	15
4 Common requirements	23
4.1 System aspects	23
4.2 Tests	23
4.2.1 General conditions	23
4.2.2 Test report	25
4.3 Documentation for the user	25
5 Immunity requirements	27
5.1 General conditions.....	27
5.1.1 Acceptance criteria (performance criteria)	27
5.1.2 Selection of intrinsic or specific performance	29
5.1.3 Conditions during the test.....	31
5.2 Basic immunity requirements – low-frequency disturbances	31
5.2.1 Harmonics and commutation notches / voltage distortion	31
5.2.2 Voltage changes, fluctuations, dips and short interruptions	33
5.2.3 Voltage unbalance and frequency variations	35
5.2.4 Supply influences	35
5.3 Basic immunity requirements – high-frequency disturbances	37
5.3.1 First environment	37
5.3.2 Second environment.....	39
5.3.3 Immunity against electromagnetic fields.....	41
5.4 Application of immunity requirements – statistical aspect	45
6 Emission requirements	45
6.1 Basic emission limits in the low-frequency area.....	47
6.1.1 Commutation notches.....	47
6.1.2 Harmonics and interharmonics	49
6.1.3 Voltage fluctuations	51
6.1.4 Common mode harmonic emission (low-frequency common mode voltage)	51
6.2 Conditions during high-frequency tests.....	51
6.2.1 General measurement requirements.....	51
6.2.2 Connection requirements.....	53

Articles	Pages
6.3 Limites d'émission de base en haute fréquence	52
6.3.1 Premier environnement	52
6.3.2 Deuxième environnement	56
6.4 Application des prescriptions d'émission – aspects statistiques	60
7 Prescriptions minimales sur les aspects de sécurité	62
7.1 Sécurité pendant les essais d'immunité	62
7.2 Sécurité pendant le fonctionnement	62
7.3 Sécurité relative à cette norme	62
Annexes	
A Techniques de CEM	64
B Phénomènes basse fréquence	96
C Compensation de la puissance réactive – filtrage	130
D Considérations sur l'émission en haute fréquence	154
E Bibliographie	170

Clause	Page
6.3 Basic emission limits in the high-frequency area	53
6.3.1 First environment	53
6.3.2 Second environment.....	57
6.4 Application of emission requirements – statistical aspects.....	61
7 Minimum requirements for safety aspects	63
7.1 Safety during immunity tests	63
7.2 Safety during operation.....	63
7.3 Safety related to this standard	63
Annexes	
A EMC techniques	65
B Low-frequency phenomena.....	97
C Reactive power compensation – filtering	131
D Considerations on high-frequency emission	155
E Bibliography	171

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

ENTRAÎNEMENTS ÉLECTRIQUES DE PUISSANCE À VITESSE VARIABLE –

Partie 3: Norme de produit relative à la CEM incluant des méthodes d'essais spécifiques

AVANT-PROPOS

- 1) La CEI (Commission Electrotechnique Internationale) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, la CEI, entre autres activités, publie des Normes Internationales. Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec la CEI, participent également aux travaux. La CEI collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de la CEI concernant les questions techniques, représentent, dans la mesure du possible un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les documents produits se présentent sous la forme de recommandations internationales. Ils sont publiés comme normes, rapports techniques ou guides et agréés comme tels par les Comités nationaux.
- 4) Dans le but d'encourager l'unification internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent à appliquer de façon transparente, dans toute la mesure possible, les Normes internationales de la CEI dans leurs normes nationales et régionales. Toute divergence entre la norme de la CEI et la norme nationale ou régionale correspondante doit être indiquée en termes clairs dans cette dernière.
- 5) La CEI n'a fixé aucune procédure concernant le marquage comme indication d'approbation et sa responsabilité n'est pas engagée quand un matériel est déclaré conforme à l'une de ses normes.
- 6) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Norme internationale peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale CEI 1800-3 a été établie par le sous-comité d'études 22G de la CEI: Convertisseurs à semiconducteurs pour les systèmes d'entraînement électriques à vitesse variable du comité d'études 22 de la CEI: Electronique de puissance.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
22G/31/FDIS	22G/34/RVD

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

Les annexes A, B, C, D et E sont données uniquement à titre d'information.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

ADJUSTABLE SPEED ELECTRICAL POWER DRIVE SYSTEMS –

Part 3: EMC product standard including specific test methods

FOREWORD

- 1) The IEC (International Electrotechnical Commission) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of the 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, the IEC publishes International Standards. 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. The 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 the 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 National Committees.
- 3) The documents produced have the form of recommendations for international use and are published in the form of standards, technical reports or guides and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 4) In order to promote international unification, IEC National Committees undertake to apply IEC International Standards transparently to the maximum extent possible in their national and regional standards. Any divergence between the IEC Standard and the corresponding national or regional standard shall be clearly indicated in the latter.
- 5) The IEC provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with one of its standards.
- 6) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this International Standard may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 1800-3 has been prepared by IEC technical subcommittee 22G: Semiconductor power converters for adjustable speed electric drive systems, of IEC technical committee 22: Power electronics.

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

FDIS	Report on voting
22G/31/FDIS	22G/34/RVD

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

Annexes A, B, C, D and E are for information only.

ENTRAÎNEMENTS ÉLECTRIQUES DE PUISSANCE À VITESSE VARIABLE –

Partie 3: Norme de produit relative à la CEM incluant des méthodes d'essais spécifiques

1 Domaine d'application et objet

La présente Norme internationale spécifie les prescriptions de compatibilité électromagnétique (CEM) applicables aux entraînements de puissance (PDS). Ce sont des entraînements à vitesse variable pour moteurs électriques à courant alternatif ou continu. Les prescriptions sont données pour les entraînements raccordés à des réseaux «alternatifs» de tension nominale inférieure à 1 000 V (en valeur efficace). Pour les tensions d'alimentation en courant alternatif, dont la valeur efficace est supérieure à 1 000 V, les prescriptions CEM sont à l'étude et, dans l'attente d'une nouvelle publication, elles feront l'objet d'un accord entre le constructeur (fournisseur) et l'utilisateur.

Les PDS couverts par cette norme sont installés aussi bien en environnement industriel que résidentiel, à l'exception des applications de traction et des véhicules électriques. Ils peuvent être raccordés soit à un réseau de distribution industriel, soit à un réseau public. Les réseaux industriels sont alimentés par un transformateur de distribution dédié qui se trouve normalement à proximité ou à l'intérieur du site industriel, et n'alimente que des clients industriels. Ces entraînements peuvent aussi être raccordés directement au réseau public basse tension qui alimente également des locaux d'habitation, et dont le neutre est généralement relié à la terre.

Les entraînements couverts par cette norme sont souvent inclus dans un système plus grand; l'aspect système n'est pas l'objet de la présente norme, cependant les annexes informatives fournissent quelques indications à ce sujet.

Les prescriptions ont été choisies de manière à assurer des niveaux de CEM appropriés aux PDS sur sites industriels ou publics. Néanmoins, ces niveaux ne peuvent pas couvrir les cas extrêmes dont la probabilité d'apparition est très faible. Les changements de comportement CEM de l'entraînement pouvant résulter de défaillance du matériel ne sont pas pris en compte.

Cette norme a pour objet de définir les limites et les moyens d'essai pour les PDS. Elle comporte des prescriptions d'immunité et des prescriptions d'émissions électromagnétiques. L'émission peut perturber d'autres équipements électroniques (par exemple les récepteurs de radio, appareils de mesure et calculateurs). L'immunité est nécessaire pour protéger l'équipement des perturbations continues et transitoires, conduites et rayonnées, comprenant aussi les décharges électrostatiques. Pour d'évidentes raisons économiques, les prescriptions d'émission et d'immunité doivent résulter d'un compromis qui tient aussi compte de l'environnement réel du PDS.

La présente norme définit les prescriptions minimales de compatibilité électromagnétique auxquelles chaque PDS doit répondre.

Elle ne précise pas toutes les prescriptions de sécurité des équipements telles que la protection contre les chocs électriques, la coordination d'isolement et les essais diélectriques qui en découlent, ou les prescriptions relatives à un fonctionnement dangereux, ou encore concernant les conséquences dangereuses d'une défaillance.

ADJUSTABLE SPEED ELECTRICAL POWER DRIVE SYSTEMS –

Part 3: EMC product standard including specific test methods

1 Scope and object

This International Standard specifies electromagnetic compatibility (EMC) requirements for power drive systems (PDSs). These are adjustable speed a.c. or d.c. motor drives. Requirements are stated for PDSs which are connected to mains supplies with a rated voltage of up to 1 000 V a.c. r.m.s. For supply voltages higher than 1 000 V a.c. r.m.s. EMC requirements are under consideration and, until a new publication is produced, they will result from agreement between manufacturer/supplier and user.

PDSs covered by this standard are those installed in industrial and residential environments with the exception of traction applications and electric vehicles. PDSs may be connected to either industrial or public power distribution networks. Industrial networks are supplied by a dedicated distribution transformer, which is usually adjacent to or inside the industrial location, and supplies only industrial customers. On the other hand, PDSs can be directly connected to low-voltage public mains networks which also supply domestic premises, and in which the neutral is generally earthed (grounded).

PDSs covered by this standard are often included in a larger system, the system aspect is not covered by this standard, but guidance is provided in the informative annexes.

The requirements have been selected so as to ensure an adequate level of electromagnetic compatibility (EMC) for PDSs in industrial and public locations. The levels cannot, however, cover extreme cases which are most unlikely to occur. Changes in the EMC behaviour of a PDS, as a result of fault conditions, are not taken into account.

The object of this standard is to define the limits and test methods for a PDS. It includes immunity requirements and requirements against electromagnetic emissions. Emission can cause interference in other electronic equipment (for example radio receivers, measuring and computing devices). Immunity is required to protect the equipment from continuous and transient conducted and radiated disturbances, including electrostatic discharges. For evident economic reasons, the emission and immunity requirements should be balanced against each other and against the actual environment of the PDS.

This standard defines the minimum electromagnetic compatibility requirements for a PDS.

This standard does not specify all 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.

Dans des cas spécifiques, par exemple lorsqu'on utilise un appareil de grande susceptibilité électromagnétique dans le voisinage immédiat d'un PDS, il est possible qu'il faille mettre en place des protections supplémentaires pour réduire l'émission électromagnétique en dessous des niveaux spécifiés ou pour augmenter l'immunité de l'appareil très susceptible.

Cette norme CEM de produit pour PDS prévaut devant tous les aspects des normes génériques et des essais CEM supplémentaires ne sont ni demandés ni nécessaires. Lorsqu'un PDS est incorporé dans un équipement couvert par sa propre norme CEM de produit, cette dernière s'applique pleinement à cet équipement.

2 Références normatives

Les documents normatifs suivants contiennent des dispositions qui, par suite de la référence qui y est faite, constituent des dispositions valables pour la présente Norme internationale. Au moment de la publication, les éditions indiquées étaient en vigueur. Tout document normatif est sujet à révision et les parties prenantes aux accords fondés sur la présente Norme internationale sont invitées à rechercher la possibilité d'appliquer les éditions les plus récentes des documents normatifs indiqués ci-après. Les membres de la CEI et de l'ISO possèdent le registre des Normes internationales en vigueur.

CEI 50(131): 1978, *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) – Chapitre 131: Circuits électriques et magnétiques*

CEI 50(151): 1978, *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) – Chapitre 151: Dispositifs électriques et magnétiques*

CEI 50(161): 1990, *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) – Chapitre 161: Compatibilité électromagnétique*

CEI 146-1-1: 1991, *Convertisseurs à semi-conducteurs. Spécifications communes et convertisseurs commutés par le réseau – Partie 1-1: Spécifications des clauses techniques de base*

CEI 364-3: 1993, *Installations électriques des bâtiments – Partie 3: Détermination des caractéristiques générales*

CEI 664-1: 1992, *Coordination de l'isolement des matériels dans les systèmes (réseaux) à basse tension – Partie 1: Principes, prescriptions et essais*

CEI 1000-2-1: 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*

CEI 1000-2-2: 1990, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 2: Environnement – Section 2: Niveaux de compatibilité pour les perturbations conduites basse fréquence et la transmission de signaux sur les réseaux publics d'alimentation à basse tension*

CEI 1000-2-4: 1994, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 2: Environnement – Section 4: Niveaux de compatibilité dans les installations industrielles pour les perturbations conduites à basse fréquence*

CEI 1000-2-6: 1995, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 2: Environnement – Section 6: Evaluation des niveaux d'émission dans l'alimentation des centrales industrielles tenant compte des perturbations conduites à basse fréquence*

In special cases, when highly susceptible apparatus is being used in proximity, additional mitigation measures may have to be employed to reduce the electromagnetic emission further below the specified levels, or to increase the immunity of the highly susceptible apparatus.

This product EMC standard for PDSs takes precedence over all aspects of the generic standards, and no additional EMC tests are required or necessary. If a PDS is included as part of equipment covered by a separate EMC product standard, the EMC standard of the complete equipment applies.

2 Normative references

The following normative documents contain provisions which, through reference in this text, constitute provisions of this International Standard. At the time of publication, the editions indicated were valid. All normative documents are subject to revision, and parties to agreements based on this International Standard are encouraged to investigate the possibility of applying the most recent editions of the normative documents indicated below. Members of IEC and ISO maintain registers of currently valid International Standards.

IEC 50(131): 1978, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Chapter 131: Electric and magnetic circuits*

IEC 50(151): 1978, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Chapter 151: Electrical and magnetic devices*

IEC 50(161): 1990, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Chapter 161: Electromagnetic compatibility*

IEC 146-1-1: 1991, *Semiconductor convertors – General requirements and line commutated convertors – Part 1-1: Specifications of basic requirements*

IEC 364-3: 1993, *Electrical installations of buildings – Part 3: Assessment of general characteristics*

IEC 664-1: 1992, *Insulation coordination for equipment within low-voltage systems – Part 1: Principles, requirements and tests*

IEC 1000-2-1: 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*

IEC 1000-2-2: 1990, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 2: Environment – Section 2: Compatibility levels for low-frequency conducted disturbances and signalling in public low-voltage power supply systems*

IEC 1000-2-4: 1994, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 2: Environment – Section 4: Compatibility levels in industrial plants for low-frequency conducted disturbances*

IEC 1000-2-6: 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*

CEI 1000-3-2: 1995, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 3: Limites – Section 2: Limites pour les émissions de courant harmonique (courant appelé par les appareils ≤ 16 A par phase)*

CEI 1000-3-3: 1994, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 3: Limites – Section 3: Limitation des fluctuations de tension et du flicker dans les réseaux basse tension pour les équipements ayant un courant assigné ≤ 16 A*

CEI 1000-3-5: 1994, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 3: Limites – Section 5: Limitation des fluctuations de tension et du flicker dans les réseaux basse tension pour les équipements ayant un courant assigné supérieur à 16 A*

CEI 1000-4-2: 1995, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 4: Techniques d'essai et de mesure – Section 2: Essais d'immunité aux décharges électrostatiques*. Publication fondamentale en CEM

CEI 1000-4-3: 1995, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 4: Techniques d'essai et de mesure – Section 3: Essai d'immunité aux champs électromagnétiques rayonnés aux fréquences radioélectriques*

CEI 1000-4-4: 1995, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 4: Techniques d'essai et de mesure – Section 4: Essais d'immunité aux transitoires électriques rapides en sèves* – Publication fondamentale en CEM
Amendement 1 (1995)

CEI 1000-4-5: 1995, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 4: Techniques d'essai et de mesure – Section 5: Essais d'immunité aux ondes de choc*

CEI/FDIS 1000-4-6, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 4: Techniques d'essai et de mesure – Section 6: Essais d'immunité aux perturbations conduites, induites par les champs radioélectriques*¹⁾

CEI 1000-4-8: 1993, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 4: Techniques d'essai et de mesure – Section 8: Essai d'immunité au champ magnétique à la fréquence du réseau* – Publication fondamentale en CEM

CEI 1000-4-9: 1993, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 4: Techniques d'essai et de mesure – Section 9: Essai d'immunité au champ magnétique impulsionnel* – Publication fondamentale en CEM

CEI 1000-4-10: 1993, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 4: Techniques d'essai et de mesure – Section 10: Essai d'immunité au champ magnétique oscillatoire amorti* – Publication fondamentale en CEM

CEI CISPR 11: 1990, *Limites et méthodes de mesure des caractéristiques de perturbations électromagnétiques des appareils industriels, scientifiques et médicaux (ISM) à fréquence radioélectrique*

CEI CISPR 16-1: 1993, *Spécification des méthodes et des appareils de mesure des perturbations radioélectriques et de l'immunité aux perturbations radioélectriques – Partie 1: Appareils de mesure des perturbations radioélectriques et de l'immunité aux perturbations radioélectriques*

¹⁾ Actuellement au stade de projet final de Norme internationale (65A/165/FDIS)

IEC 1000-3-2: 1995, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 3: Limits – Section 2: Limits for harmonic current emissions (equipment input current ≤ 16 A per phase)*

IEC 1000-3-3: 1994, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 3: Limits – Section 3: Limitation of voltage fluctuations and flicker in low-voltage supply systems for equipment with rated current ≤ 16 A*

IEC 1000-3-5: 1994, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 3: Limits – Section 5: Limitation of voltage fluctuations and flicker in low-voltage power supply systems for equipment with rated current greater than 16 A*

IEC 1000-4-2: 1995, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4: Testing and measurement techniques – Section 2: Electrostatic discharge immunity test* – Basic EMC Publication

IEC 1000-4-3: 1995, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4: Testing and measurement techniques – Section 3: Radiated, radio-frequency, electromagnetic field immunity test*

IEC 1000-4-4: 1995, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4: Testing and measurement techniques – Section 4: Electrical fast transient/burst immunity test* – Basic EMC publication Amendment 1 (1995)

IEC 1000-4-5: 1995, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4: Testing and measurement techniques – Section 5: Surge immunity test*

IEC/FDIS 1000-4-6: *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4: Testing and measurement techniques – Section 6: Immunity to conducted disturbances, induced by radio-frequency fields*¹⁾

IEC 1000-4-8: 1993, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4: Testing and measurement techniques – Section 8: Power frequency magnetic field immunity test* – Basic EMC publication

IEC 1000-4-9: 1993, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4: Testing and measurement techniques – Section 9: Pulse magnetic field immunity test* – Basic EMC publication

IEC 1000-4-10: 1993, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4: Testing and measurement techniques – Section 10: Damped oscillatory magnetic field immunity test* – Basic EMC publication

IEC CISPR 11: 1990, *Limits and methods of measurement of electromagnetic disturbance characteristics of industrial, scientific and medical (ISM) radio-frequency equipment*

IEC CISPR 16-1: 1993, *Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods – Part 1: Radio disturbance and immunity measuring apparatus*

¹⁾ At present at the stage of Final Draft International Standard (65A/165/FDIS)

3 Définitions

Les définitions relatives à la CEM et aux phénomènes concernés sont données au chapitre 161 du VEI (CEI 50), dans les publications CISPR, ainsi que dans d'autres publications de la CEI (voir article 2). Pour les besoins de la présente Norme internationale, les définitions supplémentaires suivantes sont applicables.

Un entraînement de puissance ou «puissance d'entraînement système» (PDS) est constitué d'un moteur et d'un équipement variateur ou «composition de motorisation» (CDM). Il ne comprend pas le matériel entraîné par le moteur. L'équipement variateur (CDM) est composé d'un variateur ou «base de motorisation» (BDM) et de ses extensions possibles telles que la section d'alimentation ou certains auxiliaires (exemple: ventilation). Le variateur (BDM) comporte le convertisseur de puissance, l'ensemble commande-contrôle et les fonctions de protection propres. La figure 1 montre les limites entre un entraînement (PDS), le reste de l'installation et/ou les processus de fabrication.

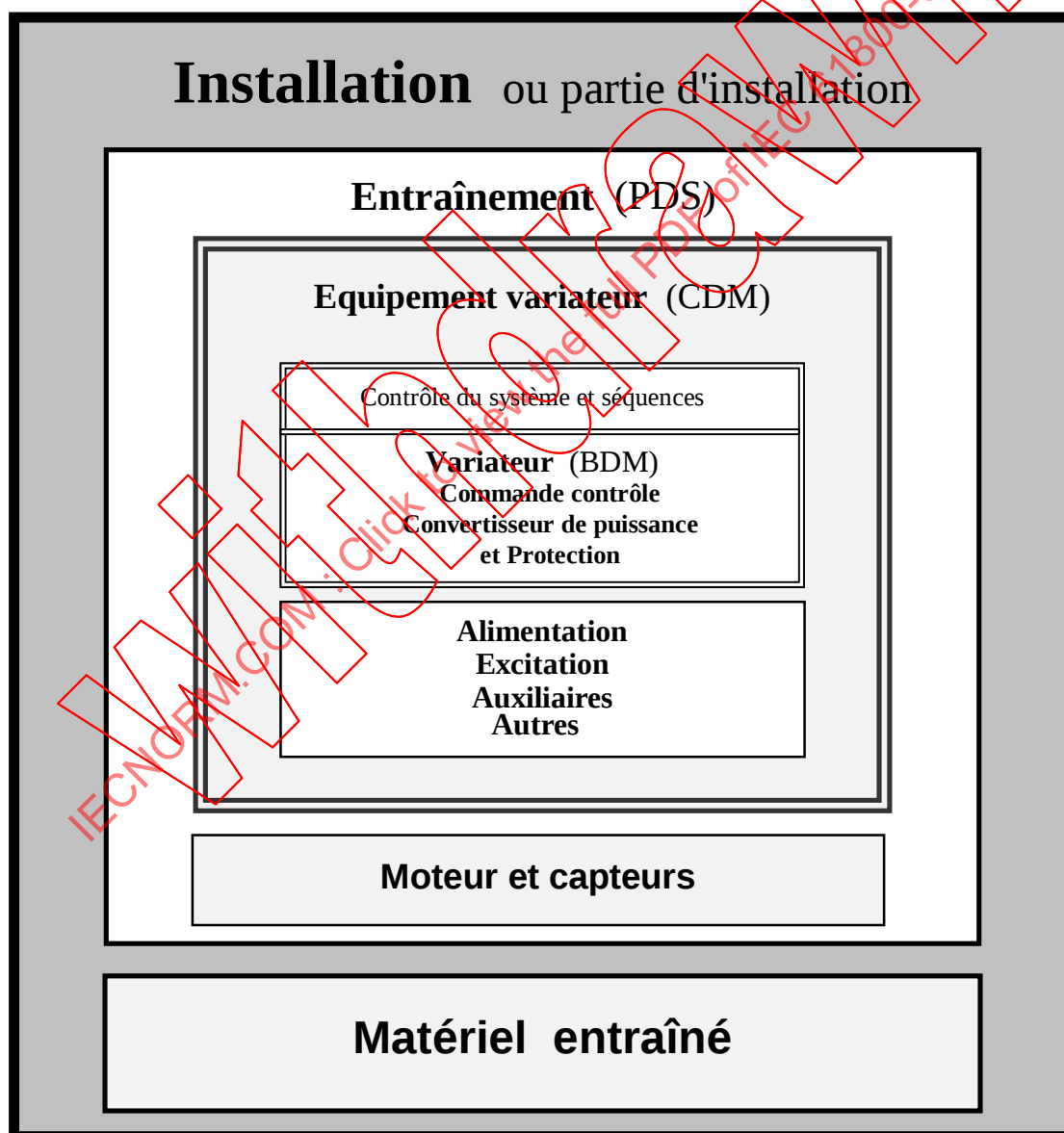


Figure 1 – Définition de l'installation et de son contenu

3 Definitions

Definitions related to EMC and to relevant phenomena may be found in chapter 161 of the IECV (IEC 50), in CISPR, and other IEC publications (see clause 2). For the purpose of this International Standard, the following additional definitions apply.

A power drive system (PDS) consists of a motor and a complete drive module (CDM). It does not include the equipment driven by the motor. The CDM consists of a basic drive module (BDM) and its possible extensions, such as the feeding section or some auxiliaries (for example ventilation). The BDM contains converter, control and self protection functions. Figure 1 shows the boundary between the PDS and the rest of the installation and/or manufacturing process.

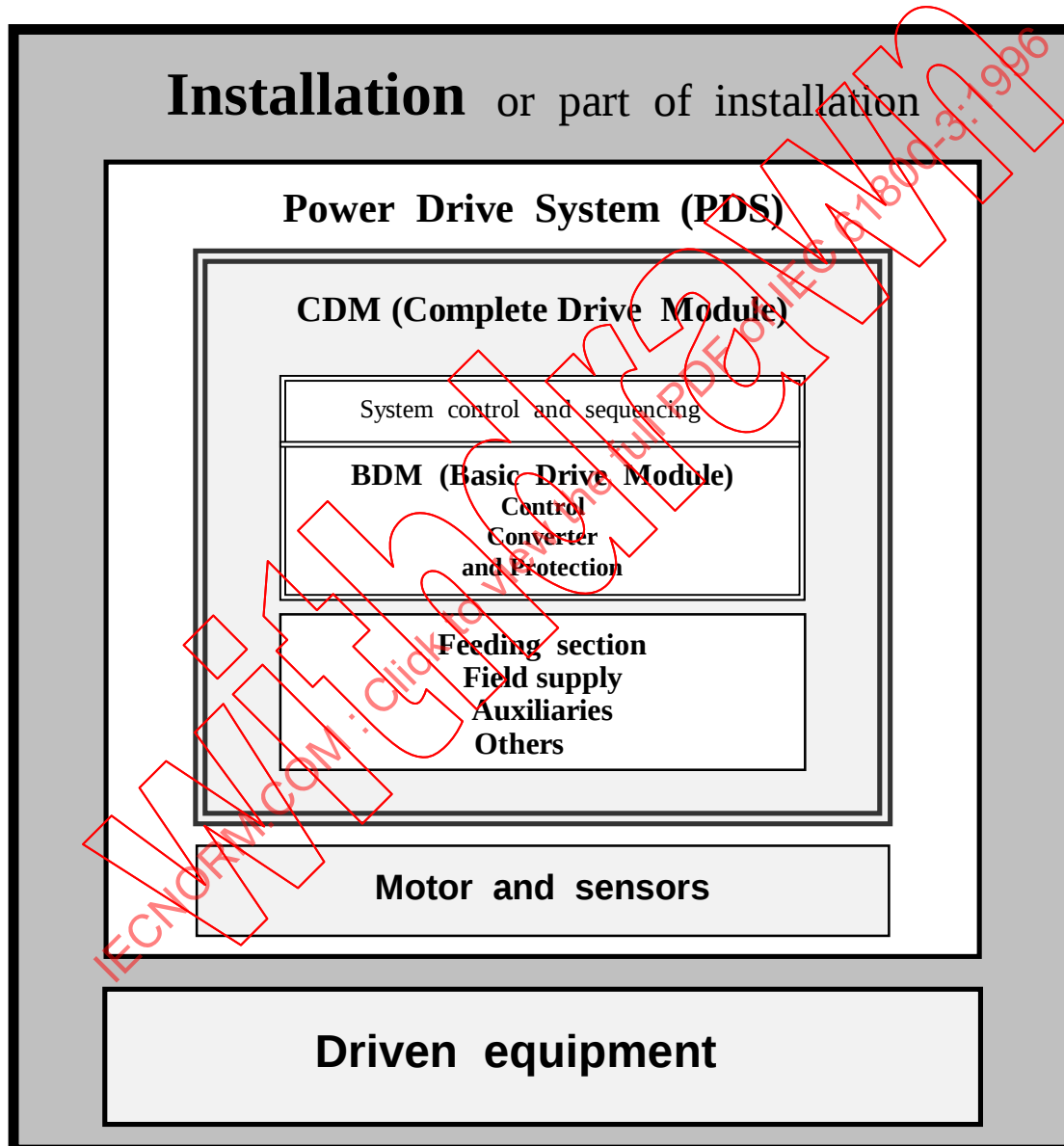


Figure 1 – Definition of the installation and its contents

Si le (PDS) comporte son propre transformateur, celui-ci est considéré comme une partie du (CDM).

3.1 distribution non restreinte: Mode de commercialisation dans lequel la fourniture de l'équipement ne dépend pas de la compétence de l'acheteur ou de l'utilisateur en matière de CEM et de mise en oeuvre des entraînements.

NOTE – Cela implique des limites d'émission strictes, en accord avec les prescriptions essentielles de protection CEM.

3.2 distribution restreinte: Mode de commercialisation dans lequel le fabricant limite la fourniture des équipements à des distributeurs, clients ou utilisateurs, qui individuellement ou conjointement ont la compétence technique nécessaire pour appliquer les prescriptions CEM relatives à la mise en oeuvre des entraînements.

NOTE – Pour des raisons économiques évidentes, il est souhaitable que les partenaires satisfassent aux exigences essentielles CEM de protection pour l'installation spécifique qui les concerne, par le choix d'une classe d'émission appropriée, par des mesures *in situ* prenant en compte les conditions de voisinage effectives et par l'échange de spécifications techniques.

3.3 premier environnement: Lieu à usage domestique, ou dont l'alimentation électrique est directement fournie sans transformateur intermédiaire, par un réseau public basse tension qui alimente aussi des bâtiments à usage domestique.

3.4 deuxième environnement: Lieu autre que pris parmi ceux qui sont directement alimentés en électricité par un réseau public basse tension qui alimente aussi des bâtiments à usage domestique.

3.5 plate-forme (d'essais) constructeur: Lieu situé à l'intérieur de l'atelier ou du laboratoire du constructeur et dédié aux essais des équipements fabriqués par ce dernier. Ces équipements peuvent être un entraînement (PDS), un équipement variateur (CDM) ou un variateur (BDM).

3.6 (essai) *in situ*: Lieu où l'équipement est installé pour son usage normal par l'utilisateur final, l'équipement peut être essayé en ce lieu.

3.7 site d'essais (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. [VEI 161-04-28]

3.8 accès: Limite particulière entre l'entraînement (PDS) et l'environnement électromagnétique du processus (voir figure 2). [VEI 131-02-21 modifié]

3.9 accès enveloppe: Limite physique de l'entraînement (PDS) à travers laquelle les champs électromagnétiques peuvent rayonner ou être absorbés (voir figure 2).

3.10 accès mesure et commande de processus: Borne d'entrée ou de sortie (E/S) pour une connexion entre le processus et l'entraînement (PDS) comme défini à l'article 3 (voir figure 2).

3.11 accès puissance: Accès par lequel l'entraînement (PDS) est raccordé à l'alimentation de puissance qui alimente aussi d'autres équipements.

3.12 liaison mécanique: Liaison mécanique entre l'arbre du moteur de l'entraînement (PDS) et le matériel entraîné du processus ainsi que défini à l'article 3.

3.13 interface signal: Borne d'entrée ou de sortie (E/S) pour une ligne de connexion entre le variateur ou l'équipement variateur (BDM/CDM) et une autre partie de l'entraînement (PDS) (voir figure 2).

If the power drive system (PDS) has its own dedicated transformer, this transformer is included as a part of the complete drive module (CDM).

3.1 unrestricted distribution: Mode of sales distribution in which the supply of equipment is not dependent on the EMC competence of the customer or user for the application of drives.

NOTE – This implements restrictive emission limits in accordance with essential EMC protection requirements.

3.2 restricted distribution: Mode of sales distribution in which the manufacturer restricts the supply of equipment to suppliers, customers or users who separately or jointly have technical competence in the EMC requirements of the application of drives.

NOTE – For economical reasons, the partners should ensure the essential EMC protection requirements for the specific installation, by choice of suitable emission class, by measurement *in situ* with actual boundary conditions and by exchange of technical specifications.

3.3 first environment: Environment that includes domestic premises. It also includes establishments directly connected without intermediate transformers to a low-voltage power supply network which supplies buildings used for domestic purposes.

3.4 second environment: Environment that includes all establishments other than those directly connected to a low-voltage power supply network which supplies buildings used for domestic purposes.

3.5 manufacturer's premises (for test): Location within manufacturer's workshop or laboratory, dedicated for testing the equipment they manufacture, this equipment may be PDS or CDM or BDM.

3.6 in situ (for test): Location where the equipment is installed for its normal use by the end user. The equipment may be tested there.

3.7 test site (radiation): A site meeting the requirements necessary for correctly measuring, under defined conditions, electromagnetic fields emitted by a device under test. [IEV 161-04-28]

3.8 port: A particular boundary of the specified PDS with the electromagnetic environment of the process (see figure 2). [IEV 131-02-21 modified]

3.9 enclosure port: Physical boundary of the PDS through which electromagnetic fields may radiate or impinge (see figure 2).

3.10 port for process measurement and control: Input/output (I/O) port for a conductor or cable which connects the process to the PDS as defined in clause 3 (see figure 2).

3.11 power port: Port which connects the PDS to the power supply which also feeds other equipment.

3.12 mechanical link: Mechanical connection between the shaft of the motor of the PDS and the driven equipment of the process as defined in clause 3.

3.13 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 (see figure 2).

3.14 PCC, PCI, PC: Ces définitions sont données dans la CEI 1000-2-4.

NOTE – En bref:

- le PCC est le point de couplage commun sur un réseau public;
- le PCI est le point de couplage dans l'installation;
- le PC est le point de couplage (dans l'un et l'autre cas).

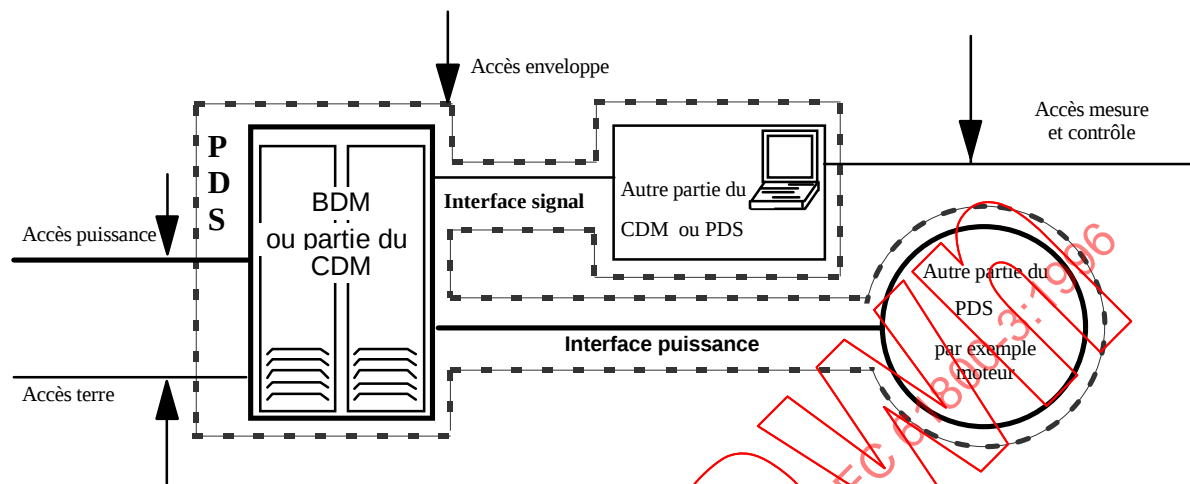


Figure 2 – Interfaces internes d'un PDS et exemples d'accès

3.15 interface puissance: Raccordements nécessaires à la distribution de puissance électrique à l'intérieur de l'entraînement (PDS) (voir figure 3 et explications en A.2).

NOTE – Les interfaces de puissance du PDS peuvent avoir différentes formes et 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 puissance peut être commune à différents PDS. En conformité avec l'article 4, on ne tient pas compte des effets cumulatifs. Voir les exemples des figures 3 et 4.

La figure 3 représente une interface de puissance qui distribue la puissance depuis le convertisseur d'entrée (où la puissance est convertie de sa forme disponible sur le réseau en une autre forme [ici courant continu c.c.]) aux convertisseurs de sortie (où la puissance est transformée d'une forme intermédiaire [ici c.c.] en une autre forme [ici c.a.] qui peut alimenter directement des moteurs à courant alternatif).

La figure 4 représente une interface de puissance qui distribue la puissance du secondaire d'un transformateur (faisant partie du CDM) à chaque BDM.

- à l'intérieur du PDS

On remarque que le raccordement entre le convertisseur et le ou les moteurs est lui aussi une interface de puissance. C'est la dernière interface de puissance (avant la conversion en puissance mécanique).

3.14 **PCC, IPC, PC:** These definitions are given in IEC 1000-2-4.

NOTE – Briefly:

- PCC is the point of common coupling on a public network;
- IPC is the in-plant point of coupling;
- PC is the point of coupling (for either of these cases).

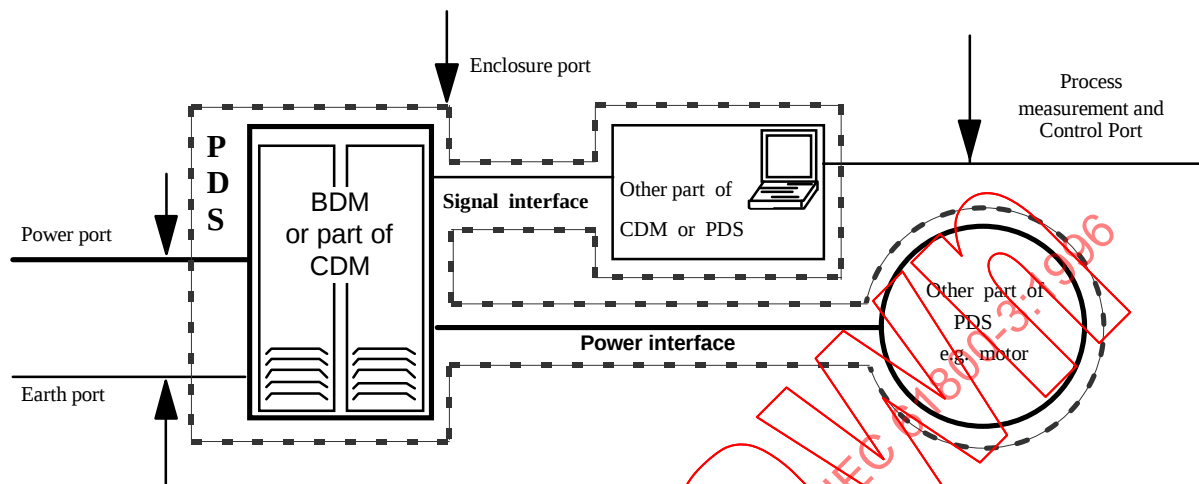


Figure 2 – Internal interfaces of the PDS and examples of ports

3.15 **power interface:** Connections needed for the distribution of electrical power within the PDS (see figure 3 and explanation in A 2).

NOTE – The power interfaces of the PDS may have different forms and extensions:

- within the CDM/BDM

A power interface may 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 may be common to different PDSs. According to clause 4, no cumulative effects have to be considered. For examples, see figures 3 and 4.

Figure 3 shows a power interface which distributes power from an input converter (where power is converted from the mains to another type [here d.c. power]) to output inverters (where power is converted from an intermediate form [here d.c.] to another type [here a.c.] which can be directly applied to a.c. motors).

Figure 4 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

Note that 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.

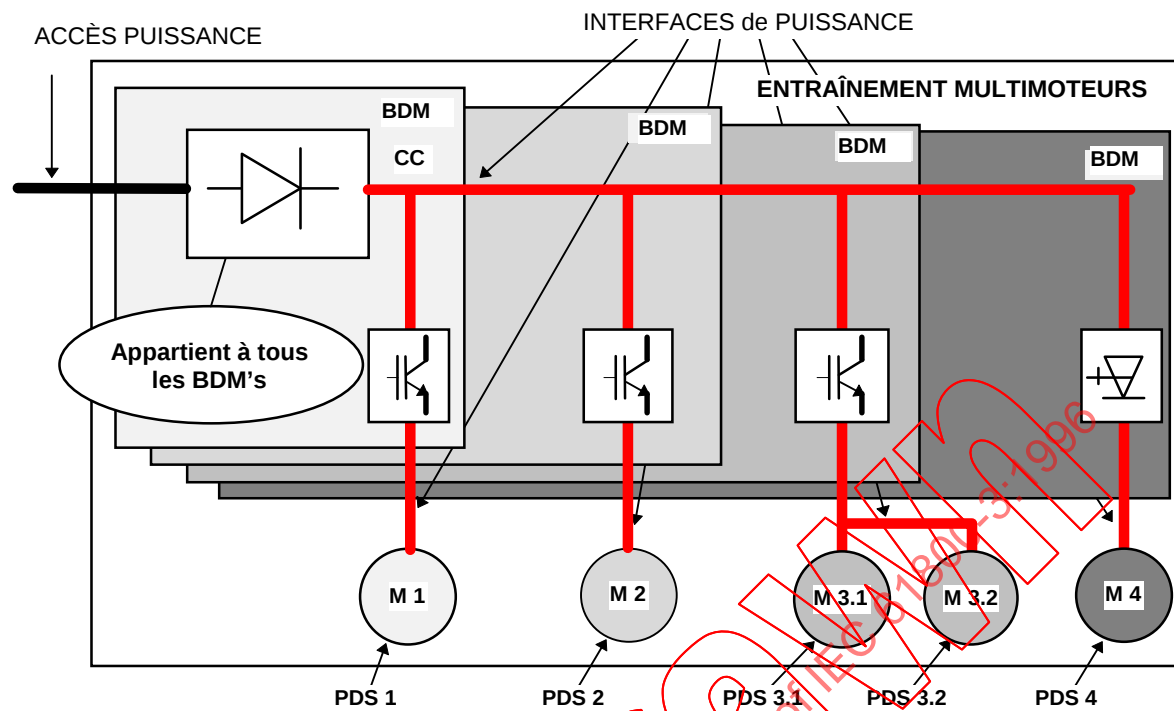


Figure 3 – Interfaces de puissance avec BUS CONTINU commun

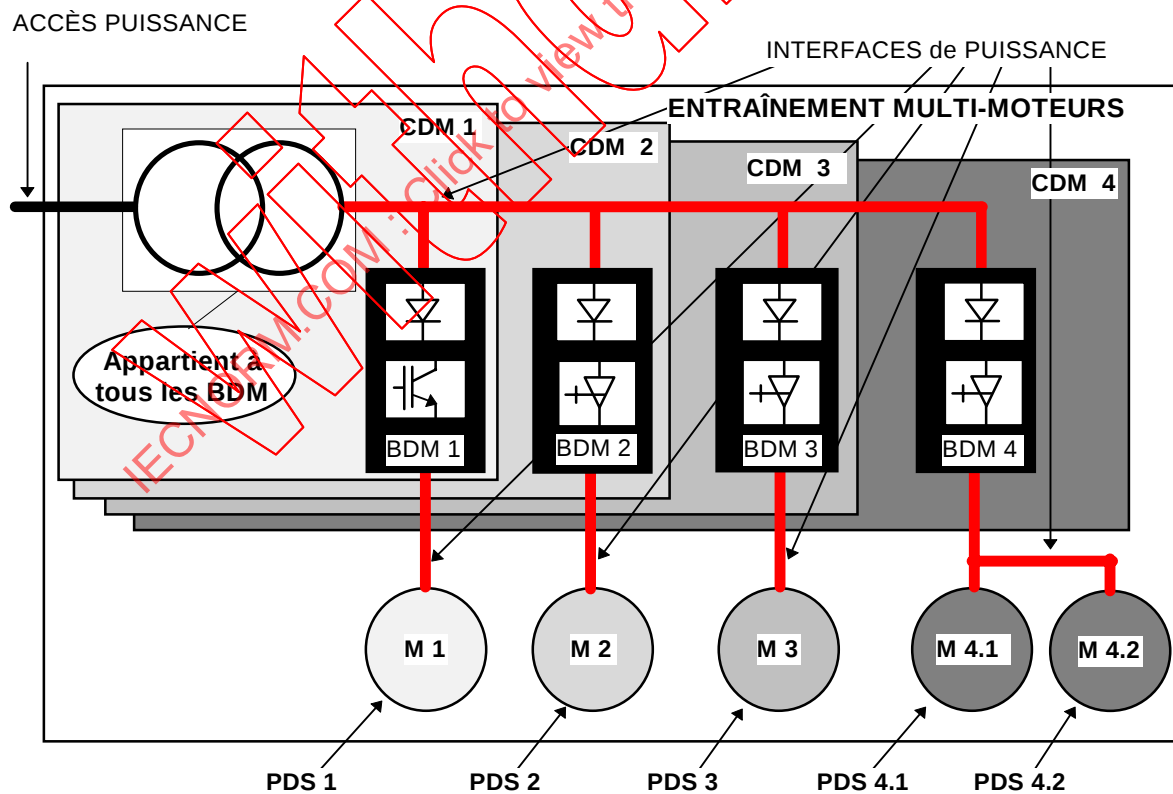


Figure 4 – Interfaces de puissance avec transformateur d'entrée commun

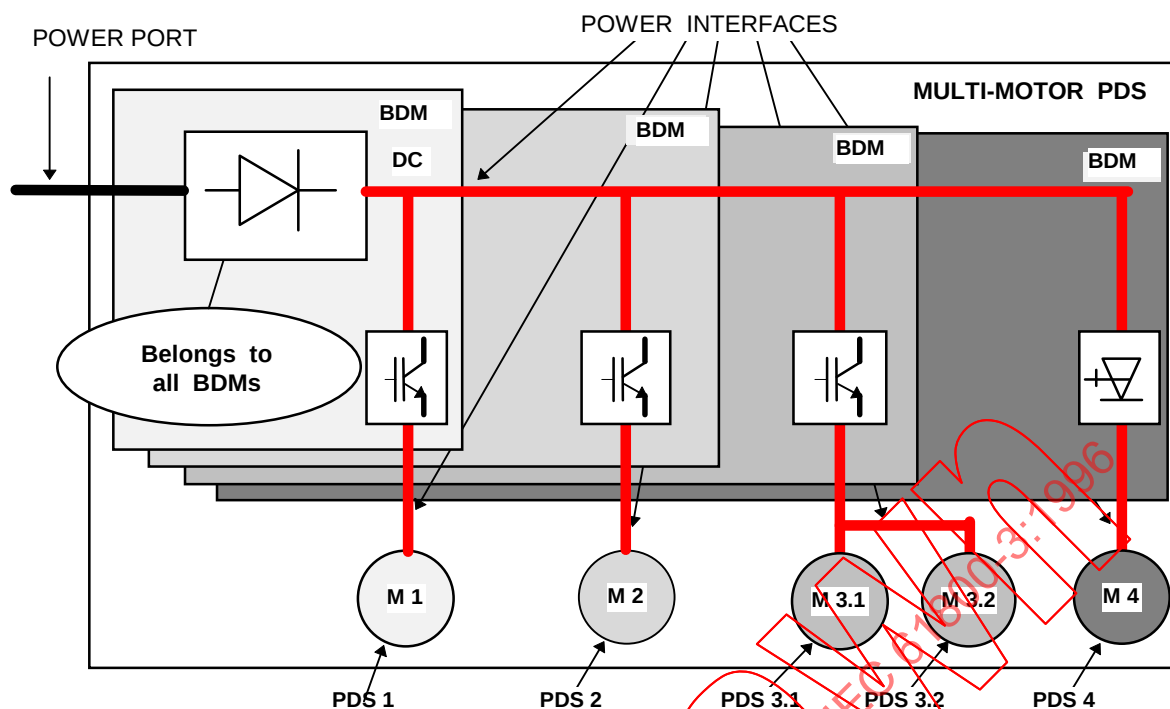


Figure 3 – Power interfaces of a PDS with common DC BUS

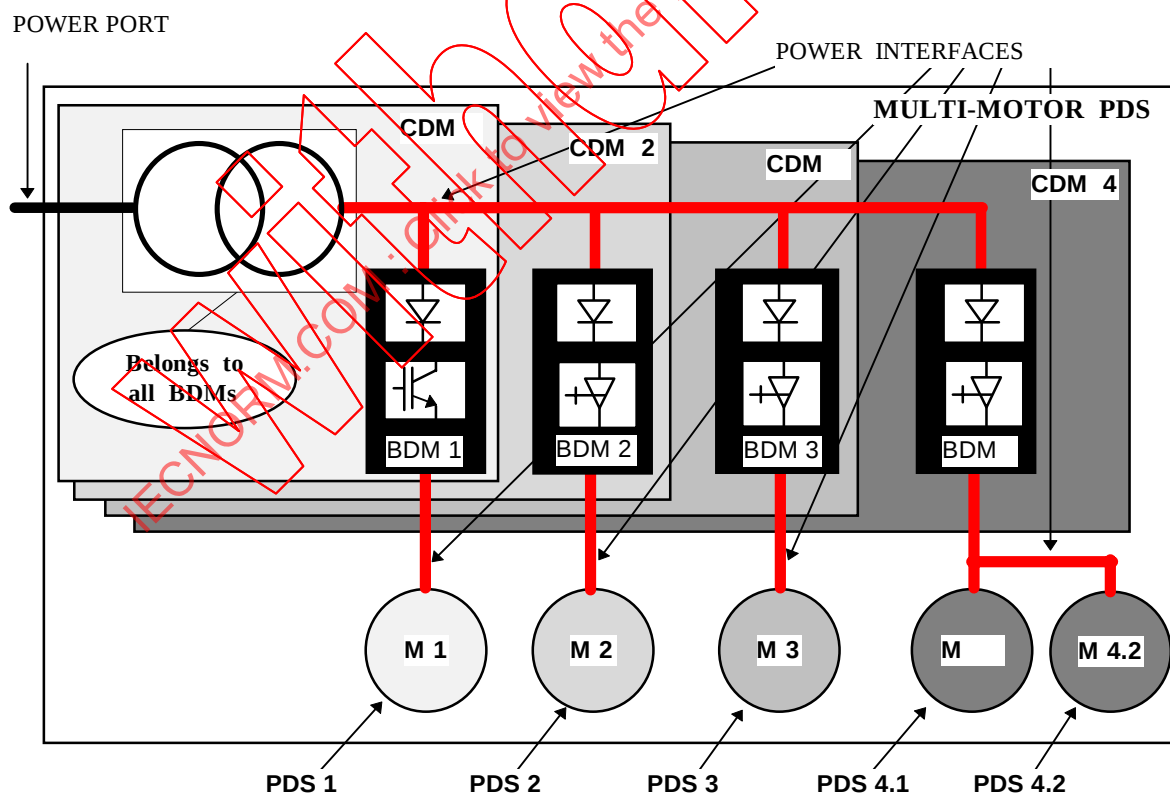


Figure 4 – Power interfaces with common input transformer

3.16 convertisseur (de l'équipement variateur (CDM)): Élément qui transforme la tension et/ou le courant et/ou la fréquence du réseau de distribution en tension et/ou courant et/ou fréquence de l'alimentation du moteur (voir détails en A.2).

NOTES

1 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 composant de commutation puissance à semiconducteur.

2 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 convertisseurs.

3.17 moteur (électrique): Machine électrique qui convertit l'énergie électrique en énergie mécanique. [VEI 151-01-53]

3.18 moteur (de l'entraînement (PDS)): Pour les besoins de la présente norme, le moteur inclut tous les capteurs associés destinés à permettre le fonctionnement et interagissant avec l'équipement variateur (CDM).

4 Prescriptions communes

On doit examiner individuellement les phénomènes, qu'ils soient relatifs à l'émission ou à l'immunité. Les limites sont établies pour des conditions relatives aux effets non cumulés.

4.1 Aspects système

Souvent, les PDS n'ont pas une configuration fixe. La façon de convertir l'énergie électrique et de la transformer en énergie mécanique peut varier suivant les demandes de l'utilisateur et les conditions économiques, en dépit par exemple, de puissances de sortie assignées identiques. La figure 1 montre que différentes sections d'alimentation ou d'auxiliaires ainsi que différents moteurs et transformateurs peuvent être associés dans l'entraînement. Dans ces conditions, il n'est pas nécessaire d'essayer toutes les configurations possibles. Pour une simulation réaliste de la situation CEM, on doit choisir une configuration typique pour l'essai de type tel que défini en 4.1 de la CEI 146-1-1.

L'application d'essais pour évaluer l'immunité doit dépendre du PDS concerné, de sa configuration, de ses accès, de sa technologie et de ses conditions de fonctionnement (voir annexes).

4.2 Essais

4.2.1 Conditions générales

Tous les essais spécifiés dans cette norme ont pour objet d'assurer la conformité avec les prescriptions essentielles de CEM et sont uniquement des essais de type. L'essai doit être effectué en utilisant les règles de câblage préconisées par le constructeur.

On doit choisir le lieu d'essais de l'équipement *in situ*, chez le constructeur ou sur un site d'essai par application de critères économiques et pratiques. L'équipement doit satisfaire aux prescriptions lorsque les mesures sont effectuées selon la méthode spécifiée.

Aucun essai CEM supplémentaire n'est demandé, ni nécessaire en plus de ceux précisés dans la présente norme.

Des mesures de sécurité doivent être prises contre tout effet non intentionnel sur le processus complet qui pourrait résulter de défaillances au cours d'un quelconque essai CEM.

3.16 converter (of the complete drive module (CDM)): The converter of the CDM is the unit which changes voltage and/or current and/or frequency of the mains supply to the voltage and/or current and/or frequency that feed the network of the motor (see details in A.2).

NOTES

- 1 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.
- 2 The converter can be line, load or self-commutated and can consist, for example, of one or more rectifiers or inverters.

3.17 (electric) motor: An electric machine that converts electric energy into mechanical energy. [IEV 151-01-53]

3.18 motor (of the PDS): For the purpose of this standard, the motor includes all sensors which are mounted on it and which are relevant for supporting the operating mode and interacting with a complete drive module (CDM).

4 Common requirements

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

4.1 System aspects

PDSs often do not have a fixed configuration. The way of converting electrical power and transforming it to mechanical power may vary depending on the customers' requirements and economical conditions in spite of, for example, identical output power ratings. Figure 1 shows that different feeding sections or auxiliaries as well as different motors and transformers can be combined inside the drive system. For these conditions, every possible arrangement need not be tested. For a realistic simulation of the EMC situation, a typical configuration for the type test as defined in 4.1 of IEC 146-1-1 shall be chosen.

The application of tests for evaluation of immunity shall depend on the particular PDS, its configuration, its ports, its technology and its operating conditions (see annexes).

4.2 Tests

4.2.1 General conditions

All the tests specified in this standard are dedicated to ensure compliance with the essential EMC requirements and are type tests only. The test shall be performed using the manufacturer's recommended wiring practices.

The equipment shall be tested *in situ*, at the manufacturer's premises, or at a test site, depending on the economic and practical considerations. It shall meet the requirements when measured by the test methods specified.

No additional EMC tests are required or necessary beyond those stated in this standard.

Safeguards shall be taken against any unintended effects on the total process that may result from an equipment failure while an EMC test is being conducted.

Pour l'essai, et sauf spécification contraire du constructeur, le CDM doit être raccordé à un moteur standard de puissance appropriée par un câble et des règles de mise à la terre définies par le constructeur. Dans certains cas, il est permis d'appliquer des charges passives (résistives ou inductives-résistives) additionnelles (pour l'évaluation des émissions basse fréquence, par exemple). Mais dans de tels cas, il est à noter que les configurations de charge passive devraient être blindées pour simuler l'enveloppe métallique d'un moteur. Il faut noter que la capacité parasite entre la charge et la terre n'est pas normalisable mais peut être différente de celle d'un moteur (environ 1 nF... 20 nF ou plus) pour l'évaluation de l'émission haute fréquence.

La description des essais, les méthodes d'essai, les caractéristiques des essais et les dispositifs d'essai sont précisés dans les normes référencées et ne sont pas répétées ici. Néanmoins, si des modifications, prescriptions et informations complémentaires ou procédures d'essais spécifiques sont nécessaires pour la réalisation et la mise en oeuvre des essais, alors celles-ci seront précisées dans cette norme.

4.2.2 Rapport d'essais

Les résultats des essais doivent être consignés dans un rapport d'essais. Le rapport doit présenter clairement et sans ambiguïté toutes les informations relatives aux essais (par exemple les conditions de charge, le cheminement des câbles, etc.). Une description fonctionnelle et une définition des limites de spécification des critères de qualification doivent être fournies par le constructeur et notées dans le rapport d'essais.

Les modalités retenues pour l'essai doivent être justifiées dans le rapport d'essai. On doit employer un nombre de bornes suffisant pour simuler les conditions réelles de fonctionnement et pour s'assurer que tous les types de bornes pouvant être concernés sont pris en compte. Les essais doivent être effectués à la tension assignée d'alimentation et de façon reproductible.

4.3 Documentation pour l'utilisateur

Le constructeur doit fournir à l'installateur ou à l'utilisateur la documentation nécessaire du BDM, CDM ou du PDS, qui permette de réaliser une installation correcte dans un système ou un processus typique. L'utilisateur doit être informé de la nécessité éventuelle de composants additionnels ou de mesures complémentaires qui permettent de satisfaire aux prescriptions CEM d'un environnement donné, par exemple impédance maximale du réseau, utilisation de câbles blindés ou spéciaux ou de longueur maximale, ou encore utilisation de filtres aussi bien que prescriptions de mise à la terre correcte.

Une liste de matériels ou équipements optionnels, qui doivent être ajoutés à l'entraînement pour satisfaire aux prescriptions d'immunité ou d'émission de différents environnements, doit être disponible. De même, la liste des matériels auxiliaires (options et extensions), qui peuvent être ajoutés au PDS et qui satisfont aux prescriptions d'immunité et/ou d'émission, doit aussi être disponible. Le constructeur est responsable du choix de toute information nécessaire à la réalisation correcte d'une installation typique, en fonction de la complexité et des caractéristiques du produit fourni, selon qu'il s'agit d'un BDM, CDM ou PDS, et en tenant compte de la sensibilité de l'environnement (CEM).

Ces informations peuvent aussi figurer au rapport d'essais, afin de clarifier l'association finalement recommandée. Par exemple, ce type d'information complémentaire est indispensable pour l'installation d'un BDM en environnement domestique. Le contenu du guide d'application doit aussi être adapté à la compétence type des utilisateurs.

For the test, unless otherwise specified by the manufacturer, the CDM shall be connected to a standard motor of adequate ratings with a cable and earthing rules defined by the manufacturer. In some cases, passive load conditions (ohmic or inductive-ohmic) may additionally be applied (for example for evaluation of the low-frequency emissions). In this case, however, the passive load configurations should be shielded to simulate the metal housing of a motor. It shall be noted that the parasitic capacitance from load to earth cannot be standardised but could be different from that of a motor (about 1 nF... 20 nF or more) for evaluation of the high-frequency emission.

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 standard.

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 of the tests (for example load conditions, cable laying, etc.). A functional description and a definition of specification limits for the acceptance criteria shall be provided by the manufacturer and noted in the test report.

Within the test report, the chosen test arrangements shall be justified. A sufficient number of terminals shall be selected to simulate actual operating conditions and to ensure that all relevant types of termination are covered. The tests shall be carried out at the rated supply voltage and in a reproducible manner.

4.3 Documentation for the user

The manufacturer shall supply the documentation necessary for the installer of a BDM, CDM, or for the user of a PDS for the correct installation into a typical system or process. The user shall be informed if additional components are necessary, and if special measures have to be taken to achieve compliance with the EMC requirements of the dedicated environment; for example, the amount of network impedance, the use of shielded or special cables and maximum length, or the use of filters as well as the correct bonding to functional earth.

A list of optional devices or equipment, which shall be added to the PDS to make it compliant with the immunity and/or emission requirements of different environments, shall be made available. A list of auxiliary equipment (for example options or enhancements) that can be added to the PDS, and which complies with the immunity and/or emission requirements shall be made available. In accordance with the completeness and the character of the delivered product; for example, whether it is a BDM, CDM or a PDS, and depending on the EMC sensitivity of the environment, the manufacturer shall be responsible for choosing the additional information which is necessary to perform the typical installation correctly.

This information may also be mentioned in some part of the test report to clarify the final recommended arrangement. For example, additional information is required, if a BDM should be installed in a domestic environment. The contents of the application guide shall also be adapted to the typical technical competence of the user.

5 Prescriptions d'immunité

5.1 Conditions générales

On peut vérifier par des essais distincts, en utilisant des charges adéquates à la place des parties manquantes là où c'est nécessaire, l'immunité aux perturbations électromagnétiques des divers sous-ensembles d'un PDS, tels que électronique de puissance, déclencheurs, circuits de protection, circuits de contrôle, afficheurs et panneaux de commande. Ces tests vérifient les performances intrinsèques des sous-ensembles en utilisant, si besoin est, des charges significatives à la place des parties manquantes. Les tests des accès ou interfaces du PDS appartenant à ces sous-ensembles peuvent être pratiqués en choisissant dans les tableaux 2 et 3 la méthode d'essai et les valeurs pertinentes. Cette méthode est conseillée pour faciliter l'assurance qualité, et les résultats peuvent être portés aux rapports d'essais.

En alternative, on peut tester les performances spécifiques des BDM, CDM ou PDS complets, en lieu et place des performances intrinsèques de leurs sous-ensembles.

5.1.1 Critères de qualification (critères de performance)

Tableau 1 – Critères de qualification d'un PDS aux perturbations électromagnétiques

Rubriques	Critère de qualification / critère de performance		
	A	B	C
Performance spécifique Générale	Pas de changement sensible des caractéristiques de fonctionnement FONCTIONNE COMME PRÉVU dans les tolérances spécifiées	Changements sensibles (visible ou audible) des caractéristiques de fonctionnement AUTORÉCUPÉRABLE	Arrêt, changements des caractéristiques de fonctionnement Déclenchement des protections (voir note 1 en 5.1.1) NON AUTORÉCUPÉRABLE
Performance spécifique Spéciale Comportement en générateur de couple	Ecart de couple dans les tolérances spécifiées	Ecart de couple temporaire en dehors des tolérances spécifiées AUTORÉCUPÉRABLE	Perte de couple NON AUTORÉCUPÉRABLE
Performance intrinsèque Fonctionnement de l'électronique de puissance et de ses déclencheurs	Pas de dysfonctionnement des semiconducteurs de puissance	Dysfonctionnement temporaire qui ne peut pas provoquer de déclenchement	Arrêt, déclenchement des protections ou fusion fusibles (voir note 1 en 5.1.1) NON AUTORÉCUPÉRABLE
Performance intrinsèque Fonctions de traitement et d'acquisition des données	Non-perturbation de la communication et de l'échange des données avec des matériels externes	Perturbation temporaire de la communication mais pas de message d'erreur des composants internes ou externes qui pourrait provoquer l'arrêt	Erreurs de communication, perte de données et d'information NON AUTORÉCUPÉRABLE
Performance intrinsèque Fonctionnement des afficheurs et panneaux de commande	Pas de changement des informations affichées, seulement une légère fluctuation de la luminosité des DEL, ou un léger mouvement des caractères	Modifications temporaires visibles des informations, illumination intempestive des DEL	Arrêt, perte permanente des informations ou mode de fonctionnement interdit, informations affichées manifestement erronées

5 Immunity requirements

5.1 General conditions

The immunity of the subcomponents of a PDS, such as power electronics, driving circuits, protection circuits, control circuits, displays and control panels, against electromagnetic disturbances may be verified by separate tests, using where necessary suitable loads instead of the missing parts. These tests verify the intrinsic performance of the subcomponents. The tests of the ports or interfaces of the PDS contained in those subcomponents may be performed by choosing the relevant test methods and levels from tables 2 and 3. This method is recommended to support quality assurance, and the results can be included in the test reports.

Alternatively, the specific performance of the BDM, or of the CDM, or of the PDS may be tested instead of the intrinsic performances of their subassemblies.

5.1.1 Acceptance criteria (performance criteria)

Table 1 – Criteria to prove the acceptance of a PDS against electromagnetic disturbances

Item	Acceptance / performance criterion		
	A	B	C
Specific performance General	No noticeable changes of the operating characteristic OPERATING AS INTENDED within specified tolerance	Noticeable changes (visible or audible) of the operating characteristic SELF RECOVERABLE	Shut-down, changes in operating characteristic. Triggering of protective devices (see note 1 in 5.1.1) NOT SELF RECOVERABLE
Specific performance Special Torque generating behaviour	Torque deviation within specified tolerances	Temporary torque deviation outside specified tolerances SELF RECOVERABLE	Loss of torque NOT SELF RECOVERABLE
Intrinsic performance Operating of power electronics and driving circuits	No breakdown of a power semiconductor	Temporary breakdown which cannot cause unintended shut-down of the drive	Shut-down, triggering of protective devices (see note 1, in 5.1.1) NOT SELF RECOVERABLE
Intrinsic performance Information processing and sensing functions	Undisturbed communication and data interchange to external devices	Temporarily disturbed communication, but no error reports of the internal or external devices which could cause shut-down	Errors in communication, loss of data and information NOT SELF RECOVERABLE
Intrinsic performance 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

Les critères de qualification doivent être utilisés pour vérifier la tenue d'un PDS aux perturbations externes. Du point de vue de la CEM, toute installation telle que décrite à la figure 1 doit fonctionner correctement. Il est difficile de prévoir les conséquences sur le processus que peuvent causer les modifications de performance du PDS du fait qu'un PDS n'est qu'une partie de la séquence fonctionnelle d'un processus plus vaste.

Les fonctions principales d'un PDS sont la conversion d'énergie électrique en énergie mécanique et le traitement de l'information nécessaire pour y parvenir. Les critères de qualification intrinsèques doivent être subdivisés en trois parties pour chaque rubrique:

- fonctionnement de l'électronique de puissance et des circuits de déclenchement;
- fonctionnement des circuits de traitement d'information et d'acquisition de données;
- fonctionnement des afficheurs et panneaux de commande.

Le tableau 1 classe les effets d'une perturbation donnée en trois critères de qualification/performance relatifs à une rubrique spécifiée: A, B et C, chacun d'eux définissant un niveau spécifié de performance.

NOTES

1 Critère de qualification C

La fonction peut être récupérée par intervention de l'opérateur (remise en état manuelle). Le remplacement des fusibles est autorisé pour les convertisseurs à thyristors en mode de fonctionnement onduleur.

2 Critères de qualification A, B, C

Les démarrages intempestifs ne sont pas acceptés. Un démarrage intempestif est un changement involontaire de l'état logique «ARRÊT» qui peut provoquer la mise en marche du moteur.

5.1.2 Sélection des critères de qualification intrinsèque ou spécifique

Le test de qualification spécifique général du tableau 1 doit être défini en fonction de l'application spéciale et de la configuration typique du PDS. Le choix de la rubrique est de la responsabilité du constructeur. Il est souhaitable de choisir les tests des sous-ensembles selon les critères de qualification intrinsèques dans les cas où le PDS ne peut pas être mis en oeuvre sur un site d'essais en raison des contraintes de taille, de courant ou de puissance d'alimentation ou de conditions de charge. Dans tous les cas, les matériels de test doivent présenter une immunité suffisante au plus haut niveau de perturbation applicable au PDS ou au sous-ensemble en essai.

Les essais de qualifications intrinsèques doivent être employés lorsque les rubriques de qualification spécifiques, conformes au tableau 1,

- ne sont pas suffisamment applicables, ou
- ne sont pas réalisables pour des raisons techniques ou économiques (exemple: PDS grand et/ou complexe composé d'unités fonctionnelles intégrées qui sont séparables).

L'essai des fonctions de traitement et acquisition des données, comprenant les accessoires optionnels s'ils existent, ne doit être appliqué que lorsque les accès ou interfaces concernés sont disponibles sur le PDS. Les tests de qualification intrinsèque, selon le tableau 1, appliqués aux fonctions présentes, suffisent à déterminer la conformité à cette norme.

On ne pratique l'essai de qualification, en générateur de couple, que lorsqu'il est mentionné explicitement dans les exigences du client. Dans ce cas, la performance de couple peut être testée directement ou indirectement. L'essai direct utilise un couplemètre lui-même suffisamment immunisé du point de vue de la CEM, pour mesurer les perturbations de couple, tandis que les essais indirects ont pour base les performances en courant. L'essai indirect peut en effet faire référence soit aux performances en courant, soit aux performances en vitesse à condition de connaître l'inertie totale. On peut définir la performance de couple par la capacité du contrôle à maintenir le courant constant ou la vitesse constante, c'est-à-dire à l'intérieur de tolérances définies lors de l'application d'une perturbation (voir aussi 5.1.3).

The acceptance criteria shall be used to check the performance of a PDS against external disturbances. From the EMC point of view any installation, according to figure 1, shall be running properly. Since a PDS is part of the functional sequence of a larger process, the effect on this process caused by changes in the performance of the PDS is hard to forecast.

The main functions of a PDS are energy conversion from the electrical to mechanical form and the information processing necessary to perform this. The intrinsic performance shall be subdivided into three parts for every item:

- operation of power electronics and driving circuits;
- information processing and sensing functions;
- operation of displays and control panels.

Table 1 classifies the effects of a given disturbance into three acceptance/performance criteria: A, B and C, each of which defines a specified level of performance.

NOTES

1 Acceptance criterion C

The function can be restored by operator intervention (manual reset). Blowing of fuses is allowed for line commutated converters operating in inverting mode.

2 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.

5.1.2 Selection of intrinsic or specific performance

The general specific performance item from table 1 shall be defined in accordance with the special application and typical configuration of the PDS. It is the responsibility of the manufacturer to select these items. Testing of subcomponents with intrinsic criteria should be used in cases when a PDS cannot be put into service on a test site because of limitation on the physical size of the PDS, on the current or rated supply capability, or load conditions. In any case, the test set-up shall be immune to the highest level of disturbance applied to the PDS or to the subcomponent under test.

Intrinsic performance tests shall be used when the specific performance item according to table 1:

- is not sufficiently applicable; or
- is not practicable for technical or economical reasons (for example large and/or complex PDSs with separate functional units).

Testing of information processing and sensing functions, including optional accessories if any, shall be performed only in cases where the relevant ports or interfaces are available at the PDS. Testing of the intrinsic performance, according to table 1, where the functions exist, is sufficient to determine the compliance with this standard.

The special specific performance, torque generating behaviour, shall be tested only in cases where it is clearly defined by the customer requirements. In that case, the torque generating performance can be directly or indirectly tested. The direct test uses an EMC immune torquemeter to measure torque disturbances, while the indirect test refers to current performances. The indirect test can use current or speed performance, provided the total inertia is specified. Torque performance can be defined through the ability to keep current or speed constant, within specified tolerances when a disturbance is applied (see also 5.1.3).

5.1.3 Conditions pendant l'essai

Des essais à faible charge sont suffisants. Par exemple, dans le cas des circuits déclencheurs internes, une perturbation externe est susceptible de provoquer une défaillance malgré de faibles courants de sortie (exemple: un court-circuit de branche sur une même phase ou un allumage intempestif d'un circuit court-circuité). Il en va de même pour tout matériel électronique ou à commande par microprocesseur à l'intérieur du PDS.

Si un essai à pleine charge est demandé (en tant que clause spécifique du contrat) le test de qualification spécifique doit être appliqué au BDM en tant qu'unité complète. Voir A.3.

L'essai de comportement en générateur de couple comme celui des fonctions de traitement et acquisition des données requièrent un matériel de contrôle spécial convenablement immunisé contre le couplage parasite des perturbations d'essai. Cet essai ne peut être pratiqué que si l'immunité du dispositif d'essai peut être établie par des mesures de référence. La performance de couple peut être évaluée soit à l'aide d'un couplemètre, soit par mesure ou calcul du courant générant ce couple, soit par d'autres techniques indirectes; une charge adaptée et suffisamment immunisée doit être disponible sur le site d'essai.

L'essai de qualification des fonctions de traitement et d'acquisition de données exige la disponibilité d'un équipement approprié pour simuler la communication ou l'évaluation des données. Cet équipement doit être doté d'une immunité suffisante pour fonctionner correctement pendant l'essai.

La partie moteur du PDS, à l'exception des capteurs, ne nécessite pas d'essais d'immunité CEM en raison des essais déjà exécutés par son constructeur suivant les normes applicables. Donc, bien que le moteur doive être raccordé au BDM/CDM pour la durée de l'essai, les essais CEM ne sont pas nécessaires sur le moteur même.

Les essais doivent être appliqués aux accès pertinents, lorsqu'ils existent, y compris ceux des options, et se déroulent d'une manière bien définie et reproductible accès par accès. Néanmoins, si plusieurs accès de mesure et de commande du processus ou interfaces de signal sont de configuration physique identique (même schéma), on peut réduire l'essai à un seul cas représentatif.

Les exigences minimales, les essais et les critères de qualification sont énoncés dans les articles suivants. Les critères de qualification font référence à 5.1.1.

5.2 Prescriptions d'immunité de base – perturbations basse fréquence

Les prescriptions de ces paragraphes doivent être utilisées dans la conception de l'immunité d'un PDS aux perturbations basse fréquence. Les essais ou calculs correspondants doivent être définis par chaque constructeur afin de vérifier la conception. Les résultats doivent être fournis en tant que spécification du produit.

Le niveau d'immunité pris en compte pour la conception d'un variateur (BDM) correspondant à une classe de fonctionnement donnée doit être supérieur ou au moins égal au niveau de compatibilité du système auquel il est raccordé. Les niveaux de compatibilité entre systèmes raccordés au même point de couplage (PC) sont définis en fonction du phénomène physique commun, c'est-à-dire la tension. Ils sont indiqués au point de couplage commun (PCC) dans la CEI 1000-2-2 pour les réseaux publics à basse tension, et au PC dans la CEI 1000-2-4 pour les réseaux industriels à basse tension. Le tableau A.4 résume un point de vue pratique.

5.2.1 Harmoniques et encoches de commutation / distorsion en tension

Les niveaux d'immunité de distorsion harmonique totale et individuelle (pour chaque rang) pris en compte pour la conception doivent être au moins égaux aux niveaux de compatibilité en régime permanent tels que définis dans la CEI 1000-2-4 (classe 3: THD = 10 %) ou dans la CEI 1000-2-2 (THD = 8 %). Le critère de qualification est A.

5.1.3 Conditions during the test

A light load test is acceptable. For example, in the case of the built-in gate drive circuit, an external disturbance could cause a failure condition in spite of small output currents (for example an undesired short circuit between two arms of the same phase, or an undesired firing of a crow-bar circuit). The same applies in the case of any electronic or microprocessor controlled equipment inside the PDS.

If a full load test is required (as a contract specific item), the specific performance test shall be used, and the test shall be carried out on the BDM as a complete unit. See A.3.

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 can only be used if the immunity of the test set-up is provable by reference measurements. The evaluation of the torque disturbance can be performed by a torque transducer, or by measurement or calculation of the torque generating current or other indirect techniques; an adapted and immune load shall be available at the test site.

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.

Since the motor has been tested by its manufacturer according to the relevant standards, the motor section of the PDS, with exception of the sensors, does not need any additional EMC immunity test. Therefore, while the motor is connected to the BDM/CDM for the duration of the test, EMC immunity tests on the motor itself are not required.

The tests shall be applied to the relevant ports where they exist, including those of optional accessories if any, and shall be conducted in a well-defined and reproducible manner on a port-by-port basis. However if several process measurement and control ports or signal interfaces have the same physical configuration (layout), it is sufficient to test one port or interface of that type.

In the following subclauses the minimum requirements, tests and acceptance criteria are stated. The acceptance criteria refer to 5.1.1.

5.2 Basic immunity requirements – low-frequency disturbances

The requirements in these subclauses shall be used for designing the immunity of a PDS against low-frequency disturbances. The corresponding tests or calculations shall be defined by each manufacturer to verify their design. Results shall be given as a specification of their product.

The immunity levels used for design of a basic drive module (BDM), corresponding to a given functioning class shall be higher than or at least equal to the compatibility level of the system in which it is intended to be operated, according to the following cases. The compatibility levels between systems connected to the same point of coupling (PC) are defined with respect to the common physical phenomenon, that is the voltage. They are given in IEC 1000-2-2 for public low-voltage systems at the point of common coupling (PCC), and IEC 1000-2-4 for industrial low-voltage supply systems at the PC. Table A.4 summarises a practical point of view.

5.2.1 Harmonics and commutation notches / voltage distortion

The immunity levels used for design, relative to total harmonic distortion and to individual harmonic orders, shall be at least equal to the permanent compatibility levels of IEC 1000-2-4 (class 3: THD = 10 %) or IEC 1000-2-2 (THD = 8 %) for steady-state conditions. The acceptance criterion shall be A.

Le critère de qualification B est requis en régime transitoire (durée inférieure à 15 s), avec un niveau d'immunité pris en compte pour la conception au moins égal à 1,5 fois le niveau de compatibilité du régime permanent.

La tension de crête calculée par sommation arithmétique des tensions harmoniques et interharmoniques venant des niveaux de compatibilité donnés par la CEI 1000-2-4 ou par la CEI 1000-2-2 n'a pas de sens physique. Ce n'est pas un critère d'immunité.

Sur des réseaux spécifiques dédiés aux convertisseurs de puissance, les niveaux de distorsion harmonique rencontrés peuvent être beaucoup plus grands que les niveaux maximaux de compatibilité (pour calculer la distorsion harmonique totale) de la CEI 1000-2-4. Voir, par exemple, la classe d'immunité A en 2.5.4.1 de la CEI 146-1-1. Si ce niveau élevé est requis, cela doit être spécifié par l'utilisateur.

De nombreux convertisseurs produisent des encoches de commutation. L'effet nocif des encoches sur un PDS peut être beaucoup plus important que ce qu'indiquerait une analyse fréquentielle de la distorsion harmonique. Par conséquent, il faut pratiquer une analyse des encoches de commutation dans le domaine temporel. Une classification des encoches se trouve en 2.5.4.1 de la CEI 146-1-1. Les encoches sont définies par leur profondeur (d , en % de U_{LWM}) et leur surface (en % $\times$ degrés).

Sauf spécification plus sévère prescrite par l'utilisateur, les niveaux d'immunité aux encoches de commutation, pris en compte pour la conception des PDS susceptibles d'être utilisés dans le deuxième environnement, doivent être égaux à ceux de la classe B de la CEI 146-1-1 (profondeur 40 % et surface 250 % $\times$ degrés). Le critère de qualification A est requis.

On remarque que les contraintes dues à la fois aux harmoniques et aux encoches de commutations affectent le commande-contrôle électronique et aussi certains composants de puissance (circuits d'aide à la commutation par exemple). Comme les dysfonctionnements du commande-contrôle électronique apparaissent immédiatement, et que les circuits d'aide à la commutation ont une constante de temps thermique courte, il n'est pas nécessaire que l'essai aux conditions permanentes, s'il est réalisé, dure plus de 1 h. Pour plus d'explications, voir B.1.

5.2.2 Variations, fluctuations, creux de tension et coupures brèves

5.2.2.1 Fluctuations de tension

Les formes typiques de fluctuation de tension sont données aux figures 3 à 6 de la CEI 1000-2-1. Les variations de tension, par rapport à la tension assignée, auxquelles le PDS est susceptible d'être soumis, sont listées au tableau 1 de la CEI 1000-2-4 (classe 2 = ± 10 % et classe 3 = +10 %, -15 %, pour des durées inférieures à 1 min). Les niveaux d'immunité pris en compte pour la conception doivent conduire au critère de qualification A. On peut s'attendre à une réduction de la puissance mécanique de sortie maximale – vitesse et/ou couple – si la tension d'entrée est inférieure à sa valeur assignée (voir tableau A.4).

5.2.2.2 Creux de tension – coupures brèves

Les creux de tension et coupures brèves sont des diminutions de la tension d'alimentation au-delà de la gamme de fluctuation. Elles peuvent avoir des amplitudes comprises entre 10 % et 100 % (tension disponible entre 90 % et 0 %) et sont définies comme ayant une durée inférieure à 1 min (voir CEI 1000-2-1). Même un creux de tension de 30 % à 50 % d'amplitude et d'une durée de 0,3 s à 1,0 s est une perte d'énergie disponible que le PDS ne peut pas convertir.

L'effet d'un creux de tension (réduction d'énergie) sur le processus est difficile à définir sans une connaissance détaillée de ce dernier. Cet effet est lié à un aspect système et dimensionnement, et il est généralement plus important lorsque la demande d'énergie (y compris les pertes) du PDS est supérieure à la puissance disponible.

For transient conditions (duration less than 15 s), the immunity levels used for design, shall be at least 1,5 times the permanent compatibility levels and acceptance criterion B is then required.

A peak voltage calculated by arithmetic summation of harmonic and interharmonic voltages coming from compatibility levels which are stated in IEC 1000-2-4 or IEC 1000-2-2 has no physical meaning. It is not an immunity criterion.

In the case of particular networks dedicated to power converters, the levels of harmonic distortion factor which are encountered may be much greater than the maximum compatibility levels (to calculate the total harmonic distortion) of IEC 1000-2-4. See, for example, immunity class A in 2.5.4.1 of IEC 146-1-1. If this higher level of immunity is required, this shall be stated by the user.

Many converters produce commutation notches. The harmful effect of notches on a PDS may 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 required. Notches are classified, for example, in 2.5.4.1 of IEC 146-1-1. Notch measurements are defined in depth (d , in % of U_{LWM}) and in area (in % × degrees).

The immunity levels used for design, against commutation notches of PDSs which are to be used in the second environment, shall be equal to immunity class B of IEC 146-1-1 (depth 40 % and area 250 % × degrees), unless a higher immunity level is specified by the user. The acceptance criterion shall be A.

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. For further explanation, see B.1.

5.2.2 Voltage changes, fluctuations, dips and short interruptions

5.2.2.1 Voltage fluctuations

Typical shapes of voltage fluctuations are given in figures 3 to 6 of IEC 1000-2-1. The amplitude, with respect to the rated voltage which the PDS has to expect, is listed in table 1 of IEC 1000-2-4 (class 2: ±10 % and class 3: +10 %, –15 % for less than 1 min). Immunity levels used for design shall result in acceptance criterion A. A possible reduction of maximum mechanical output ratings – speed and/or torque – can be expected when the input voltage is below rated (see A.1.2 table A.4).

5.2.2.2 Voltage dips – short interruptions

Voltage dips and short interruptions are reductions in the supply voltage which are beyond the fluctuation range. They can have amplitudes between 10 % and 100 % (remaining voltage 90 % to 0 %) and are defined as having durations of less than 1 min (see IEC 1000-2-1). Even a voltage dip of 30 % to 50 % amplitude and 0,3 s to 1,0 s duration is a loss of available energy which cannot be converted by the PDS.

The effect of a voltage dip (energy reduction) on the process is difficult to define without detailed knowledge of this process. This effect is a system and rating aspect, and will generally be greatest when the power demand (including losses) on the PDS is higher than the available power.

Le niveau d'immunité utilisé à la conception, contre les creux de tension et les coupures brèves, doit couvrir le critère d'acceptation C défini au tableau 1. Le constructeur doit définir le comportement du PDS face aux creux de tension et coupures brèves, et tenir cette information disponible pour l'utilisateur.

Conformément à l'état de l'art, le comportement d'un PDS est prévisible par des calculs simples et fiables, et dépend de son mode de fonctionnement et de son dimensionnement. Par conséquent, il n'est pas nécessaire de réaliser les essais aux creux de tension (qui sont coûteux). Cependant, lorsque cela est possible et sans danger (voir article 7), le comportement d'un PDS pendant les coupures brèves peut être vérifié en coupant et rétablissant le réseau d'alimentation dans des conditions de fonctionnement normales (voir B.4.1).

Les exemples suivants illustrent ce sujet complexe. Une baisse de tension d'entrée, même pendant quelques millisecondes, appliquée à un convertisseur à thyristors commuté par le réseau en mode récupération, peut entraîner une fusion de fusibles. La simple adaptation à la nature du processus des tolérances sur la vitesse et le couple permet une meilleure définition de l'immunité (par exemple les ventilateurs et les enrouleurs doivent être traités différemment).

Si un niveau d'immunité supérieur est requis, il doit faire l'objet d'une spécification particulière de l'utilisateur. Les améliorations (utilisation d'ASI, générateur de secours, déclassement, etc.) peuvent augmenter considérablement la taille et le coût du PDS et peuvent réduire le rendement ou le facteur de puissance. Des opérations telles que le redémarrage automatique peuvent avoir des conséquences sur la sécurité, qui sont de la responsabilité de l'utilisateur ou de l'installateur, et ne sont pas couvertes par cette norme (voir article 7).

5.2.3 Déséquilibre de tension et variations de fréquence

5.2.3.1 Déséquilibre de tension

Le déséquilibre de tension peut être dû à une charge monophasée sur un réseau triphasé. En pratique, il est égal au rapport de la puissance de la charge monophasée résiduelle à la puissance triphasée de court-circuit du réseau. Les niveaux d'immunité pris en compte pour la conception doivent être au moins égaux aux niveaux de compatibilité au point de couplage (PC) considéré, donnés dans le tableau 1 de la CEI 1000-2-4 (classe 3: 3 %) ou dans l'article 6 de la CEI 1000-2-2 (2 %). Voir explications en B.3.

5.2.3.2 Variations de fréquence

Les variations de fréquence sont compensées par l'électronique de commande dans la limite des niveaux de compatibilité. Le point critique pour ces commandes peut être la rapidité de cette variation de fréquence.

Les niveaux de compatibilité sont donnés dans la CEI 1000-2-4 (classe 3: ± 2 % ou ± 4 % pour des réseaux d'alimentation indépendants) et les rapidités de changement respectives sont: 1 % et 2 % par seconde, ou selon l'article 8 de la CEI 1000-2-2 (± 1 Hz).

5.2.4 Influences de l'alimentation

5.2.4.1 Champs magnétiques

Ce paragraphe concerne les champs magnétiques à la fréquence du réseau (voir CEI 1000-4-8) et les champs magnétiques impulsionnels (accès enveloppe). L'expérience bien établie montre à l'évidence qu'il n'est pas nécessaire d'appliquer ces essais aux circuits de traitement et d'acquisition de données des PDS, en raison même des champs magnétiques élevés à proximité du CDM (par exemple à l'intérieur de l'armoire du CDM).

The immunity level used for design against voltage dips and short interruptions shall result in acceptance criterion C, as defined in table 1. The manufacturer of the PDS shall make available to the user information about the behaviour of the PDS during these conditions.

According to the state of the art, the behaviour of the PDS is predictable with simple and reliable calculations, and depends on its operating mode and on its rating. Therefore, tests against voltage dips (which are uneconomic) need not be performed. Nevertheless, where it is possible and not dangerous (see clause 7), the behaviour of the PDS during short interruptions may be verified by switching off and on the mains supply during the standard operating conditions of the PDS (see B.4.1).

The following examples illustrate this complex matter. The decreasing input voltage, even with a duration of a few milliseconds, may result in blowing of fuses when applied to a line commutated thyristor converter operating under regeneration mode. Adaptation of tolerances, for speed and torque, to the nature of the process simply allows a better definition of immunity (for example fans and winders shall be differentiated).

If a higher level of immunity is required, this shall be stated by the user. Improvements (use of UPS, stand-by generator, derating, etc.) may result in a considerable increase in the size and cost of the PDS and may reduce the efficiency or power factor. Operation such as automatic restart may have safety consequences, which are the installer's or user's responsibility, and are not covered by this standard (see clause 7).

5.2.3 *Voltage unbalance and frequency variations*

5.2.3.1 *Voltage unbalance*

Voltage unbalance can be caused by a single-phase load on a three-phase system. In practice, it is equal to the ratio of the single-phase unbalance load power to the network three-phase short circuit power. The immunity level used for design shall be at least equal to the same value as the compatibility level on the considered point of coupling (PC), given in table 1 of IEC 1000-2-4 (class 3: 3 %) or clause 6 of IEC 1000-2-2 (2 %). For explanation, see B.3.

5.2.3.2 *Frequency variations*

Frequency variations are compensated for by the control electronics within the limit of compatibility levels. The critical point for the control can be the rate of change of such frequency variation.

The compatibility levels are given in IEC 1000-2-4 (class 3: ± 2 % or ± 4 % for separated supply networks) and the corresponding rates of change are 1 % and 2 % per second respectively, or clause 8 of IEC 1000-2-2 (± 1 Hz).

5.2.4 *Supply influences*

5.2.4.1 *Magnetic fields*

This subclause refers to power frequency magnetic fields (see IEC 1000-4-8) and pulse magnetic fields (enclosure port). The evidence of established experience shows that these tests need not be applied to the information processing and sensing functions of the PDS, since they are in close proximity to the high magnetic field of the CDM (for example inside the cabinet of the CDM itself).

NOTE – Les environnements suivants peuvent requérir des essais supplémentaires:

- les centrales de production d'énergie et centres de télétransmission pour lesquels l'essai de champ magnétique impulsionnel suivant la CEI 1000-4-9 peut être nécessaire;
- les sous-stations et postes moyenne ou haute tension pour lesquels l'essai de champ magnétique oscillatoire amorti suivant la CEI 1000-4-10 peut être nécessaire.

5.2.4.2 *Mode commun à la fréquence du réseau (accès mesure et commande de processus)*

Les liaisons en mode commun sont source de nombreux problèmes d'interférences dans les environnements perturbés dès que les longueurs de câbles dépassent 2 m (voir A.4.1 pour plus d'informations). Il faut noter que même un accès de transmission de signal en mode différentiel pourrait être mal utilisé et s'apparenter à une liaison en mode commun (si une borne est raccordée à la terre).

Dans les cas de transmission de signal en mode différentiel, les conditions et les limites de test pour les applications industrielles sont à l'étude.

5.3 *Prescriptions d'immunité de base – perturbations haute fréquence*

Les tableaux 2 et 3 ci-dessous donnent les exigences minimales et les critères de qualification aux essais de perturbations haute fréquence. Les critères de qualification font référence au paragraphe 5.1.1. Des explications sont données en A.4.

5.3.1 *Premier environnement*

Ces niveaux s'appliquent uniquement aux entraînements (PDS) destinés à être raccordés à un réseau public basse tension qui alimente aussi des immeubles à usage domestique.

Si un BDM/CDM est conçu pour avoir une immunité conforme au tableau 2, il doit comporter un avertissement figurant dans le catalogue et sur l'appareil indiquant qu'il n'est pas destiné à être utilisé en environnement industriel.

NOTE – The following environments may require additional tests:

- electrical generating plants, and telecontrol centres may require pulse magnetic field tests according to IEC 1000-4-9 to be performed;
- medium or high-voltage substations may require damped oscillatory magnetic field tests according to IEC 1000-4-10 to be performed.

5.2.4.2 Power frequency common mode (for process measurement and control)

Common mode signal transmission is susceptible to interference problems in disturbed environments and with lines which may exceed 2 m (see A.4.1 for further recommendations). Note that even a differential mode signal transmitting port could be misused for common mode transmission (if one terminal is connected to earth).

In the cases of differential mode signal transmission, test conditions and limits for industrial applications are under consideration.

5.3 Basic immunity requirements – high-frequency disturbances

In the following tables 2 and 3, the minimum immunity requirements for high-frequency disturbance tests, and acceptance criteria are stated. The acceptance criteria refer to 5.1.1. Explanations are given in A.4.

5.3.1 First environment

These levels shall be applied to a PDS which is intended to be connected only to a public low-voltage network which supplies domestic premises.

If a CDM/BDM is designed to have an immunity according to table 2 it shall include a written warning in the catalogue and on the equipment which indicates that it is not intended to be used in an industrial environment.

**Tableau 2 – Prescriptions d'immunité minimales pour entraînement (PDS)
destinés à l'utilisation dans un environnement public et non
sur des réseaux industriels**

Accès	Phénomène	Document de référence	Niveau	Critères de qualification
Accès enveloppe	DES ¹⁾ EMF ⁷⁾	CEI 1000-4-2 Voir 5.3.3	6 kV DC ou 8 kV DA si DC impossible	B A
Accès puissance	Transitoires rapides-salve Choc ³⁾ 1,2/50 µs, 8/20 µs	CEI 1000-4-4 CEI 1000-4-5	1 kV/5 kHz ²⁾ 1 kV ⁴⁾ 2 kV ⁵⁾	B B
Interfaces de puissance	Transitoires rapides-salve	CEI 1000-4-4	1 kV/5 kHz ⁶⁾ Pince capacitive	B
Accès lignes de mesure et de commande et interfaces de signal	Transitoires rapides-salve	CEI 1000-4-4	0,5 kV/5 kHz ⁶⁾ Pince capacitive	B
DC = décharge de contact DA = décharge dans l'air				
1) Les essais sont impossibles et interdits pour des raisons de sécurité si le CDM est sur panneau ou châssis ouvert ou avec un degré de protection IP00. Dans ce cas, le constructeur doit fixer une étiquette d'avertissement appropriée. 2) Accès de puissance pour courant assigné <100 A: couplage direct, utilisant le réseau de couplage-découplage. Accès de puissance pour courant assigné ≥100 A: couplage direct ou pince capacitive sans réseau de découplage. Si l'on emploie la pince capacitive, le niveau d'essai doit être 2 kV/5 kHz. 3) Applicable seulement à l'entrée de puissance c.a. et seulement si l'équipement d'essai approprié est couramment disponible. La tension d'impulsion normalisée d'isolation de base ne doit pas être dépassée (voir CEI 664-1). 4) Couplage de ligne à ligne. 5) Couplage entre ligne et terre. 6) Applicable seulement aux accès ou aux interfaces dont les câbles selon les spécifications fonctionnelles du constructeur peuvent dépasser 2 m. 7) EMF est le symbole du champ électromagnétique.				

5.3.2 Deuxième environnement

Indépendamment des prescriptions ci-dessus, il est possible d'intégrer un niveau d'immunité plus important dans les produits. Les niveaux du tableau 3 doivent être appliqués aux PDS destinés à être utilisés dans le deuxième environnement.

Table 2 – Minimum immunity requirements for power drive systems (PDSs) intended for use in public environment, and not for industrial networks

Port	Phenomenon	Reference document	Level	Acceptance criterion
Enclosure port	ESD ¹⁾ EMF ⁷⁾	IEC 1000-4-2 See 5.3.3	6 kV CD or 8 kV AD if CD impossible	B A
Power ports	Fast transient-burst Surge ³⁾ 1,2/50 μ s, 8/20 μ s	IEC 1000-4-4 IEC 1000-4-5	1 kV/5 kHz ²⁾ 1 kV ⁴⁾ 2 kV ⁵⁾	B B
Power interfaces	Fast transient-burst	IEC 1000-4-4	1 kV/5 kHz ⁶⁾ Capacitive clamp	B
Ports for process measurement control lines and signal interfaces	Fast transient-burst	IEC 1000-4-4	0,5 kV/5 kHz ⁶⁾ Capacitive clamp	B
CD = contact discharge AD = air discharge				
¹⁾ Tests are not possible, and are forbidden for safety reasons, if the CDM is in an open frame or chassis unit or rating IP00. In that case, the manufacturer shall attach a suitable static warning label to the unit. ²⁾ Power ports with current rating <100 A: direct coupling, using the coupling and decoupling network. Power ports with current rating $\geq$ 100 A: direct coupling or capacitive clamp without decoupling network. If the capacitive clamp is used, test level shall be 2 kV/5 kHz. ³⁾ Applicable only to input-a.c. power ports and only if suitable test equipment is generally available. The rated impulse voltage of the basic insulation shall not be exceeded (see IEC 664-1). ⁴⁾ Coupling line to line. ⁵⁾ Coupling line to earth. ⁶⁾ Applicable only to ports or interfaces with cables whose total length according to the manufacturer's functional specification may exceed 2 m. ⁷⁾ EMF is electromagnetic field.				

5.3.2 Second environment

Irrespective of the above-mentioned requirements, a higher degree of immunity can be integrated into products. The levels in table 3 shall be applied to PDSs which are intended to be used in the second environment.

**Tableau 3 – Prescriptions d'immunité minimales pour entraînement (PDS)
destinés à l'utilisation dans un environnement industriel**

Accès	Phénomène	Document de référence	Niveau	Critères de qualification
Accès enveloppe	DES ¹⁾ EMF ⁷⁾	CEI 1000-4-2 Voir 5.3.3	6 kV DC ou 8 kV DA si DC impossible	B A
Accès puissance	Transitoires rapides-salve Choc ³⁾ 1,2/50 µs, 8/20 µs	CEI 1000-4-4 CEI 1000-4-5	2 kV/5 kHz ²⁾ 1 kV ⁴⁾ 2 kV ⁵⁾	B B
Interfaces de puissance	Transitoires rapides-salve	CEI 1000-4-4	2 kV/5 kHz ⁶⁾ Pince capacitive	B
Interfaces signal	Transitoires rapides-salve	CEI 1000-4-4	1 kV/5 kHz ⁶⁾ Pince capacitive	B
Accès lignes de mesure et de commande	Transitoires rapides-salve	CEI 1000-4-4	2 kV/5 kHz ⁶⁾ Pince capacitive	B
DC = décharge de contact DA = décharge dans l'air 1) Les essais sont impossibles et interdits pour des raisons de sécurité si le CDM est sur panneau ou châssis ouvert ou avec un degré de protection IP00. Dans ce cas, le constructeur doit fixer une étiquette d'avertissement appropriée. 2) Accès de puissance pour courant assigné <100 A: couplage direct, utilisant le réseau de couplage-découplage. Accès de puissance pour courant assigné ≥100 A: couplage direct ou pince capacitive sans réseau de découplage. Si l'on emploie la pince capacitive, le niveau d'essai doit être 4 kV, 2,5 kHz. 3) Applicable seulement à l'entrée de puissance c.a. et seulement si l'équipement d'essai approprié est couramment disponible. La tension d'impulsion normalisée d'isolation de base ne doit pas être dépassée. (voir CEI 664-1). 4) Couplage de ligne à ligne 5) Couplage entre ligne et terre 6) Applicable seulement aux accès ou aux interfaces dont les câbles selon les spécifications fonctionnelles du constructeur peuvent dépasser 2 m. 7) EMF est le symbole pour le champ électromagnétique.				

Il est important de noter que ces essais de qualification sont complémentaires d'autres prescriptions issues de la nature des circuits de puissance. On trouve ces exigences dans les futures CEI 1800-1 et 1800-2 (voir bibliographie).

5.3.3 Immunité contre les champs électromagnétiques

5.3.3.1 Prescriptions générales

Les essais décrits dans cet article doivent être appliqués pour démontrer la compatibilité du PDS avec un environnement comportant des ISM (appareil industriel, scientifique ou médical) ou des systèmes de transmission radio tel que «talkies-walkies» (émetteur-récepteur portables) ou téléphones sans fil.

Les tests définis dans la CEI 1000-4-3 s'appliquent. Cependant pour tenir compte du voisinage possible de systèmes de communication radio, la bande de fréquences doit être élargie à la gamme 26 MHz – 1000 MHz, et l'amplitude doit être 10 V/m, sauf pour le premier environnement où le niveau doit être 3 V/m. En raison de l'extension à 26 MHz, et puisque l'expérience établie montre que la probabilité de perturbation d'un PDS par des signaux de fréquence inférieure à 26 MHz est négligeable, on peut se dispenser des tests d'immunité aux courants de mode commun aux fréquences radioélectriques, tels que décrits dans la CEI/FDIS 1000-4-6. Pour plus d'explications, voir A.4.2.

**Table 3 – Minimum immunity requirements for power drive system (PDSs)
intended for use in industrial environments**

Port	Phenomenon	Reference document	Level	Acceptance criterion
Enclosure port	ESD ¹⁾ EMF ⁷⁾	IEC 1000-4-2 See 5.3.3	6 kV CD or 8 kV AD if CD impossible	B A
Power ports	Fast transient-burst Surge ³⁾ 1,2/50 μ s, 8/20 μ s	IEC 1000-4-4 IEC 1000-4-5	2 kV/5 kHz ²⁾ 1 kV ⁴⁾ 2 kV ⁵⁾	B B
Power interfaces	Fast transient-burst	IEC 1000-4-4	2 kV/5 kHz ⁶⁾ Capacitive clamp	B
Signal interfaces	Fast transient-burst	IEC 1000-4-4	1 kV/5 kHz ⁶⁾ Capacitive clamp	B
Ports for process measurement control lines	Fast transient-burst	IEC 1000-4-4	2 kV/5 kHz ⁶⁾ Capacitive clamp	B
¹⁾ Tests are not possible, and are forbidden for safety reasons, if the CDM is in an open frame or chassis unit or rating IP00. In this case, the manufacturer shall attach a suitable static warning label to the unit. ²⁾ Power ports with current rating <100 A: direct coupling, using the coupling and decoupling network. Power ports with current rating $\geq$100 A: direct coupling or capacitive clamp without decoupling network. If the capacitive clamp is used, test level shall be 4 kV/2,5 kHz. ³⁾ Applicable only to input a.c. power ports and only if suitable test equipment is generally available. The rated impulse voltage of the basic insulation shall not be exceeded (see IEC 664-1). ⁴⁾ Coupling line to line. ⁵⁾ Coupling line to earth. ⁶⁾ Applicable only to ports or interfaces with cables whose total length according to the manufacturer's functional specification may exceed 2 m. ⁷⁾ EMF is electromagnetic field. CD = contact discharge AD = air discharge				

It is important to note that these acceptance tests are complementary to other requirements due to the nature of power circuits. These requirements are stated in future IEC 1800-1 and future IEC 1800-2 (see bibliography).

5.3.3 Immunity against electromagnetic fields

5.3.3.1 General requirements

The tests in this clause shall be used to demonstrate compatibility of the PDS with an environment comprising ISM (industrial, scientific and medical equipment) or radio transmission systems such as walkie-talkies or cordless telephones.

The tests of IEC 1000-4-3 shall be performed. However, to take into account possible radio communication systems nearby, the frequency band of the test shall be extended to cover the range 26 MHz – 1000 MHz, and the amplitude shall be 10 V/m, except for the first environment where the level shall be 3 V/m. Because of the extension to 26 MHz, and since established experience indicates that PDSs are unlikely to be disturbed by radio frequency signals below 26 MHz, radio-frequency common mode immunity tests as described in IEC/FDIS 1000-4-6 are not required. For further explanation, see A.4.2.

Pour les PDS ou leurs sous-ensembles qui ne peuvent pas être mis en service sur un site d'essai en raison de leur taille, de leur calibre en courant, ou de la puissance assignée de l'alimentation disponible sur le site d'essais, ou pour d'autres raisons économiques et/ou pratiques, l'essai et les limites sont à l'étude.

Lorsque des talkies-walkies, des téléphones sans fil ou autres appareils de transmission utilisant des radiocommunications peuvent opérer à proximité de l'entraînement, l'essai ci-dessus peut être remplacé par l'essai dit «test talkie-walkie». Le test talkie-walkie est une technique de balayage le long de l'accès enveloppe du PDS, pour obtenir des champs électromagnétiques supérieurs à 3 V/m ou 10 V/m.

NOTE – La définition recommandée des PDS qui ne peuvent pas être testés conformément à la CEI 1000-4-3 sont ceux satisfaisant à une ou plusieurs des conditions suivantes: tension assignée supérieure ou égale à 500 V, courant assigné supérieur ou égal à 200 A, poids total du CDM ou des sous-ensembles supérieur ou égal à 200 kg, hauteur des sous-ensembles supérieure ou égale à 1,9 m, largeur des sous-ensembles supérieure ou égale à 1,2 m, poids du moteur supérieur ou égal à 500 kg.

5.3.3.2 Exécution du test talkie-walkie

Pendant le test, le PDS doit être en fonctionnement et contrôlé conformément à 5.1.3. Le PDS doit fonctionner dans ses conditions normales d'exploitation et les portes doivent être fermées.

Les émetteurs à utiliser sont ceux du tableau 4. Dans le cas de distribution non restreinte, il faut opérer avec un minimum de trois émetteurs différents. Deux de ces émetteurs ne doivent pas avoir la même fréquence d'émission. Il n'est pas nécessaire de pratiquer ce test en cage de Faraday, en conséquence on ne peut utiliser que des émetteurs qui sont légalement admis localement. La puissance d'entrée de l'antenne doit être conforme à l'usage commun sur les dispositifs approuvés.

Tableau 4 – Choix des émetteurs appropriés au test talkie-walkie, immunité aux champs électromagnétiques en fonction du mode de distribution du PDS

	Distribution non restreinte	Distribution restreinte
Choix de l'émetteur	Téléphone sans fil Téléphone mobile Talkie-walkie (CB émetteur) «citizen band» dans la bande 27 MHz * Émetteur radio amateur dans la bande 144 MHz *	Appareil usuellement utilisé au voisinage du PDS, dans l'installation de l'utilisateur
* De tels appareils ne doivent pas être utilisés systématiquement dans l'exécution du test talkie-walkie, dans la mesure où leurs utilisateurs sont avertis des perturbations électromagnétiques et des problèmes d'interférence.		

L'émetteur-récepteur, tenu à la main, doit être proche des surfaces verticales du CDM/BDM. Le point le plus proche de l'antenne doit être à une distance comprise entre 0,5 m et 1,0 m du PDS. L'émetteur-récepteur doit être commuté de la position réception à la position émission, puis à nouveau à la position réception. La durée de l'émission doit être suffisante pour que le PDS soit susceptible d'être perturbé. Si on utilise un téléphone dont la fonction ne peut pas être commutée entre réception et émission, il faut composer et transmettre un numéro d'appel.

On doit pratiquer au moins trois transmissions par orientation d'antenne: verticale, horizontale parallèle à la surface du PDS et perpendiculaire à cette surface (antenne pointée vers le PDS).

When a PDS or its subcomponents cannot be put into service on a test site because of its size, current rating, or the rated supply capability of the test site or other economical or/and practical reasons, the test and limits are under consideration.

When walkie-talkies, cordless telephones, or other transmission devices using radio communication can be operated in proximity of the PDS, the above test may be replaced by the so-called "walkie-talkie test". The "walkie-talkie test" is a scanning technique along the enclosure port of the PDS, the result of which is to obtain field strength values of more than 3 V/m or 10 V/m.

NOTE – Recommended definition of PDSs which cannot be tested according to IEC 1000-4-3 are with: rated voltage equal to or greater than 500 V; and/or rated current equal to or greater than 200 A; and/or CDM total weight or subunit weight equal to or greater than 200 kg; and/or subunits height equal to or greater than 1,9 m; and/or CDM or subunits width equal to or greater than 1,2 m; and/or motor weight equal to or greater than 500 kg.

5.3.3.2 Performing the "walkie-talkie test"

During the test, the PDS shall be operated and monitored according to 5.1.3. The PDS shall be operated under normal operating conditions, that is doors shall be closed.

The transmitters to be used during the test shall be selected from table 4. In the case of unrestricted distribution, at least three different transmitters shall be used. No two transmitters shall operate on the same frequency. Because this test need not be performed in a shielded room, only transmitters which are legally approved for use at the test location may be used. The antenna input power shall be in accordance with commonly used and approved devices.

Table 4 – Choice of suitable transmitters to perform the EM-immunity "walkie-talkie test" versus mode of sales distribution of PDSs

	Unrestricted distribution	Restricted distribution
Choice of transmitters	Cordless telephones Mobile telephones Walkie-talkie (CB) citizen-band transmitters in the range of 27 MHz band* Amateur radio transmitters in the range of 144 MHz*	Devices which are commonly used in close proximity to PDS at the user's premises shall be used.
* Such devices are not to be used systematically for performing the walkie-talkie test because the users of these devices are aware of EMC disturbances and interference problems.		

The transmitter shall be hand-held close to a vertical surface of the CDM/BDM. The closest point of the antenna to the PDS shall be between 0,5 m and 1,0 m from the PDS. The transmitter shall be switched from "receive" to "transmit" and back to "receive". The dwell time of the transmission shall not be less than the time necessary for the PDS 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 shall be transmitted instead.

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

Cette procédure doit être répétée:

- en au moins cinq positions de chaque surface verticale du CDM/BDM;
- en toute ouverture de ces surfaces verticales, une grille de ventilation doit être considérée comme une ouverture;
- le long de la surface du moteur si celui-ci comporte un ou des capteurs.

La procédure complète doit alors être répétée avec chaque transmetteur.

On veille à ce que la batterie ou l'alimentation de l'émetteur soit à sa valeur nominale et à ce que la puissance de sortie effective ou l'amplitude du champ soit régulièrement contrôlée. La liste des émetteurs (talkie-walkie, téléphone mobile analogique ou numérique), ainsi que leur puissance et fréquence, qui sont utilisés pour le test doit être établie par le constructeur et donnée en information à l'utilisateur.

NOTE – Il peut être possible d'insérer un capteur de puissance entre l'amplificateur et l'antenne de façon à connaître la puissance effectivement rayonnée. En alternative, l'amplitude du champ peut être mesurée directement par un capteur.

Les tests de perturbations aux fréquences radioélectriques (tels que décrits dans la CEI/FDIS 1000-4-6) ne sont pas demandés. D'autres explications sont données en A.4.2.

5.4 Application des prescriptions d'immunité – aspect statistique

Dans le choix d'un niveau de qualification d'un PDS à un test spécifique, il faut comprendre que le résultat de l'essai n'est représentatif qu'avec une certaine probabilité. On doit prendre en compte cette probabilité dans la spécification du nombre de répétitions du test ou dans sa durée d'application, en fonction du critère de qualification associé et du rôle affecté au PDS.

Les prescriptions d'immunité doivent être vérifiées par un essai de type effectué sur une unité représentative. Le constructeur ou fournisseur doit assurer par l'intermédiaire de son système de qualité que la qualification CEM du produit est maintenue.

Les résultats de mesures obtenus sur un PDS installé dans son lieu d'utilisation (et non sur un site d'essai) ne sont valables que pour cette installation.

6 Prescriptions d'émission

Dans la mesure du possible, il est souhaitable que la configuration du PDS soit adaptée aux conditions d'environnement réelles de service. Afin de satisfaire aux prescriptions essentielles de protection CEM, cette norme soumet les équipements destinés à une distribution non restreinte à des prescriptions d'émission plus restrictives que ceux destinés uniquement à une distribution restreinte.

Dans le cas de distribution restreinte, pour des raisons économiques évidentes, les partenaires doivent satisfaire aux exigences essentielles CEM de protection pour l'installation spécifique qui les concerne, par le choix d'une classe d'émission appropriée, par des mesures *in situ* prenant en compte les conditions de voisinage effectives et par l'échange de spécifications techniques.

Les mesures doivent être réalisées dans le mode de fonctionnement produisant la plus grande émission dans la bande de fréquences considérée, tout en étant cohérent avec l'application normale.

This procedure shall be carried out:

- on at least five positions on each vertical surface of the CDM/BDM;
- at all openings of these vertical surfaces, a ventilation grille shall be considered to be one opening;
- at the surface of the motor, provided that it includes sensors.

The whole procedure shall then be repeated with each transmitter in turn.

Care shall be taken that the battery pack or the power supply of the transmitter is at full capability and that the actual output power or field strength of the transmitter is frequently checked and recorded. A list of transmitter types (walkie-talkie, analogue/digital mobile telephone, etc.), powers and frequencies used during the test shall be stated by the manufacturer in the user information.

NOTE – It may be possible to insert a power meter between the antenna and amplifier to monitor the amount of power which is actually being radiated. Alternatively, the field strength may be checked using a field strength meter.

Radio-frequency common mode tests (as described in IEC/FDIS 1000-4-6) are not required. For further explanation, see A.4.2.

5.4 Application of immunity requirements – statistical aspect

When choosing the acceptance level for a specific test of a PDS, it shall be understood that the test result implies only a certain probability. Depending on the grade of the actual acceptance criterion and the task of a PDS, this probability shall be considered in the specification of the number of test pulses or of the duration of the test application.

Immunity requirements shall be verified by performing a type-test on a representative unit. The manufacturer or supplier shall ensure by means of his quality system that the EMC performance of the product is maintained.

Measurement results obtained for a PDS while installed in its place of use (and not on a test site) shall relate to that installation only.

6 Emission requirements

As far as possible, the configuration of the PDS should be adapted to its real environmental service conditions. To ensure essential EMC protection requirements, this standard subjects equipment, which is specified for unrestricted distribution, to more restrictive emission requirements than equipment which is specified only for restricted distribution.

For economical reasons, in the case of restricted distribution, the partners shall ensure the essential EMC protection requirements for the specific resulting installation, by choice of suitable emission class, by measurement *in situ* with the actual boundary conditions, and by exchange of technical specifications.

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

6.1 Limites d'émission de base en basse fréquence

Les tests d'un PDS relatifs aux prescriptions ci-dessous sont complexes ou très coûteux. Par ailleurs, de nombreuses années d'expérience montrent qu'on peut satisfaire à ces prescriptions au moyen de calculs ou de simulations (analogiques ou numériques), à moins que des essais ne soient requis contractuellement entre utilisateur et constructeur.

6.1.1 Encoches de commutation

Les encoches de commutation sont classées par exemple en 2.5.4.1 de la CEI 146-1-1. La mesure des encoches de commutation est définie en profondeur (d en % de U_{LWM}) et en surface (en % $\times$ degrés). Les transitoires en début et fin d'encoche ne sont pas compris (voir B.1). L'encoche de commutation au PC dépend des caractéristiques du convertisseur et de l'impédance du réseau d'alimentation.

Les encoches de commutation peuvent être observées simplement par une analyse en temporelle. Dans les cas simples, cela peut conduire à une règle pratique pour assurer la CEM. Cette règle pratique présuppose naturellement un certain nombre d'approximations. En conséquence, suite à l'utilisation de cette règle, il est nécessaire de vérifier le critère de CEM sur les harmoniques. Les cas simples, où la règle s'applique, présupposent que l'impédance correspondante du réseau puisse être modélisée par une réactance pure: $Z = L \cdot \omega$. (En particulier, on ne peut pas traiter les cas de résonances auxquels on peut s'attendre en présence de condensateurs ou de longueurs de câble importantes).

Pour un PDS unique, la règle consiste à limiter la profondeur de l'encoche principale au PC (PCC ou PCI) suivant le tableau 5. Par contre, pour plusieurs PDS connectés au même PC, la limitation des encoches relève de l'étude du système et on ne peut pas définir de règle simple.

Tableau 5 – Profondeur maximale des encoches de commutation

	Réseau public	Réseau industriel
Profondeur d'encoche maximale	Selon prescriptions du distributeur d'énergie local	En l'absence d'accord local, elle doit être l'objet d'un accord de l'utilisateur si la profondeur est supérieure à 40 %

Le constructeur doit fournir les informations suivantes dans la documentation pour l'utilisateur:

- impédance de ligne maximale et minimale pour un fonctionnement correct du BDM/CDM;
- valeur de l'inductance de découplage Z_d , comprise dans le BDM/CDM si elle existe.

Dans le cas de distribution non restreinte, la documentation de l'utilisateur doit aussi comprendre les informations relatives aux inductances qu'il peut être nécessaire d'ajouter pour satisfaire aux limites relatives aux encoches de commutation.

Dans le cas de distribution restreinte, l'utilisateur doit donner la puissance de court-circuit minimale S_{sc} au PC. On suppose que l'impédance est une réactance pure:

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

On peut alors définir si des mesures supplémentaires sont nécessaires pour satisfaire aux prescriptions (éventuelle adjonction d'inductances). Des indications complémentaires sur les calculs relatifs aux encoches de commutation sont données en B.1.2.

6.1 Basic emission limits in the low-frequency area

For these requirements, testing of a PDS is difficult or uneconomic. However, in the light of established experience of many years, compliance can be verified by calculation or simulation (numerical or analogue), unless otherwise required by contractual agreement between the user and the manufacturer.

6.1.1 Commutation notches

Commutation notches are classified, for example, in 2.5.4.1 of IEC 146-1-1. Notch measurements are defined in depth (d , in % of U_{LWM}) and in area (in % × degrees). Transients at the beginning and end of the notch are not included (see B.1). The commutation notch at a PC is dependent on the converter characteristics and the internal impedance of the supply network.

Notches can be simply observed in a time-based analysis. In simple cases, this leads to a practical rule to ensure EMC. This practical rule naturally assumes some approximations. Therefore, if this rule is employed, it is still necessary to verify compliance with the EMC rules for harmonics. In the simple cases where the rule applies, it is assumed that the network impedance may be modelled with a pure reactance: $Z = L \cdot \omega$.

(In particular, this rule cannot be used in cases where resonances can be expected due to capacitors or long length of cables).

In the case of a single PDS, the rule consists of limiting the depth of the principal notch at the PC (PCC or IPC) according to table 5. However, in the case of multiple PDSs connected to the same PC, notch limitation is a system consideration, and a simple rule cannot be defined.

Table 5 – Maximum allowable depth of commutation notches

	Public network	Industrial network
Maximum notch depth	To comply with the requirements of the local supply authority	If there is no local agreement and if exceeding 40 %, it shall be agreed with the user

The manufacturer shall provide the following information in the user documentation:

- maximum and minimum line impedance for correct operation of the BDM/CDM;
- details of decoupling reactance Z_d , if any, that is included in the BDM/CDM.

In the case of unrestricted distribution, the user documentation shall also contain information on any additional reactance which may be required to ensure compliance with notch limits.

In the case of restricted distribution, the user shall state the minimum short-circuit power S_{sc} at the PC. It is assumed that the impedance is a pure reactance:

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

The additional measures required to achieve compliance (possible addition of decoupling reactance) may then be determined. Additional information on this notch calculation is given in B.1.2.

Certains réseaux de distribution peuvent exiger des considérations spéciales (par exemple le réseau de distribution interne à un hôpital). Dans de tels cas, ces conditions doivent être spécifiées par l'utilisateur.

6.1.2 Harmoniques et interharmoniques

Le constructeur doit donner, dans la documentation du PDS ou sur demande, le niveau des harmoniques de courant aux conditions de charge assignées, en pourcentage du courant fondamental assigné sur l'accès puissance. Les courants harmoniques doivent être calculés à chaque rang et au moins jusqu'au rang 25 inclus. Le taux de distorsion harmonique total en courant THD (jusqu'au rang 40 inclus) et sa composante haute fréquence PHD (des rangs 14 à 40 inclus) doivent aussi être évalués. Pour ces calculs standard, on doit supposer que le PDS est raccordé à un PC avec $R_{sc} = 250$ (R_{sc} est le rapport de court-circuit I_{sc}/I_{1LN} entre le courant de court-circuit au PC et le fondamental du courant assigné de ligne) et ayant un taux de distorsion harmonique initial en tension inférieur à 1 %. On doit également supposer que l'impédance interne du réseau est une inductance pure.

La CEI 1000-2-6, annexe A, parties 1 et 2, donne un guide de calcul des harmoniques. Cette même norme donne en 6.4 des indications relatives à la sommation des harmoniques provenant de diverses sources.

Les effets des interharmoniques sont examinés en 6.1.2.3. On trouve les méthodes de calcul en annexe A.3 de la CEI 1000-2-6.

Enfin, on donne en B.2 un guide d'utilisation des PDS dans un système industriel.

6.1.2.1 Réseau d'alimentation public basse tension

Les limites et les exigences de la CEI 1000-3-2 s'appliquent à l'équipement, de courant assigné ≤ 16 A, dans lequel le PDS est inclus. L'utilisation de la future CEI 1000-3-4 (voir bibliographie) est recommandée pour les équipements, de courant assigné >16 A, dans lesquels le PDS est inclus.

Dans les deux cas, les règles concernent l'appareil complet qui peut comporter un ou plusieurs PDS, ainsi que d'autres charges. Les harmoniques des différents composants électriques doivent être sommés en utilisant la loi analytique la plus exacte possible, en tenant compte de la structure du PDS et de la structure des autres composants (voir B.2.3.3).

6.1.2.2 Réseaux industriels

Un PDS destiné à une installation industrielle, pour lequel les normes ci-dessus ne sont pas applicables, doit être pris en compte en examinant l'installation complète; cela représente une approche économique raisonnable (voir B.2.3).

L'utilisateur doit avoir connaissance des niveaux de courants et de tension harmoniques préexistant sur le réseau avant connexion du PDS ainsi que de l'impédance interne de son réseau de distribution. Le fournisseur du PDS doit donner les valeurs d'émission en courants harmoniques dans la documentation du PDS ou sur demande. Du fait que cette émission dépend (pour les termes de second ordre) de l'impédance harmonique au PC, il est souhaitable que le constructeur et l'utilisateur définissent un cas conventionnel s'il est différent du cas standard recommandé en 6.1.2.

6.1.2.3 Harmoniques et interharmoniques dans la bande de fréquences 2 kHz à 9 kHz

Les prescriptions dans cette bande de fréquences sont à l'étude.

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

6.1.2 *Harmonics and interharmonics*

The manufacturer shall provide in the documentation of the PDS, or on request, the current harmonic level, under rated load conditions, as a percentage of the rated fundamental current on the power port. The referenced values shall be calculated for each order at least up to the 25th. The current THD (orders up to and including 40), and its high-frequency component PHD (orders from 14 to 40 inclusive) shall be evaluated. For these standard calculations, the PDS shall be assumed to be connected to a PC with $R_{SC} = 250$ ($R_{SC} = I_{SC} / I_{1LN}$ is the short-circuit ratio between short-circuit current at the PC and rated fundamental line side current of the PDS) and with initial voltage distortion less than 1 %. The internal impedance of the network shall be assumed to be a pure reactance.

A guide for calculation of harmonics is given in IEC 1000-2-6, annex A – parts 1 and 2. Guidelines for the summation of harmonics of different sources are also given in 6.4 of the same standard.

Effects of interharmonics are considered in 6.1.2.3. Methods for calculation are given in A.3 of IEC 1000-2-6.

A guide for the use of PDSs in systems or industrial networks is provided in B.2.

6.1.2.1 *Low-voltage public supply network*

The limits and requirements of the IEC 1000-3-2 apply for equipment with rated current ≤ 16 A, in which the PDS is included. The use of the future IEC 1000-3-4 (see bibliography) is recommended for equipment with rated current > 16 A, in which the PDS is included.

For both cases, rules are given for the complete apparatus which may include one or several PDSs and also other loads. Harmonics of the different electrical components of the apparatus shall be summed using the more exact analytical physical law suitable to the nature of the PDS and to the nature of the other component(s) (see B.2.3.3).

6.1.2.2 *Industrial networks*

If a PDS is to be used in an industrial installation for which the above standards are not relevant, a reasonable economical approach which considers the total installation shall be used (see B.2.3).

The user shall be aware of the values of the harmonic currents and voltages occurring within his power supply system before connecting the PDS, as well as the internal impedance of his supply system. The supplier of the PDS shall provide the values of the harmonic current emissions, within the documents of the PDS or on request. Because the harmonic current emission of a PDS can be dependent (for second order terms) on the harmonic impedance of the network at the PC, a conventional case should be defined and used by the manufacturer and user (if it is different from the standard case recommended in 6.1.2).

6.1.2.3 *Harmonics and interharmonics in the frequency range 2 kHz to 9 kHz*

Requirements in this frequency range are under consideration.

6.1.3 Fluctuations de tension

Les limites et les prescriptions de la CEI 1000-3-3 s'appliquent à l'équipement, de courant assigné ≤ 16 A et destiné à être raccordé à un réseau public basse tension, dans lequel le PDS est inclus. L'utilisation de la CEI 1000-3-5 est recommandée pour un équipement, de courant assigné >16 A et destiné à être raccordé au réseau public basse tension, dans lequel le PDS est inclus.

Des fluctuations de tension peuvent être occasionnées, par exemple par le changement fréquent de charge d'un PDS, ou par les sous-harmoniques à basse fréquence dont l'origine peut être la récupération d'énergie de glissement de moteurs asynchrones, les cycloconvertisseurs ou les convertisseurs de type source de courant.

La plupart des fluctuations de tension sont relatives à l'installation. Par conséquent, cet aspect système est de la responsabilité de l'utilisateur ou de l'installateur. En prenant en compte l'effet cumulatif de l'ensemble des équipements, il est souhaitable de ne pas dépasser les limites des niveaux de compatibilité données par la CEI 1000-2-4.

6.1.4 Emission harmonique de mode commun (tension de mode commun à basse fréquence)

La fréquence de commutation du convertisseur d'un PDS est souvent située dans la bande audible et, en particulier, la gamme de fréquence généralement utilisée dans les réseaux téléphoniques (300 Hz à 3 400 Hz). Ce point doit être examiné à l'installation d'un PDS. En conséquence, pour éviter le risque de diaphonie avec des câbles sensibles de téléphones, interphones ou autres applications de même nature, les câbles d'interfaces de puissance doivent suivre un cheminement séparé, sauf si d'autres instructions sont données par le constructeur.

6.2 Conditions pendant les essais en haute fréquence

On peut s'attendre à ce que la rapidité des variations de tension ou de courant soit la principale cause d'émission haute fréquence. Pour ce type d'émission, les valeurs de dv/dt dans le PDS sont prépondérantes, et ces valeurs peuvent être atteintes même avec des courants de sortie inférieurs à la valeur assignée du PDS. En conséquence, ces essais sont des essais à faible charge. Les tests doivent être pratiqués sur les accès appropriés lorsqu'ils existent et doivent être réalisés de façon bien déterminée et reproductible, accès par accès. Les méthodes d'essai doivent être en conformité avec les paragraphes 7.2 à 7.4 et l'article 8 du CISPR 11, en prenant particulièrement garde aux conditions de mise à la terre.

6.2.1 Prescriptions générales de mesure

6.2.1.1 Conduction

Le matériel de mesure de la tension perturbatrice émise en haute fréquence aux bornes côté réseau (accès puissance) est soit un réseau fictif ($50 \Omega / 50 \mu\text{H}$, voir CISPR 16-1) lorsque son emploi est possible, soit une sonde de tension suivant le CISPR 16-1 dans le cas contraire.

On doit utiliser une sonde de tension sans réseau fictif, pour mesurer *in situ* la tension perturbatrice réseau (voir 7.2.3 du CISPR 11). Il en va de même si le PDS est un équipement de courant d'entrée supérieur à 100 A, ou d'une tension d'entrée supérieure ou égale à 500 V, ou comprenant un convertisseur commuté par le réseau (voir A.5.1.2).

6.2.1.2 Rayonnement

Conformément à l'article 10 du CISPR 11, les mesures de rayonnement *in situ* sont réalisées en prenant une distance mesurée «à partir du mur extérieur et en dehors du bâtiment dans lequel est situé l'équipement».

6.1.3 Voltage fluctuations

The limits and requirements of IEC 1000-3-3 apply for equipment, in which the PDS is included, with rated current ≤ 16 A and intended for connection to the low-voltage public supply system. The use of IEC 1000-3-5 is recommended for equipment, in which the PDS is included, with rated current >16 A and intended for connection to the low-voltage public supply system.

Voltage fluctuations may be caused, for instance, by frequently changing the load of a PDS, or by sub-harmonics of slip energy recovery of asynchronous motors, or more generally by cyclo converters or current source inverters.

Most voltage fluctuations are relevant to the installation. Therefore, this system aspect shall be the responsibility of the user or of the installer. The limits for the compatibility levels given in IEC 1000-2-4 for voltage changes should not be exceeded considering cumulative effects from all equipment.

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

The switching frequency of the converter of the PDS is often in the audible frequency range and, in particular, the frequency range commonly used by telephone systems (300 Hz – 3400 Hz). This shall be considered when installing the PDS. Therefore, to avoid the risk of crosstalk to sensitive signal cables of telephones, intercommunication systems and the like, the power interface cable should be separated from sensitive signal cables, unless other instructions are given by the manufacturer.

6.2 Conditions during high-frequency tests

The rate of change of voltage or current is expected to be the main source of high-frequency emission. For this type of emission the dv/dt values of the PDS are mostly relevant, and these can be achieved with output currents lower than the rated current of the PDS. Therefore, these tests are light load tests. 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 7.2 to 7.4 and clause 8 of CISPR 11, paying particular attention to earth connections.

6.2.1 General measurement requirements

6.2.1.1 Conduction

The measurement equipment for evaluation of high-frequency mains terminal disturbance voltage emission is either the artificial mains network (50 Ω /50 μ H, see CISPR 16-1) where it can be applied, or the voltage probe according to CISPR 16-1, where the artificial mains network is not applicable.

For *in situ* measurement of the mains disturbance voltage, a voltage probe without an artificial mains network shall be used (see 7.2.3 of CISPR 11). The same applies if the PDS 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.5.1.2) .

6.2.1.2 Radiation

According to clause 10 of CISPR 11, *in situ* radiation measurements are made with the distance measured "from the exterior wall outside the building in which the PDS is situated".

- Si le PDS est situé dans plus d'un bâtiment, on remarque que cette distance s'applique aussi aux interfaces de puissance.
- Un équipement destiné à être raccordé à un réseau public d'alimentation basse tension qui alimente également des bâtiments à usage domestique doit être mesuré sur un site d'essai. La distance entre l'équipement et l'antenne de réception de test doit être de 10 m. Si le calibre de courant est trop élevé pour le site d'essai, la mesure doit être réalisée d'une autre manière mais similaire à celle d'un test en champ libre chez le constructeur. Dans ce cas, la documentation doit expliciter la méthode utilisée pour assurer la reproductibilité.
- Un équipement destiné à être raccordé à un réseau industriel d'alimentation basse tension, ou à un réseau public qui n'alimente pas de bâtiment à usage domestique, peut être mesuré soit sur un site d'essai, soit *in situ* au choix du constructeur. La distance à l'antenne peut être 30 m ou 10 m. Si on utilise la distance de 10 m, les limites données pour 30 m doivent être augmentées de 10 dB.

NOTE – Si la mesure de l'amplitude du champ ne peut pas être assurée à 10 m à cause de l'amplitude du bruit de fond ou pour d'autres raisons, la mesure concernant le PDS peut être effectuée à une distance plus courte, par exemple 3 m. Une correction de 20 dB par décade de distance devrait alors être appliquée pour ramener le résultat de la mesure à la distance spécifiée par la prescription. On doit alors prendre soin d'éviter les effets des champs proches, en particulier si le PDS n'est pas de taille suffisamment petite, et aux fréquences voisines de 30 MHz.

6.2.2 Prescriptions de raccordement

Quand l'équipement est mesuré *in situ*, ou quand l'essai est effectué sur un équipement ayant une application spécifique et pour lequel la disposition du câblage est connue, les dispositions de câblage et de mise à la terre doivent être identiques à celles utilisées dans l'application.

Si l'équipement est mesuré sur un site d'essai et que les dispositions de câblage finales ne sont pas connues, la longueur de câble moteur doit être choisie pour être représentative d'une application type prévue, et doit être d'au moins 5 m. Cependant, les mesures de perturbations conduites doivent être pratiquées avec la longueur de câble maximale spécifiée par le constructeur. Le moteur doit être positionné afin que la distance entre son enveloppe et celle du variateur ou de l'équipement variateur (BDM/ODM) ne soit pas inférieure à 0,5 m. Tout câble superflu doit être enroulé et disposé entre le variateur/équipement variateur et le moteur, sur un support isolant mince placé sur le plan de terre.

6.3 Limites d'émission de base en haute fréquence

De nombreux PDS fonctionnent correctement sans filtre, dans un environnement industriel sans perturber d'autres appareils ou équipements. Ils sont donc compatibles. Ainsi, pour les émissions aussi bien conduites que rayonnées, le principe est que plus la probabilité d'interférence est grande, plus les limites d'émission sont basses.

6.3.1 Premier environnement

Un équipement destiné à être raccordé à un réseau public d'alimentation basse tension qui alimente aussi des bâtiments à usage domestique doit être conforme aux tableaux 6 et 7.

Le réseau est supposé être de tension nominale inférieure à 500 V entre phases. On suppose également que un ou plusieurs points du réseau de distribution sont directement connectés à la terre (schéma TN ou TT selon la CEI 364-3).

Le filtrage des tensions hautes fréquences de mode commun introduit des couplages capacitifs à la terre. Dans les réseaux à neutre isolé ou impédant (schéma IT selon la CEI 364-3), ces couplages capacitifs peuvent être dangereux (voir D.2.1).

- If the PDS is located in more than one building, note that the distance shall also be kept from the power interfaces.
- Equipment to be connected to a public low-voltage power supply network which also supplies buildings used for domestic purposes, shall be measured on a test site. The distance to the antenna shall be 10 m. If the current rating of the equipment is too high for the test site, the measurement shall be performed in another manner similar to an open-field test site at the manufacturer's premises. In this case, the documentation shall demonstrate the methods used to achieve reproducibility.
- Equipment to be connected to an industrial low-voltage power supply network, or public network which does not supply buildings used for domestic purposes, may be measured either on a test site or *in situ* as preferred by the manufacturer. The distance to the antenna may be 30 m or 10 m. If the 10 m distance is used, the limits covering the 30 m distance shall be increased by 10 dB.

NOTE – If the field strength measurement at 10 m cannot be made because of high ambient noise levels or for other reasons, measurement of the PDS may be made at a closer distance, for example 3 m. A correction of 20 dB per decade of distance should be used to normalise the measurement data to the specified distance for determining compliance. In that case, care should be taken to avoid near field effects, particularly when the PDS is not of an appropriately small size, and at frequencies near 30 MHz.

6.2.2 Connection requirements

When equipment is measured *in situ*, or where the test is carried out on equipment which has a specific application where the cable arrangements are known, the cable and the earthing arrangements shall be identical to those used in that application.

When the equipment is measured on a test site and final cable arrangements are not known, the length of the motor cable shall be chosen to be representative of a typical intended application, and shall be at least 5 m. However, for conducted measurements, the maximum length defined by the manufacturer shall be used. The motor shall be located so that its closest surface is no less than 0,5 m from the nearest boundary of the BDM/CDM. Any excess cable shall be coiled in a position between the BDM/CDM and the motor on a thin insulating support placed on the ground plane.

6.3 Basic emission limits in the high-frequency area

Many PDSs are working correctly without filters in the industrial environment, and do not disturb other apparatus or equipment, therefore they are compatible. So, for both conducted and radiated emissions, the principle is that the higher the probability of interference, the stricter the emission limits.

6.3.1 First environment

Equipment to be connected to a public low-voltage power supply network which also supplies buildings used for domestic purposes shall comply with the limits of tables 6 and 7.

It is assumed that the nominal line-to-line supply voltage is lower than 500 V. It is also assumed that one or more points of the supply system are directly connected to earth (TN or TT system according to IEC 364-3).

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 supply network as defined in IEC 364-3), these capacitive coupling paths can be harmful (see D.2.1).

6.3.1.1 Limites des tensions perturbatrices sur les bornes d'alimentation (accès puissance)

Bande de fréquences 9 kHz à 150 kHz	limites à l'étude
Bande de fréquences 150 kHz à 30 MHz	limites citées au tableau 6
Bande de fréquences supérieure à 30 MHz	pas de limites spécifiées

Tableau 6 – Valeurs des limites de tension perturbatrice sur les bornes d'alimentation dans la bande de fréquences 150 kHz à 30 MHz – Equipement raccordé au réseau qui alimente les bâtiments domestiques

Taille de l'entraînement (PDS)	Bande de fréquences MHz	Distribution non restreinte		Distribution restreinte	
		Quasi-crête dB(μV)	Moyenne dB(μV)	Quasi-crête dB(μV)	Moyenne dB(μV)
Système d'entraînement basse puissance ($I < 25$ A)	$0,15 \leq f < 0,5$	66 Décroît avec log de la fréquence jusqu'à 56	56 Décroît avec log 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
Système d'entraînement moyenne puissance ($I \geq 25$ A)	$0,15 \leq f < 0,5$	79	66	79	66
	$0,5 \leq f \leq 5,0$	73	60	73	60
	$5,0 < f < 30,0$	73	60	73	60

6.3.1.2 Limites des perturbations électromagnétiques rayonnées (accès enveloppe)

Bande de fréquences 9 kHz à 30 MHz	limites à l'étude
Bande de fréquences 30 MHz à 1 GHz	limites citées au tableau 7
Bande de fréquences supérieure à 1 GHz	pas d'essai recommandé

Tableau 7 – Valeurs des limites de rayonnement électromagnétique dans la bande de fréquences 30 MHz à 1 000 MHz conformément au CISPR 11 – Equipement raccordé au réseau qui alimente des bâtiments domestiques

Taille de l'entraînement (PDS)	Bande de fréquences MHz	Distribution non restreinte		Distribution restreinte	
		Composante électrique du champ dB(μV/m)	Distance de mesure m	Composante électrique du champ dB(μV/m)	Distance de mesure m
Système d'entraînement basse puissance ($I < 25$ A)	$30 \leq f \leq 230$	30	10	30	30
	$230 < f \leq 1\ 000$	37		37	
Système d'entraînement moyenne puissance ($I \geq 25$ A)	$30 \leq f \leq 230$	30	30	30	30
	$230 < f \leq 1\ 000$	37		37	

Des informations complémentaires sur les distances de mesure figurent en 6.2.1.

6.3.1.1 Limits for mains terminal disturbance voltage (power ports)

Frequency band 9 kHz to 150 kHz limits are under consideration

Frequency band 150 kHz to 30 MHz limits are listed in table 6

Frequency band above 30 MHz no limits are specified

Table 6 – Values of limits for mains terminal disturbance voltage in the frequency band 150 kHz to 30 MHz – Equipment connected to a network which supplies domestic premises

Size of PDS	Frequency band MHz	Unrestricted distribution		Restricted distribution	
		Quasi peak dB(μV)	Average dB(μV)	Quasi peak dB(μV)	Average dB(μV)
Low power drive system ($I < 25$ A)	$0,15 \leq f < 0,5$	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
Medium power drive system ($I \geq 25$ A)	$0,15 \leq f < 0,5$	79	66	79	66
	$0,5 \leq f \leq 5,0$	73	60	73	60
	$5,0 < f < 30,0$	73	60	73	60

6.3.1.2 Limits for electromagnetic radiation disturbance (enclosure port)

Frequency band 9 kHz to 30 MHz limits are under consideration

Frequency band 30 MHz to 1 GHz limits are listed in table 7

Frequency band above 1 GHz no test is advised

Table 7 – Values of limits for electromagnetic radiation disturbance in the frequency band 30 MHz to 1 000 MHz according to CISPR 11 – Equipment connected to a network which supplies domestic premises

Size of PDS	Frequency band MHz	Unrestricted distribution		Restricted distribution	
		Electric field strength component dB(μV/m)	Measurement distance m	Electric field strength component dB(μV/m)	Measurement distance m
Low power drive system ($I < 25$ A)	$30 \leq f \leq 230$	30		30	
	$230 < f \leq 1\,000$	37	10	37	30
Medium power drive system ($I \geq 25$ A)	$30 \leq f \leq 230$	30		30	
	$230 < f \leq 1\,000$	37	30	37	30

For additional explanation of measurement distances, see 6.2.1.

6.3.1.3 Emission de l'interface de puissance

Un PDS destiné à être commercialisé selon le mode de distribution non restreint, et devant fonctionner dans le premier environnement, ne doit pas utiliser de câbles d'interface de puissance (câbles entre le BDM/CDM et le moteur) de longueur supérieure à 2 m sans qu'ils soient blindés. Le blindage doit être efficace en haute fréquence, continu sur toute sa longueur et connecté à l'enveloppe métallique du CDM et du moteur par des raccords sur 360°.

6.3.2 Deuxième environnement

Pour les équipements destinés à être raccordés à un réseau d'alimentation basse tension industriel ou public qui n'alimente pas de bâtiment à usage domestique, les limites sont à l'étude.

De nombreux PDS fonctionnent correctement sans filtre, dans un environnement industriel et sans perturber d'autres appareils ou équipements. Les filtres qui réduisent les émissions des PDS, en dégradent aussi le rendement, et en augmentent la taille et le coût. Ceci demande un examen détaillé de telle sorte que des limites puissent être établies sans conduire à une pénalisation excessive sur ces paramètres. Par exemple, des PDS peuvent être utilisés pour améliorer le rendement de processus industriels qui utilisaient antérieurement des moteurs à vitesse fixe, à condition qu'une approche CEM correcte soit menée dans ces environnements.

Il est important de noter que le filtrage des tensions perturbatrices hautes fréquences en mode commun, qui permet de réduire l'émission d'un PDS, dégrade le concept de réseau de distribution isolé et peut provoquer des risques affectant la sécurité. En conséquence, on ne peut pas fixer de limite pour les entraînements utilisés sur un réseau industriel isolé ou à neutre impédant (voir D.2.1). Pour les réseaux de distribution avec neutre à la terre ou phase à la terre, se reporter à D.2.2.

Des explications sont exposées à l'article D.2, et un guide, à l'article D.1, présente des niveaux d'émission tels qu'ils peuvent être rencontrés dans la pratique.

Les mesures d'émission sur les composants individuels d'un BDM/CDM n'ont pas de sens tant que les composants ne sont pas assemblés et raccordés, d'une part entre eux, et d'autre part à un moteur. En conséquence, des essais sur des composants séparés pratiqués en site d'essais ne sont pas requis.

Les mesures *in situ* ne sont obligatoires qu'en cas de plainte ou de contestation concernant un équipement perturbé en dehors des limites de l'installation. Dans ce cas, les mesures doivent être pratiquées conformément aux prescriptions de 6.3.2.3.

Dans tous les cas, l'utilisateur a la responsabilité de s'assurer que le PDS est compatible avec son environnement.

Toutes les prescriptions de cet article s'appliquent à la fois aux perturbations électromagnétiques conduites et rayonnées.

6.3.2.1 PDS de la classe de distribution non restreinte

Le constructeur doit faire figurer dans le catalogue et sur l'équipement l'avertissement suivant: «Non destiné à une utilisation sur réseau public basse tension alimentant aussi des locaux à usage domestique. Peut générer des perturbations de fréquences radioélectriques».

Le constructeur doit fournir un guide d'installation et d'exploitation incluant les matériels recommandés pour l'atténuation des émissions. L'utilisateur est le premier responsable concernant la CEM dans l'application des recommandations du constructeur.

6.3.1.3 Power interface emission

A PDS of the unrestricted distribution class, operated in the first environment, shall not use a power interface (cable between the BDM/CDM and the motor) with a length greater than 2 m without shielding. The shielding shall be of high-frequency quality, continuous throughout its length and at least connected to the metallic enclosures of the CDM and motor via 360° terminations.

6.3.2 Second environment

For equipment which is intended to be connected to an industrial low-voltage power supply network, or public network which does not supply buildings used for domestic purposes, limits are under consideration.

Many PDSs are working correctly without filters in the industrial environment, and do not disturb other apparatus or equipment. Filters that reduce emissions from PDSs also reduce their efficiency, and increase their size and cost. This requires careful consideration, so that limits can be established without severely penalising the efficiency, size and cost of PDSs. For example, PDSs can be used to increase the efficiency of processes which previously used fixed speed motors, provided EMC is correctly considered in those environments.

For disturbance voltages, it is important to note that high-frequency common mode filtering, required to reduce emission from a PDS, destroys the concept of a distribution network which is isolated from earth and may cause a safety risk in such systems. Therefore, emission limits for a PDS which is used in an isolated, or high impedance earthed industrial distribution network, cannot be set (see D.2.1). For neutral grounded or corner grounded distribution networks see D.2.2.

Further explanation is given in clause D.2, and a guide for emission levels found in practice is provided in clause D.1.

Emission measurements on individual components of a BDM/CDM are meaningless unless the components are connected to each other and to a motor. Therefore, tests of separate components on a test site are not required.

Measurements *in situ* shall be applied only in the case of complaints or disputes about disturbed equipment outside the boundary of the installation. In that case, the measurements shall be performed according to the requirements in 6.3.2.3.

In any case, the user shall be responsible to ensure that the PDS is compatible with its environment.

All statements in this clause apply both to voltage disturbances and radiated electromagnetic disturbances.

6.3.2.1 PDS of the unrestricted sales distribution class

A warning in the catalogue and on the equipment shall be added by the manufacturer: "Not intended to be used on a low-voltage public network which supplies domestic premises. May cause radio-frequency interference."

The manufacturer shall provide a guide for installation and use, including recommended mitigation devices. The user has the primary EMC responsibility in following the recommendations of the manufacturer.

6.3.2.2 PDS de la classe de distribution restreinte

L'utilisateur définit les caractéristiques CEM de l'environnement incluant toute l'installation et son voisinage (voir figure 5). Le constructeur doit fournir les informations sur les niveaux d'émission typiques des PDS à installer. Si l'utilisateur demande des mesures d'atténuation supplémentaires, l'utilisateur et le constructeur doivent se mettre d'accord sur une solution adaptée à l'environnement défini.

6.3.2.3 Limites d'émission en dehors des limites d'une installation du deuxième environnement - Exemple de propagation des perturbations

Pour les PDS, dans le deuxième environnement, l'utilisateur doit s'assurer que des perturbations excessives ne sont pas induites dans les réseaux de distribution basse tension environnants, même via le réseau moyenne tension.

En cas de contestation entre l'utilisateur d'un PDS (à l'intérieur de l'installation 2 - voir figure 5) et une victime dont l'installation est raccordée à un autre réseau (à l'intérieur de l'installation 1), il faut d'abord établir clairement que la perturbation de l'équipement victime (dans l'installation 1) survient quand le PDS supposé émetteur (de l'installation 2) est en fonctionnement. Les mesures *in situ* des tensions perturbatrices propagées doivent être pratiquées sur le secondaire basse tension du transformateur moyenne tension/basse tension de l'installation perturbée (installation 1) (voir en figure 5 les points de mesure).

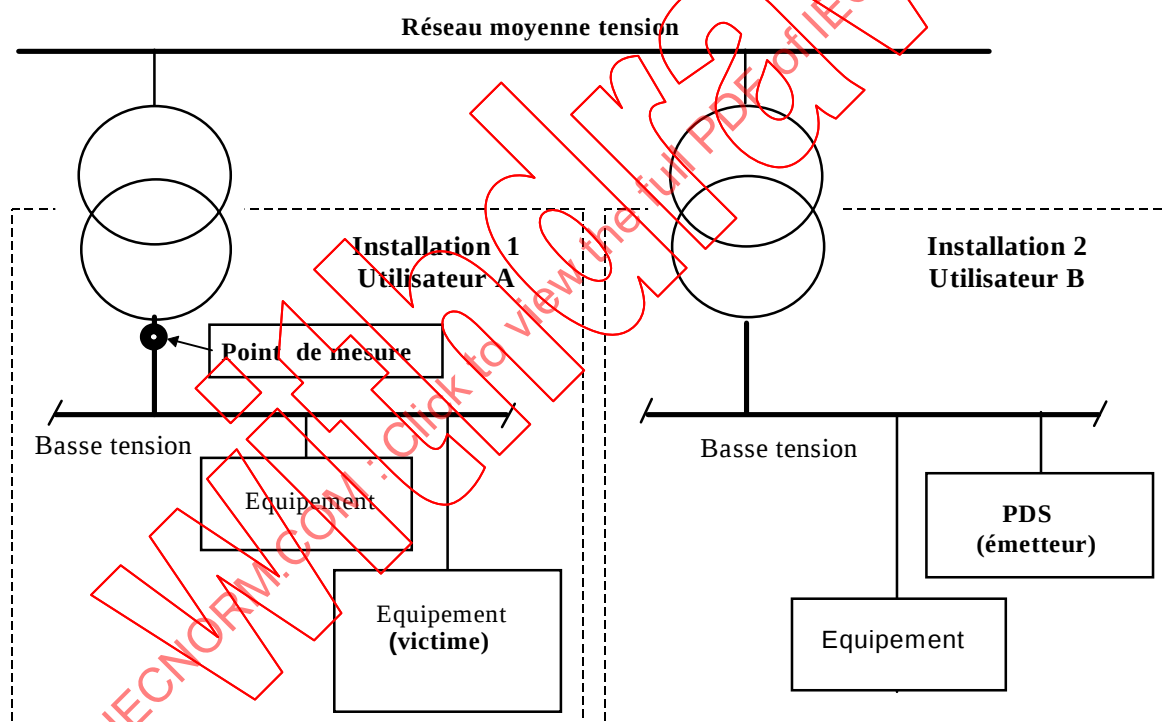


Figure 5 – Propagation de perturbations

Si l'installation perturbée (installation 1) appartient au premier environnement, la tension perturbatrice doit être conforme aux limites fixées au tableau 8.

6.3.2.2 PDS of the restricted sales distribution class

The user defines the EMC characteristics of the environment including the whole installation and the neighbourhood (see figure 5). The manufacturer shall provide information on typical emission levels of the PDS which is to be installed. If the user requires additional mitigation measures, the user and the manufacturer shall agree on a solution according to the defined environment.

6.3.2.3 Limits outside the boundary of an installation in second environment – Example of propagation of disturbances

For PDSs in the second environment, the user shall ensure that excessive disturbances are not induced into neighbouring low-voltage networks, even if propagation is through a medium-voltage network.

In the case of a dispute between the user of a PDS (that is within installation 2 – see figure 5), and a victim on another network (that is within installation 1), it shall first be clearly established that the disturbance of victim equipment (in installation 1) occurs when the supposed emitting PDS (installation 2) is operated. *In situ* measurement of propagated disturbance voltage 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 5 for point of measurement).

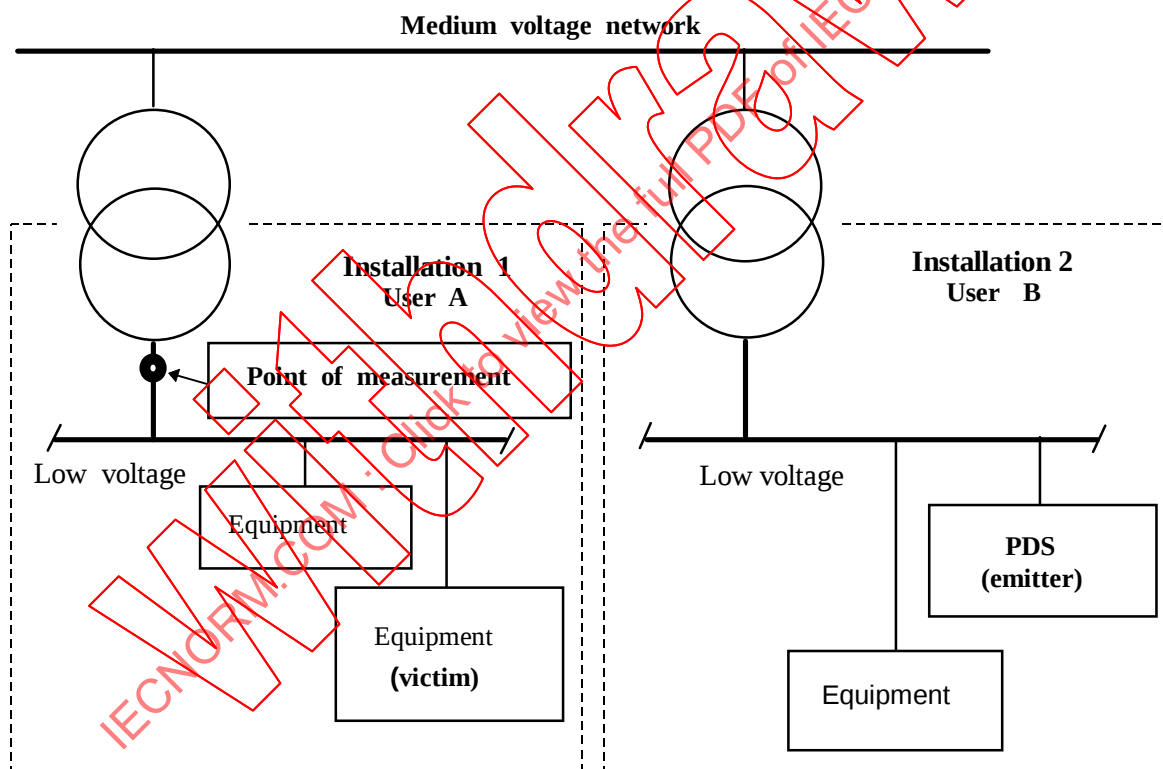


Figure 5 – Propagation of disturbances

The disturbance voltage shall comply with the limits of table 8 in the case of installation 1 belonging to the first environment.

**Tableau 8 – Limites de tension perturbatrice propagée
(«à l'extérieur» dans le premier environnement)**

Gamme de fréquences MHz	Quasi crête dB(μV)	Moyenne dB(μV)
$0,15 \leq f < 0,5$	66 Décroît avec le log de la fréquence à 56	56 Décroît avec le log de la fréquence à 46
$0,5 \leq f \leq 5,0$	56	46
$5,0 < f < 30,0$	60	50

Si l'installation perturbée (installation 1) appartient au deuxième environnement, la tension perturbatrice doit être conforme aux limites fixées au tableau 9.

**Tableau 9 – Limites de tension perturbatrice propagée
(«à l'extérieur» dans le deuxième environnement)**

Fréquence MHz	Quasi crête dB(μV)	Moyenne dB(μV)
$0,15 \leq f < 0,50$	79	66
$0,50 \leq f \leq 5,00$	73	60
$5,00 < f < 30,00$	73	60

Les perturbations rayonnées par l'émetteur et mesurées avec toutes les conditions de mesure *in situ* doivent être conformes au tableau 10, et avec les distances de mesure de 6.2.1.

Tableau 10 – Limites des perturbations électromagnétiques propagées

Fréquence MHz	Composante électrique du champ dB(μV/m)
$30 \leq f \leq 230$	30
$230 < f \leq 1\,000$	37

Si le bruit ambiant (hors fonctionnement du PDS qui est l'émetteur supposé) est supérieur aux limites (tableaux 8, 9 et 10), on considère que le PDS supposé émetteur est défaillant si, et seulement si, un jeu de fréquences caractéristiques émises peut être reconnu et est au moins supérieur de 10 dB au bruit ambiant mesuré.

Les émissions du PDS doivent alors être atténuées jusqu'à ce qu'elles soient inférieures aux limites ou au bruit ambiant, selon lequel de ces niveaux est le plus élevé.

Voir aussi A.5.3.

6.4 Application des prescriptions d'émissions – aspects statistiques

Pour la classe de distribution non restreinte, et uniquement pour celle-ci.

**Table 8 – Limits for propagated disturbance voltage
("outside" in the first environment)**

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

The disturbance voltage shall comply with the limits of table 9 in the case of installation 1 belonging to the second environment.

**Table 9 – Limits for propagated disturbance voltage
("outside" in the second environment)**

Frequency band MHz	Quasi peak dB(μV)	Average 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

Radiated disturbances measured relative to the emitter and with all the conditions of *in situ* measurement shall comply with the limits of table 10, with measuring distances according to 6.2.1.

Table 10 – Limits for propagated electromagnetic disturbance

Frequency band MHz	Electric field strength component dB(μV/m)
$30 \leq f \leq 230$	30
$230 < f \leq 1\,000$	37

If the ambient noise (without operation of the PDS which is the supposed emitter) is over the limits (tables 8, 9 and 10), the supposed emitting PDS is only considered to fail if a characteristic set of emitted frequencies can be recognised and is at least 10 dB over the measured ambient noise.

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

See also A.5.3.

6.4 Application of emission requirements – statistical aspects

Only for unrestricted distribution class.

Pour des raisons de simplicité, les essais de conformité ne doivent être effectués que sur un seul équipement. L'entraînement (PDS) de classe de distribution non restreinte doit être testé en effectuant un essai de type sur un modèle représentatif. Le constructeur ou le fournisseur doit assurer à travers son système de qualité que la qualification CEM du produit est maintenue.

En cas de contestation, un entraînement (PDS) de classe de distribution non restreinte, ne sera considéré comme non conforme à cette norme que si la production ne répond pas aux prescriptions statistiques définies en 6.3 du CISPR 11. L'évaluation doit donc être faite sur un site d'essai bien défini.

7 Prescriptions minimales sur les aspects de sécurité

7.1 Sécurité pendant les essais d'immunité

Le déroulement de l'essai d'immunité peut engendrer un risque pour la sécurité si aucune précaution spécifique n'est prise. Tout essai d'immunité doit être effectué conformément à une procédure de sécurité, la sécurité prime sur toute autre condition d'essais.

Il est souhaitable de déterminer avec l'utilisateur si le réarmement doit être automatique ou manuel, afin de spécifier le fonctionnement de l'entraînement (PDS) lors des tests d'immunité avec critère de qualification C.

Il n'est admis aucun niveau de test pouvant mettre en danger l'isolation de base définie selon la CEI 664-1, même lors des essais de tension de choc.

7.2 Sécurité pendant le fonctionnement

Le fonctionnement d'un entraînement (PDS) en environnement non compatible peut créer un risque pour la sécurité à la fois par manque d'immunité ou excès d'émission. Cet aspect est sous la responsabilité de l'utilisateur.

Si nécessaire, des limites spécifiques peuvent être clairement précisées par l'utilisateur, par exemple: les limites supplémentaires données dans le CISPR 11 concernant les perturbations électromagnétiques rayonnées qui doivent être appliquées, si elles sont exigées par les autorités nationales, afin de protéger les services de sécurité spécifiques dans certaines zones.

Le filtrage, en particulier des perturbations haute fréquence, est souvent incompatible avec les règles de sécurité, voir D.2 – la sécurité prime devant tout autre aspect.

7.3 Sécurité relative à cette norme

La conformité à cette norme n'assure pas en elle-même la conformité à toutes les prescriptions de sécurité. Des prescriptions de sécurité sont définies dans d'autres normes.

For simplicity's sake, conformance tests shall be made on one appliance only. Conformance of the PDSs of the unrestricted distribution class shall be verified by performing a type test on a representative model. The manufacturer or supplier shall ensure by means of his quality system that the EMC performance of the product is maintained.

In the case of a dispute, a PDS of the unrestricted distribution class shall only be considered to fail the requirements of this standard if the production fails the statistical assessment requirements according to 6.3 of CISPR 11. Therefore, the evaluation shall be made on a well-defined test site.

7 Minimum requirements for safety aspects

7.1 Safety during immunity tests

Performing immunity tests can cause a safety risk unless special care is taken. Immunity tests shall be performed under a safety procedure in which safety takes precedence.

In the case of an immunity test evaluation for acceptance criterion C and for specified operating behaviour of the PDS, the assessment of an automatic or a manual reset should be clarified with the user.

Any endangering of the basic insulation (according to IEC 664-1) during surge immunity test shall not be allowed.

7.2 Safety during operation

Operation of a PDS in a non-compatible environment can cause a safety risk, either due to lack of immunity or due to excess of emissions. This aspect shall be the user's responsibility.

If necessary, any specific limits can be clearly stated by the user, for example: additional limits are given in CISPR 11 for electromagnetic radiation disturbances which shall be applied if they are required by national authorities to protect specific safety services in particular areas.

Filtering, particularly of high-frequency disturbances, is often inconsistent with safety precautions, see D.2 – safety takes precedence.

7.3 Safety related to this standard

Compliance with this standard does not, of itself, ensure compliance with all safety requirements. Safety requirements are defined in other standards.

Annexe A (informative)

Techniques de CEM

A.1 Généralités sur les phénomènes de CEM

A.1.1 Phénomènes

De nombreux phénomènes sont décrits dans la CEI 1000-2-5. Les définitions des phénomènes basse fréquence sont données dans la CEI 1000-2-1.

Le fonctionnement d'un PDS comporte un régime fondamental auquel se superposent des régimes harmoniques dus aux non-linéarités du convertisseur et/ou de l'onduleur, et des phénomènes haute fréquence dus aux commutations rapides des composants d'électronique de puissance du convertisseur et/ou de l'onduleur. Il en résulte que le PDS peut être considéré comme un émetteur à la fois en basse et haute fréquence.

Réciproquement, des phénomènes basse et haute fréquence provenant d'autres appareils ou systèmes du voisinage du PDS, peuvent affecter son fonctionnement.

Les perturbations électromagnétiques à examiner pour la mise en œuvre et l'usage d'un variateur de vitesse comprenant de l'électronique de puissance, peuvent être rangées en plusieurs classes. Chacune de ces classes appartient aux perturbations basse fréquence ou haute fréquence. Dans certaines normes, la limite de fréquence est à 9 kHz, dans d'autres elle est à 10 kHz.

Ces deux gammes concernent les PDS:

- les fréquences fondamentales, qui sont inférieures à 9 kHz, sont celles produites intentionnellement pour fournir de la puissance au moteur,
- en phénomène secondaire, des fréquences supérieures à 9 kHz peuvent être utilisées dans le contrôle, par exemple la MLI de commande de l'onduleur, l'horloge du microprocesseur.

A l'intérieur de chaque classe, on identifie les perturbations conduites et rayonnées.

Pour la conduction, il faut s'intéresser à:

- la tension de mode différentiel: elle concerne une perturbation qui apparaît entre les bornes d'entrée (ou de sortie) d'une machine ou d'un équipement;
- la tension de mode commun: elle concerne une perturbation qui apparaît entre la valeur moyenne d'une entrée ou d'une sortie par rapport à la terre ou par rapport à une connexion de terre de référence.

Ceci est une explication. La définition précise est donnée dans la CEI 50(161).

Pour le rayonnement, il faut s'intéresser au:

- champ proche: si la distance à l'émetteur (perturbateur) est inférieure à $\lambda/2\pi$;
- champ lointain: si la distance à l'émetteur (perturbateur) est supérieure à $\lambda/2\pi$

avec λ = longueur d'onde du signal considéré.

Annex A (informative)

EMC techniques

A.1 General overview of EMC phenomena

A.1.1 Phenomena

Many phenomena are described in IEC 1000-2-5. Definitions of low-frequency phenomena are given in IEC 1000-2-1.

Operation of a PDS includes a fundamental state on which are superimposed harmonic states due to non linearity of the converter and/or inverter, and high-frequency phenomena due to fast switching of the power electronic devices of the converter and/or inverter. Therefore, the PDS can emit both low- and high-frequency disturbances.

Reciprocally, other apparatus or systems in the neighbourhood of the PDS can produce low- and high-frequency disturbances which can affect the operation of the PDS.

The electromagnetic disturbances to be considered for the implementation and use of a PDS using power electronics can be categorized into several classes. Each of these classes may be considered as low-frequency disturbances or high-frequency disturbances. In some standards, the boundary frequency is 9 kHz, but in other standards it is 10 kHz.

For a PDS, both are of concern:

- fundamental frequencies, which are less than 9 kHz, are intentionally produced to provide power for the motor;
- and as a secondary phenomenon, frequencies higher than 9 kHz may be used by the control, for example PWM of the inverter control, microprocessor clock.

In each class, conducted and radiated disturbances are identified.

For conduction, the following are of interest:

- differential mode voltage: concerns a disturbance which appears between the input terminals (or output terminals), of a machine or equipment;
- common mode voltage: concerns a disturbance which appears between the average of an input, or an output and earth, or a reference earthing connection.

The above text is an explanation – the precise definition is in IEC 50(161) .

For radiation, the following are of interest:

- the near field: distance to the (parasitic) transmitter less than $\lambda/2\pi$;
- the far field: distance to the (parasitic) transmitter greater than $\lambda/2\pi$

with λ = wavelength of the considered signal.

L'étude de compatibilité électromagnétique concerne chacun de ces cas, tant pour l'émission que pour l'immunité. Pour d'évidentes raisons économiques, elle est limitée aux seuls phénomènes prépondérants.

Le tableau A.1 résume la classification.

Tableau A.1 – Vue d'ensemble CEM

Fréquence	Propagation	Couplage		Emission	Immunité
Basse fréquence $0 \leq f < 9 \text{ kHz}$	Conduite	Mode commun		Harmoniques multiples de 3 (homopolaires) Courants résiduels	Tension à la fréquence du réseau (de puissance)
		Mode différentiel		Harmoniques, interharmoniques et encoches de commutation Conséquences sur la télécommande centralisée des réseaux	Encoches de commutation Variations de tension Creux et coupures brèves Surtensions transitoires Variations de phase Déséquilibre de tension Variations de fréquence Composante continue
	Rayonnée	Champ proche	Couplage magnétique	Champ magnétique	Champ magnétique
			Couplage capacitif	Champ électrique	Champ électrique
		Champ lointain			
Haute fréquence $9 \text{ kHz} \leq f$	Conduite	Mode commun		Tensions et courants induits FR ¹⁾	Tensions et courants induits FR ¹⁾ Transitoires unidirectionnels
		Mode différentiel			Tensions et courants induits FR ¹⁾ Transitoires unidirectionnels
	Rayonnée	Champ proche		Electrique (haute impédance) Magnétique (basse impédance)	Champs magnétiques impulsionnels (émetteurs portables) Emetteurs portables
		Champ lointain		Champs électromagnétiques	Champs électromagnétiques FR ¹⁾
Large spectre		Décharge dans l'air			
		Décharge au contact			
1) FR = aux fréquences radioélectriques					
NOTE – Dans cette norme, la limite entre basse et haute fréquence est fixée à 9 kHz en accord avec l'usage à la CEI. Cette terminologie ne se rapporte pas aux bandes des émissions de radiodiffusion.					

Tableau A.2 – Classification des propriétés

	Immunité	Emission
Basse fréquence	Conduit Rayonné	Conduit Rayonné
Haute fréquence	Conduit Rayonné	Conduit Rayonné

Tableau A.3 – Classification des phénomènes

	Conduit	Rayonné
Basse fréquence	Emission Immunité	Emission Immunité
Haute fréquence	Emission Immunité	Emission Immunité

The study of the electromagnetic compatibility of a system considers each of these cases, both from the emission and immunity points of view. For evident economic reasons, this is limited to the major phenomena alone.

Table A.1 summarizes the classification.

Table A.1 – EMC overview

Frequency	Propagation	Coupling		Emission	Immunity
Low-frequency $0 \leq f < 9 \text{ kHz}$	Conducted	Common mode		Harmonics multiple of 3 (zero sequence) Residual currents	Power frequency voltage
		Differential mode		Harmonics, interharmonics and commutation notches Consequences on mains signalling	Commutation notches Voltage fluctuations Dips and short interruptions Transient overvoltages Phase fluctuations Unbalanced voltages Frequency fluctuations DC components
	Radiated	Near field	Magnetic coupling	Magnetic field	Magnetic field
			Capacitive coupling	Electric field	Electric field
		Far field			
High-frequency $9 \text{ kHz} \leq f$	Conducted	Common mode		Induced RF ¹⁾ voltages and currents	Induced RF ¹⁾ voltages and currents Unidirectional transients
		Differential mode			Induced RF ¹⁾ voltages and currents Unidirectional transients
	Radiated	Near field		Electric (high impedance) Magnetic (low impedance)	Pulse magnetic fields (portable transmitters) Portable transmitters
		Far field		Electromagnetic fields	RF ¹⁾ electromagnetic fields
	Large spectrum		Air discharge Contact discharge		
1) RF = radiofrequency					
NOTE – In this standard, the limit between low and high-frequency is 9 kHz according to common practice in IEC. This terminology does not refer to broadcasting bands.					

Table A.2 – Behaviour classification

	Immunity	Emission
Low-frequency	Conducted	Conducted
	Radiated	Radiated
High-frequency	Conducted	Conducted
	Radiated	Radiated

Table A.3 – Phenomena classification

	Conducted	Radiated
Low-frequency	Emission	Emission
	Immunity	Immunity
High-frequency	Emission	Emission
	Immunity	Immunity

La présente norme retient la classification du tableau A.3. On examine la pertinence du phénomène conduit et/ou rayonné dans chaque cas.

L'expérience industrielle a montré que les principales causes d'incompatibilité sont dues aux perturbations conduites, avec peut-être une exception due aux émetteurs portables tels que les talkies-walkies (émetteurs récepteurs portables). Cette norme traite des perturbations qui concernent particulièrement les PDS.

A.1.2 Niveaux de compatibilité

Pour assurer la CEM, il faut mesurer et caractériser les émissions produites et les perturbations reçues par l'équipement. La figure A.1 tirée de la CEI 1000-4-1 (figure 2) résume les différents niveaux à connaître.

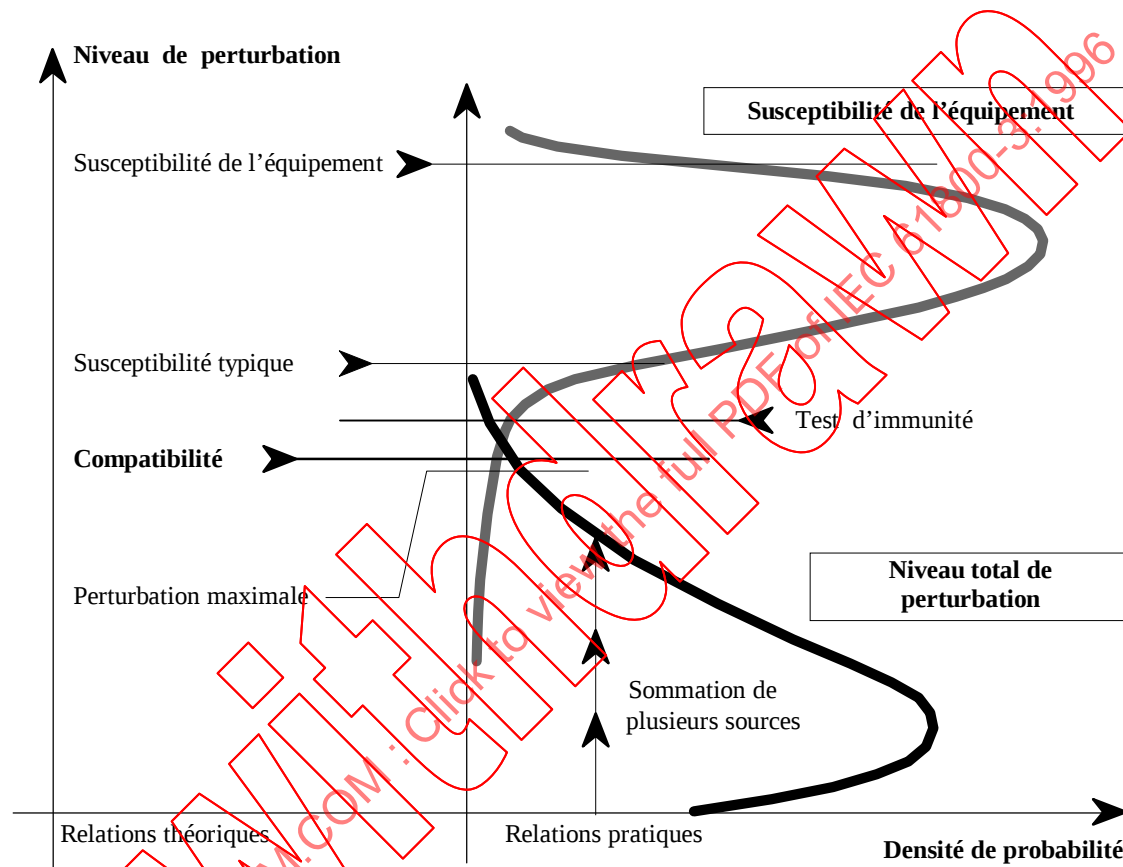


Figure A.1 – Coordination entre perturbation et immunité

Une vue d'ensemble simplifiée et pratique des niveaux typiques de compatibilité est donnée dans le tableau A.4. Il concerne les entraînements qui sont destinés à la vente en distribution non restreinte. Pour une information plus complète, se reporter aux normes référencées et à la partie normative de cette norme.

This standard uses the classification of table A.3. For each case, emission and immunity are considered.

Industrial experience has shown that the main causes of non-compatibility are due to conducted disturbances, with perhaps an exception due to portable transmitters such as walkie-talkies. This standard deals with the disturbances which are particularly relevant to PDSs.

A.1.2 Compatibility levels

If EMC is to be ensured, the emissions from equipment and the disturbances received by this equipment should be measured and characterized. Figure A.1 taken from IEC 1000-4-1 (figure 2) summarizes the different levels which should be known.

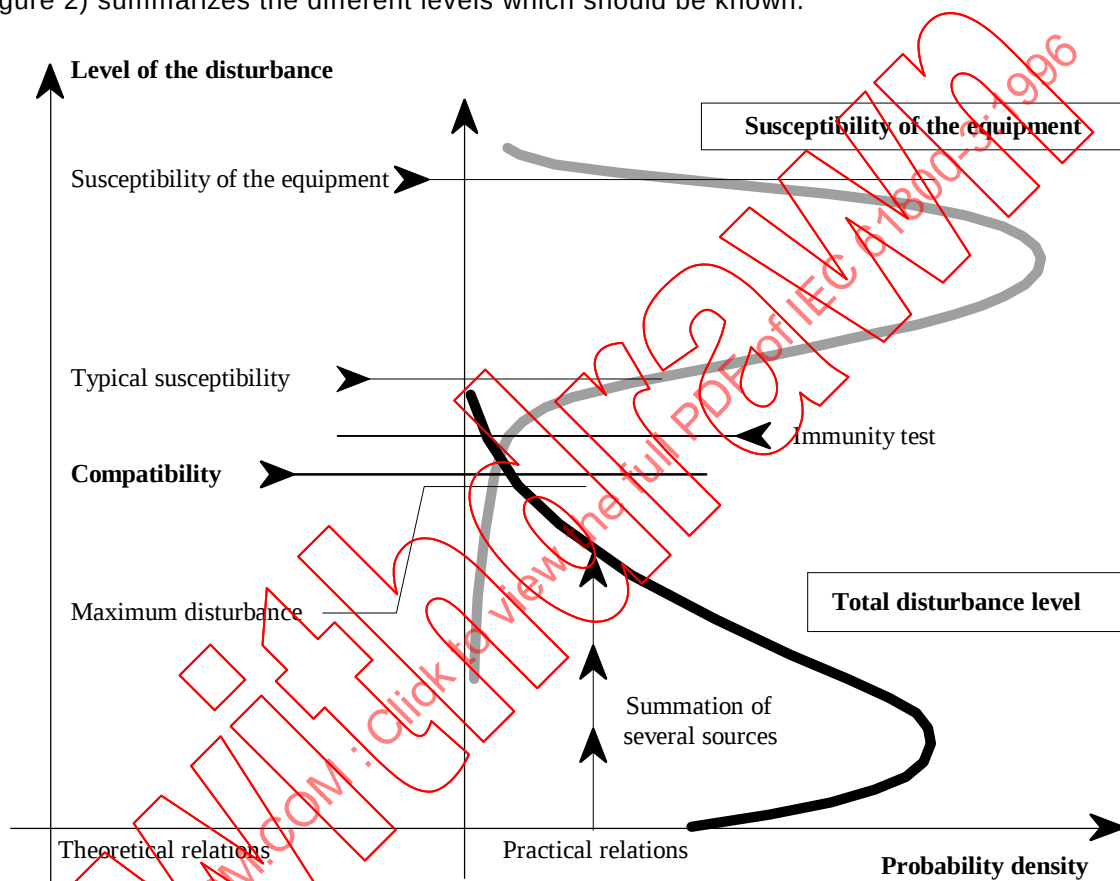


Figure A.1 – Coordination between disturbance and immunity

A simplified and practical overview of typical compatibility levels is given in table A4. They are of concern for PDSs which are to be sold with unrestricted distribution. For more complete information, see the referenced standards and the normative part of this standard.

Tableau A.4 – Valeurs typiques de niveaux de compatibilité (point de vue pratique)

Phénomène	Niveaux de compatibilité	Norme de référence
1 Tensions nominales	230/400, 500, 400/690 V (à 50 Hz) 240, 277/480, 480, 347/600 V (à 60 Hz)	CEI 38
1.1 Variations de tension en régime permanent	±10 % Aux limites basses de tension, on peut s'attendre à une réduction de puissance.	CEI 1000-2-4, classe 2
1.2 Fluctuations de tension <60 s	+10 %/-15 % Aux limites basses de tension, on peut s'attendre à une réduction de puissance.	CEI 1000-2-4 Il convient de prendre garde au mode onduleur
1.3 Creux de tension	Dépend du type de convertisseur de puissance et de l'application.	
1.4 Encoches de commutation	Exemple d'usage: 20 % de U Amplitude maximale des transitoires: 90 % de U fréquence d'oscillation supérieure à 5 kHz	Immunité selon la CEI 146-1-1
1.5 Déséquilibres de tension	2 %	CEI 1000-2-4
1.6 Harmoniques		
1.6.1 Taux de distorsion harmonique	10 % (8 %) voir CEI 1000-2-4, tableaux 3, 4 et 5	CEI 1000-2-4, classe 3 ou classe 2 CEI 1000-2-2
1.6.2 Niveaux de compatibilité		
2 Fréquence	50 Hz ou 60 Hz	CEI 38
2.1 Variation fréquence réseau	±1 %	CEI 1000-2-4, tableau 1

A.1.3 CEM et applications des entraînements (PDS)

La gamme d'applications des PDS est si importante qu'il est vain de vouloir en établir une liste exhaustive. Toutefois, les exemples donnés ici montrent que les environnements sont très différents. Toute règle pratique devrait prendre en compte le fait que la définition de la CEM dépend plus de l'environnement que du produit lui-même. Par exemple: la limitation de l'émission dans les bâtiments à usage domestique doit être 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, calandres dans l'industrie 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.);
- téléphériques, propulsion des bateaux, etc.;
- pompes, ventilateurs, etc.

Les exemples cités concernent des PDS couverts par cette norme. Il faut noter toutefois que les véhicules et particulièrement les entraînements de traction sont exclus de son domaine d'application (article 1).

Table A.4 – Typical values of compatibility levels (practical point of view)

Phenomenon	Compatibility levels	Referenced standard
1 Rated voltages	230/400, 500, 400/690 V (at 50 Hz) 240, 277/480, 480, 347/600 V (at 60 Hz)	IEC 38
1.1 Voltage steady state variation	$\pm 10\%$ Reduction in power should be expected during low voltages	IEC 1000-2-4, class 2
1.2 Voltage changes <60 s	$+10\%/-15\%$ Reduction in power should be expected during low-voltages	IEC 1000-2-4 Inverter mode should be considered
1.3 Dips and short interruption	Depending on type of power converter and on application load	
1.4 Commutation notches	Example of practice is $20\% \times U$ additional transients with an amplitude of maximum $90\% \times U$, oscillation frequency higher than 5 kHz	Immunity in IEC 146-1-1
1.5 Voltage unbalances	2 %	IEC 1000-2-4
1.6 Harmonic voltages		
1.6.1 Total harmonic distortion	10 % (8 %)	IEC 1000-2-4, class 3 or class 2
1.6.2 Compatibility levels	see IEC 1000-2-4, tables 3, 4 and 5	IEC 1000-2-2
2 Frequency	50 Hz or 60 Hz	IEC 38
2.1 Power frequency deviation	$\pm 1\%$	IEC 1000-2-4, table 1

A.1.3 Application of PDSS and EMC

The range of application of PDSSs is so large that any attempt to establish an exhaustive list will fail. However, the examples given here show that environments are very different. Because the definition of EMC is more dependent on the environment than on the product itself, any code of practice should consider this fact. Example: limitation of emission in buildings used for domestic purposes should be quite different from that used for rolling mills in an industrial plant.

Examples of application of PDSSs are listed here:

- machine tools, robots, test equipment in production, test benches;
- paper machines, cloth manufacture, calenders in rubber industry;
- 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.);
- cable cars, propulsion of ships, etc.;
- pumps, fans, and so on.

These examples use PDSSs covered by this standard. However, electric vehicles and particularly traction drives are excluded from the scope of this standard (clause 1).

A.2 Analyse CEM d'un système, appliquée aux entraînements de puissance

A.2.1 Environnement électromagnétique

A.2.1.1 Introduction

Il y a différentes approches pour décrire l'environnement électromagnétique. Il convient de définir les caractéristiques générales de l'environnement sur lesquelles il faudrait baser les niveaux de compatibilité. Une étude de compatibilité électromagnétique nécessite l'examen des caractéristiques d'immunité de l'équipement considéré ainsi que des règles de conception, d'installation, de séparation physique, de filtrage et de blindage.

On peut déterminer des classes particulières d'environnement selon les types de PDS.

A.2.1.2 Méthode générale de modélisation

Un système se compose de sous-systèmes. Les éléments (sous-systèmes) présentent deux caractéristiques émission et/ou susceptibilité (figure A.2).

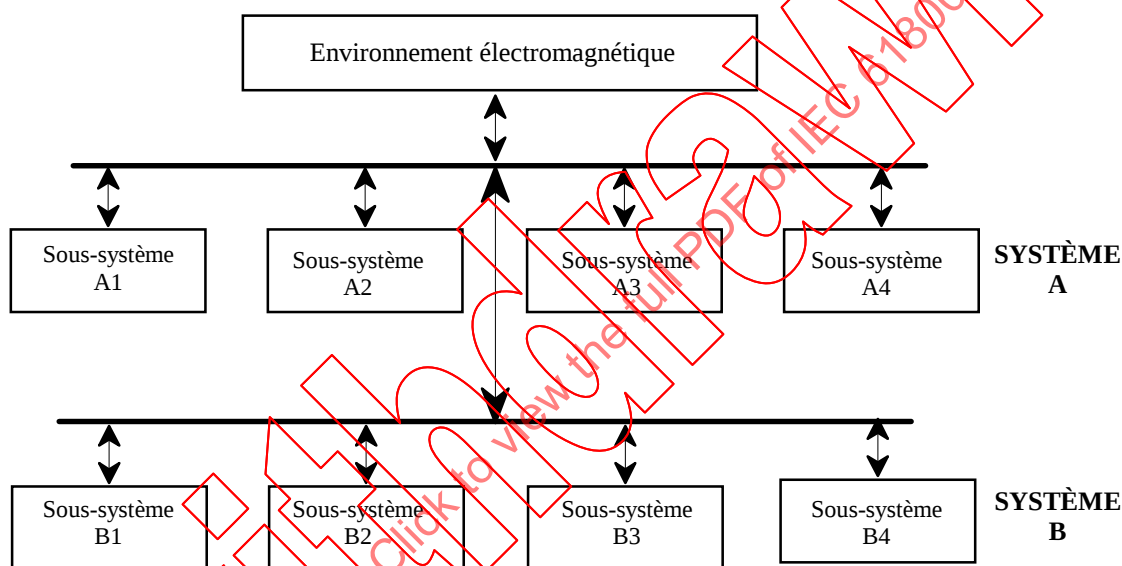


Figure A.2 – Interaction entre le système et l'environnement électromagnétique

Les éléments qui émettent déterminent l'environnement électromagnétique. L'émission peut atteindre les éléments susceptibles par différents types de couplage. On définit une interaction entre le sous-système *i* et le sous-système *j*, et le sous-système *i* et son environnement. Cette interaction est déterminée avec une modélisation de couplage de différents types (impédance commune, induction et rayonnement (tableau A.5)).

Cette modélisation aide à définir les différents problèmes de CEM et les limites spécifiques.

Des exemples sont donnés en figure A.4 et au tableau A.5.

A.2.2 Techniques d'analyse CEM d'un système

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 des circuits critiques, des essais d'évaluation technique et de l'environnement électromagnétique opérationnel. Il est recommandé de développer, aussi souvent que nécessaire, des modèles de sources (émetteurs), de récepteurs, d'antennes, ou de voies de propagation et chemin de couplage. L'objectif de l'analyse CEM est d'aider au développement de règles et de procédures de conception pour s'assurer que le système variateur satisfait aux exigences de CEM.

A.2 System EMC analysis applied to power drive systems

A.2.1 Electromagnetic environment

A.2.1.1 Introduction

Various approaches may be used to describe the electromagnetic 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 PDSs, particular classes of environment can be determined.

A.2.1.2 General modelling

A system consists of some subsystems. The existing devices (subsystems) can have two functions: emission and/or susceptibility (figure A.2).

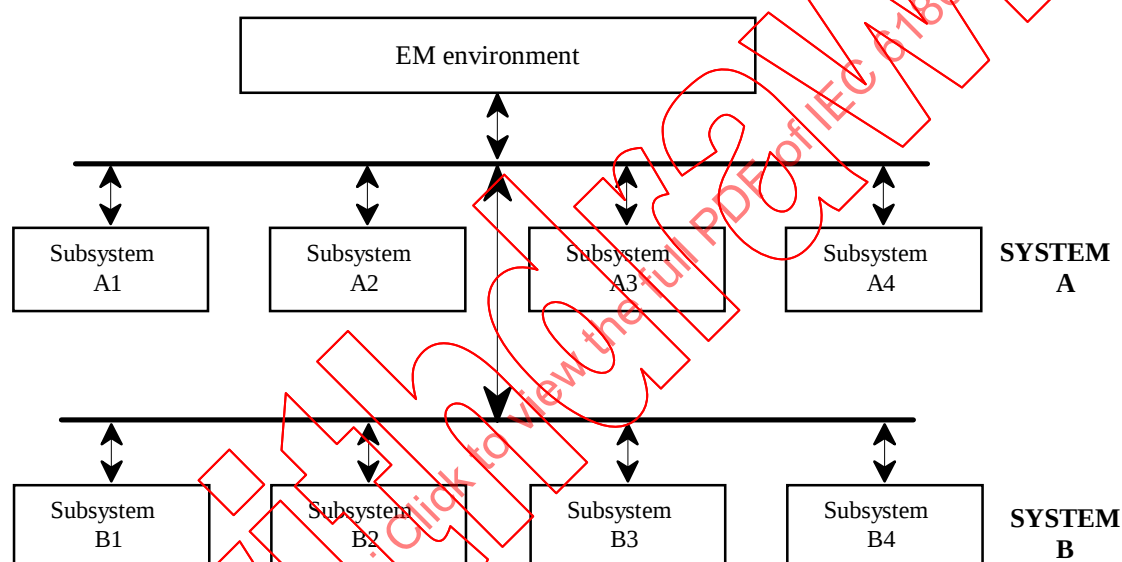


Figure A.2 – Interaction between systems and EM environment

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 [table A.5]).

This model helps to define various EMC problems and to define specific limits.

Some examples are given in figure A.4 and table A.5.

A.2.2 System EMC analysis techniques

The system EMC analysis tasks should be performed utilizing 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.2.2.1 Concept de zone

Le concept de zone pour les entraînements repose sur l'environnement électromagnétique opérationnel et la susceptibilité des sous-systèmes et des équipements. Il convient de définir un critère de qualification, spécifique à chaque zone, avant chaque essai CEM. Ces critères permettent d'établir la procédure d'essai de performance de l'entraînement pendant l'essai d'immunité et de détecter les dysfonctionnements ou les écarts par rapport aux exigences de la spécification. Le critère de qualification d'un sous-système (ou équipement) particulier est inclus dans la procédure d'essai CEM applicable. Le concept de zone est illustré en figure A.3.

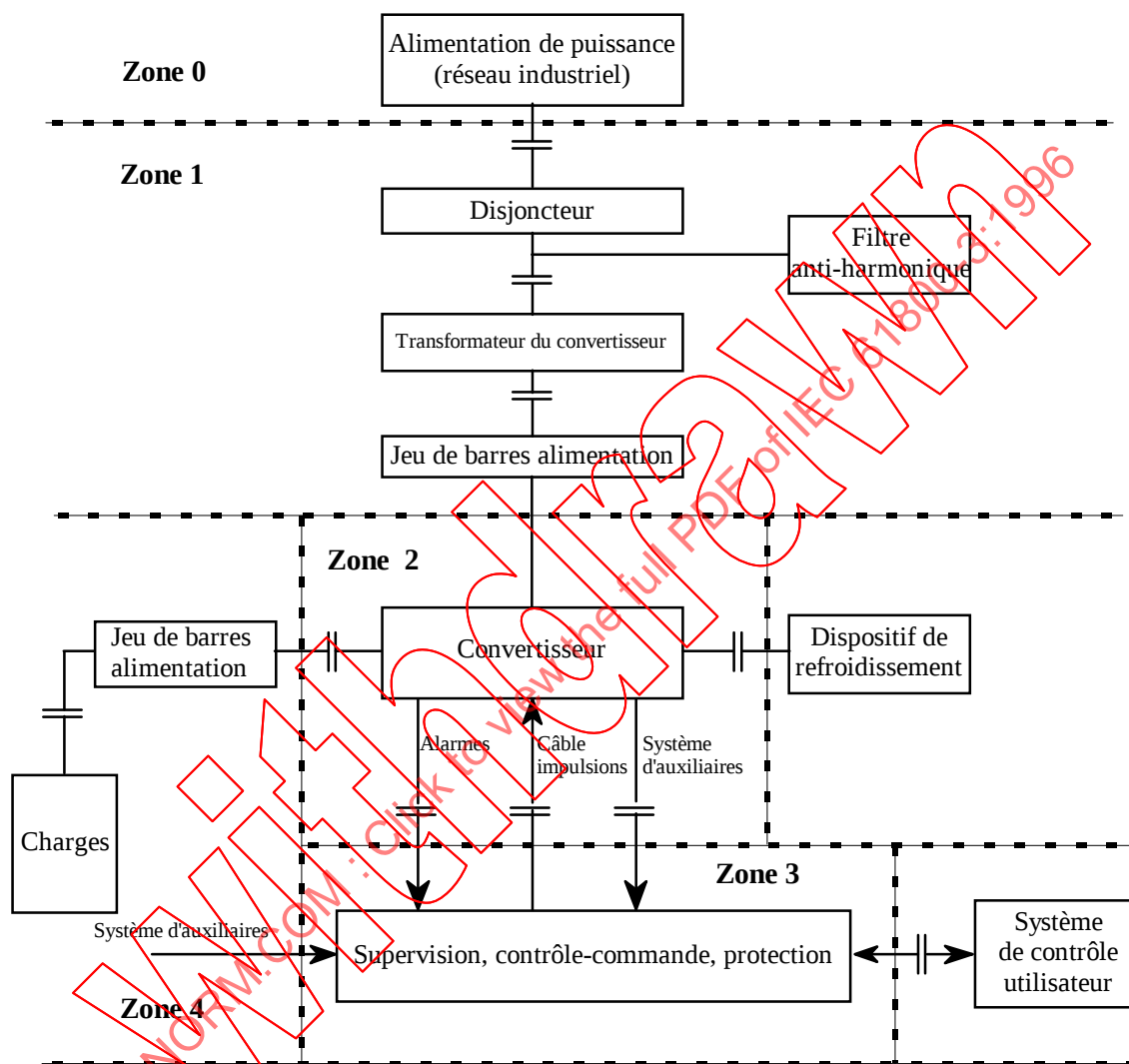


Figure A.3 – Concept de zone

A.2.2.2 Interfaces

Le tableau A.5 donne un exemple d'interfaces entre les sous-ensembles du PDS (voir figure A.4) ainsi que les types d'interférences (conduites, rayonnées).

A.2.2.1 Zone concept

A zone concept for the drive system should be defined based on the operational electromagnetic environment and the susceptibility of subsystems and equipment. Specific 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 acceptance criteria for a particular subsystem (or equipment) should be included in the applicable EMC test procedure. The zone concept is illustrated in figure A.3.

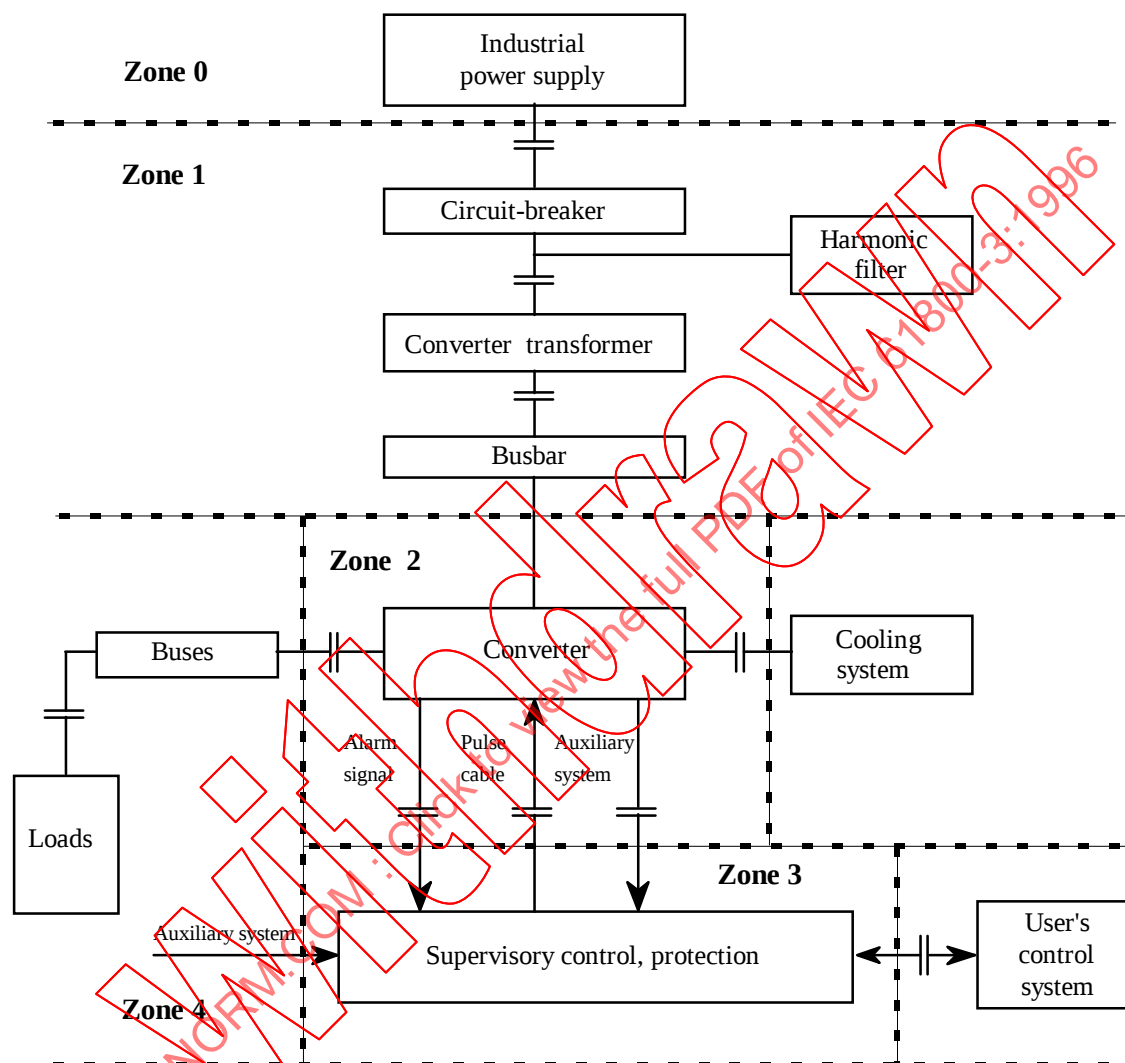


Figure A.3 – Zone concept

A.2.2.2 Interfaces

Table A.5 gives an example of the power interfaces between the subsystems of the PDS (as shown in figure A.4), and the types of interference (conducted, radiated).

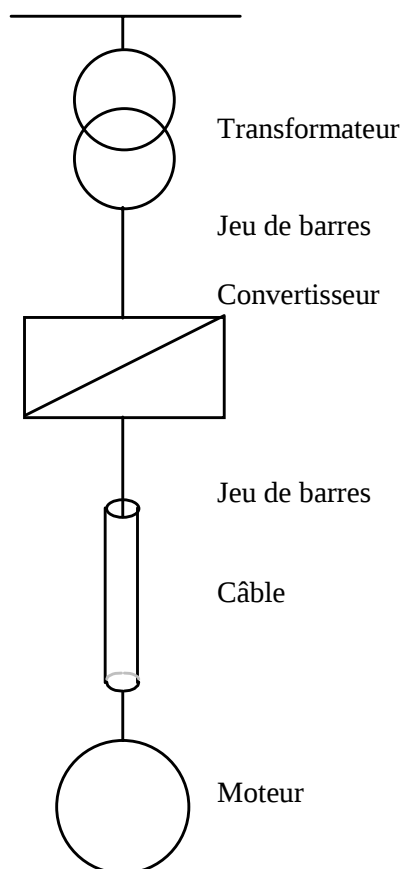


Tableau A.5 – Interaction électromagnétique entre sous-systèmes et environnement

Sous-système élément susceptible Sous-système source EM	Environnement	Transformateur	Convertisseur	Câble	Moteur
Environnement		CI	CI Ray.	CI	CI
Transformateur	CI E, H, Ray.		CI		
Convertisseur	CI Ray.	CI		CI	
Câble	CI Ray.	Ray.	CI Ray.		CI
Moteur	Ray.		CI	CI	
NOTE – Modèles de couplage: - couplage par impédance commune à la fois résistif et/ou inductif - couplage par induction - couplage par champ électrique - couplage par champ magnétique - couplage par rayonnement					

Figure A.4 - Exemple d'entraînement

A.2.2.3 Equipement

Il convient de déterminer les caractéristiques électromagnétiques de chaque équipement (en émission, et en immunité) et la zone à laquelle il appartient.

A.3 Conditions de charge vis-à-vis des phénomènes haute fréquence

Les caractéristiques de CEM des PDS ne sont généralement pas affectées par le niveau de charge du moteur. Il n'est, par conséquent, pas nécessaire d'essayer les PDS en CEM à toutes les conditions de charge, mais uniquement à une charge représentative de toutes les émissions dues au fonctionnement, et représentative de toutes les susceptibilités. Il est souhaitable que le constructeur certifie que les conditions de charge choisies pour l'essai remplissent ce critère.

A.3.1 Conditions de charge relatives aux essais d'émission

Les émissions rayonnées et conduites d'un PDS sont principalement dues aux transitions rapides sur la tension de sortie qui est utilisée pour produire la puissance de sortie en 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 le PDS rayonne de l'énergie électrique par ses conducteurs de puissance en entrée, son armoire, ses câbles et l'enveloppe du moteur. Puisque l'énergie rayonnée est due aux transitions de tension, il convient de réaliser les essais dans les conditions où ces transitions de tension ont le contenu haute fréquence le plus élevé. Il n'est pas nécessaire d'exécuter les essais dans d'autres conditions.

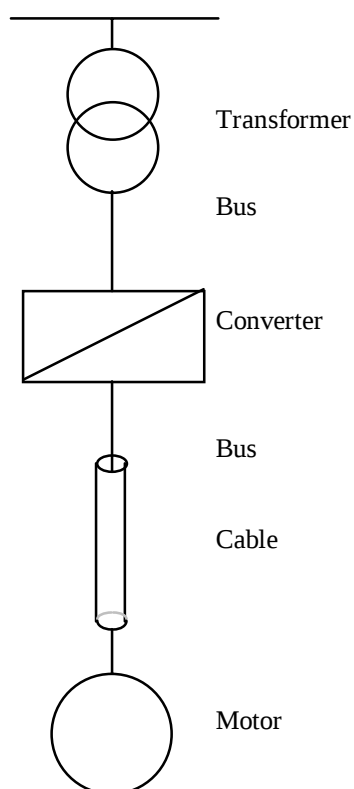


Table A.5 – EM-interaction between subsystems and environment

Subsystems as susceptible device / Subsystems as EM-source	Environment	Transformer	Converter	Cable	Motor
Environment		CI	CI Rad.	CI	CI
Transformer	CI E, H, Rad.		CI		
Converter	CI Rad.	CI		CI	
Cable	CI Rad.	Rad.	CI Rad.		CI
Motor	Rad.		CI	CI	
NOTE – Coupling modelling: - common impedance coupling both resistive and reactive coupling CI - coupling by induction electrical field coupling E magnetic field coupling H - radiation coupling Rad.					

Figure A.4 – Example of drive

A.2.2.3 Equipment

The electromagnetic characteristics of each equipment (emission, immunity) and the zone to which it belongs should be determined.

A.3 Load conditions regarding high-frequency phenomena

The EMC characteristics of PDSs are normally not affected by the amount of load on the motor. Therefore, the PDS need not be tested for EMC characteristics at all load conditions, but only at a load that is representative of all operating emissions and of all susceptibilities. The manufacturer should certify that the load conditions he has selected for the test meet this criterion.

A.3.1 Load conditions during emission tests

The radiated and conducted emissions of a PDS are mainly caused by sharp transitions of its output voltage that are used to produce low-frequency, or d.c. output power. The voltage spectrum of the waveform can have sufficient energy at high frequencies for the PDS to radiate electrical energy from its input power wires, cabinet, motor leads, and motor case. Since the radiated energy is caused by the voltage transitions, tests should be performed at conditions where the voltage transitions have the largest amount of high-frequency content. Tests need not be performed at other conditions.

La vitesse de transition de la tension de sortie peut être affectée par la rapidité de commutation du composant de puissance utilisé dans le PDS. Les transistors IGBT sont des composants très rapides, en association avec les diodes utilisées dans certains types d'onduleurs, ils peuvent générer des dv/dt supérieurs à 1 000 V/ μ s. Il est important de noter que le temps de recouvrement de la diode est un paramètre important dans ces dv/dt importants. Bien que le niveau de courant de recouvrement dépende de la charge, le temps de recouvrement de la diode en dépend moins. Remarquons que les composants d'atténuation devraient être dimensionnés en tenant compte du risque de saturation des filtres (comme la saturation des inductances déblocage).

D'autre part, il est important de prendre en compte l'effet des condensateurs, résistances ou inductances du circuit de puissance, tels que ceux des circuits d'aide à la commutation, dont la fonction est de limiter la pente de cette tension. La forme d'onde de sortie peut avoir, avec la présence de ces composants, des caractéristiques de dv/dt dépendantes de la charge. Dans ce cas, il est important que le PDS soit testé au point de fonctionnement le plus défavorable en dv/dt .

A.3.2 Conditions de charge relatives aux essais d'immunité

Généralement, les conditions de charge n'affectent pas l'immunité du PDS aux perturbations basse ou haute fréquence. Les défaillances des circuits de puissance et de contrôle sont généralement fonction des niveaux de tension et non de courants. Les essais d'immunité pratiqués à faible charge peuvent ne pas détecter de petites variations dans la valeur de déclenchement de protections comme les surintensités ou les surtensions. Si ces niveaux sont critiques pour le fonctionnement du PDS, il est souhaitable de vérifier l'immunité pour ces points de fonctionnement.

Il convient de qualifier la caractéristique du couple produit, si besoin est, à un niveau de charge qui permette de mesurer la perturbation de couple pouvant apparaître lors des essais en basse ou haute fréquence. Un moteur et un capteur de couple sont alors nécessaires. Le moteur est accouplé à une charge compatible avec l'environnement électromagnétique de l'essai. Si l'on utilise des méthodes indirectes de mesure du couple, il convient d'essayer le PDS à des niveaux de charge suffisants pour mesurer toute perturbation de couple.

A.3.3 Essai en charge

On peut pratiquer un essai à faible charge, c'est-à-dire avec fonctionnement à vide du moteur, pour vérifier les caractéristiques CEM d'un PDS si les conditions ci-dessus sont remplies. L'essai est même possible avec une charge passive, résistances de puissance et inductances pour simuler un moteur et sa charge. Il est également important de noter que la carcasse du moteur peut se comporter comme une antenne. Si une charge passive est utilisée, l'effet d'antenne devrait également être simulé.

Il est souhaitable que le constructeur du PDS certifie que la charge d'essai reproduit les conditions de fonctionnement les plus défavorables ou de plus grande susceptibilité pour le produit particulier. Cette certification peut être réalisée par l'essai d'un produit représentatif, par calcul ou simulation.

A.4 Quelques aspects de l'immunité

A.4.1 Mode commun à la fréquence du réseau

Cet article donne des explications sur les perturbations conduites permanentes indésirables à la fréquence du réseau d'alimentation, dans les liaisons de commande de processus, de mesures et de régulation.

The sharpness of output transitions can be affected by the switching speed of the power device that is used in the PDS. IGBTs (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 's that can be greater than 1 000 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. Note that attenuation measures should be rated to cover saturation effects of filter elements (for example saturation of interference suppression inductors).

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 may have dv/dt characteristics that are load dependent. In this case, it is important that the PDS be tested at the worst case dv/dt point of operation.

A.3.2 Load conditions during immunity tests

Generally, load conditions do not affect the immunity of a PDS to low- or high-frequency disturbances. The failures of the power and control circuitry are generally associated with voltage not current levels. Testing at light load does not detect slight changes in the settings of protective circuitry, that is overcurrent, overvoltage. If these levels are critical to the proper operation of a PDS, the test should verify the immunity at these points of operation.

If the torque generating behaviour criterion is used, the load should be at such a level that it is possible to measure the torque disturbance associated with the low or high-frequency tests. This will require a motor and a torque measuring device. The motor should have a load that can be used in the electromagnetic environment of the test. If indirect torque measuring methods are used, the PDS should be operated at a load level which is sufficient for any torque disturbances to be measured.

A.3.3 Load test

A light load test, that is a test with the motor running at no load, can be used to verify the EMC characteristics of a PDS if the above conditions are met. 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 should also be simulated.

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

A.4 Some immunity aspects

A.4.1 Power frequency common mode

This section relates to the explanation of unwanted conducted continuous disturbances in the power frequency range within lines for process, measurement and control.

Un couplage inductif, capacitif ou galvanique avec les lignes et réseaux de distribution d'énergie est possible sur les liaisons dépassant 2 m. Il inclut les impédances communes parcourues par les courants de fuite dans le réseau de terre. Ceci peut générer des interférences indésirables sur les signaux de traitement d'information ou sur les tensions ou courants utiles, et par conséquent entraîner des réactions intempestives du PDS.

Pour comprendre la nécessité d'un essai CEM, il est utile d'expliquer les différences fondamentales dans les types de transmission et de connexion d'un signal aux différents accès. On distingue deux modes de transmission du signal et de configuration de l'accès: le mode commun et le mode différentiel.



Figure A.5 – Transmission de signal en mode commun

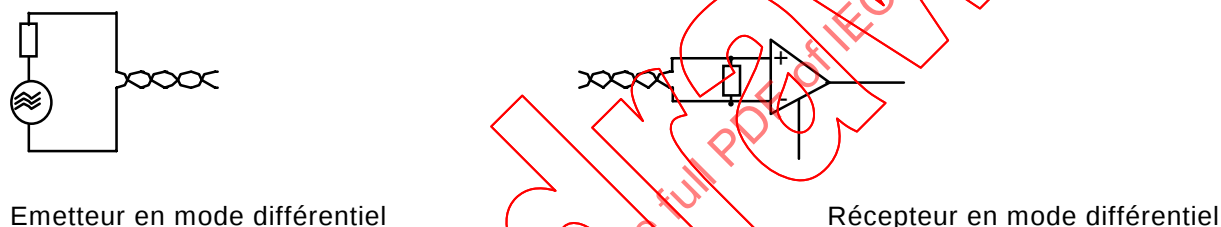


Figure A.6 – Transmission d'un signal en mode différentiel

Comme il est possible de combiner les différents cas, il faut caractériser le mode de transmission du signal. L'important est alors de savoir s'il existe ou non, un isolement par rapport à la terre.

Tableau A.6 – Modes de transmission du signal

		Récepteur mode commun	Récepteur mode différentiel
Emetteur	Mode commun	!	1 (Transmission sur paire torsadée)
	Mode différentiel	2 (Transmission sur paire torsadée)	1 (Transmission sur paire torsadée)
!	Attention ! La transmission d'un signal en mode commun peut être fortement altérée par des perturbations conduites permanentes.		
1 et 2	Transmission d'un signal en mode différentiel recommandée avec des tenues aux perturbations conduites permanentes: 1 = très bonnes, 2 = bonnes.		

En mode différentiel (cas 1 et 2 du tableau A.6), une perturbation ne peut arriver que si l'on dépasse la possibilité de réjection de mode commun du récepteur. Cela peut être négligé si la différence de potentiel entre émetteur et récepteur n'est pas trop grande. Sinon, il est recommandé d'utiliser une transmission avec découplage galvanique du signal (par exemple, par photocoupleurs ou transformateurs de signal).

Il convient que le blindage d'un câble blindé ne soit pas utilisé pour véhiculer le signal de retour. Les recommandations d'installation sont données dans la future CEI 1000-5-2 (voir bibliographie).

For lines which may exceed 2 m, there can be inductive, capacitive or galvanic coupling from power lines and power distribution networks, including return leakage currents in the earthing/grounding system. This can lead to unwanted interference to the information signal, or useful voltages or currents, and therefore to unwanted reactions of the PDS.

To understand the necessity of an EMC test, it is useful to explain the basic differences in types of signal transmission and frame connections at the ports. Then two different modes of signal transmission and port configurations (common mode and differential mode) can be distinguished.

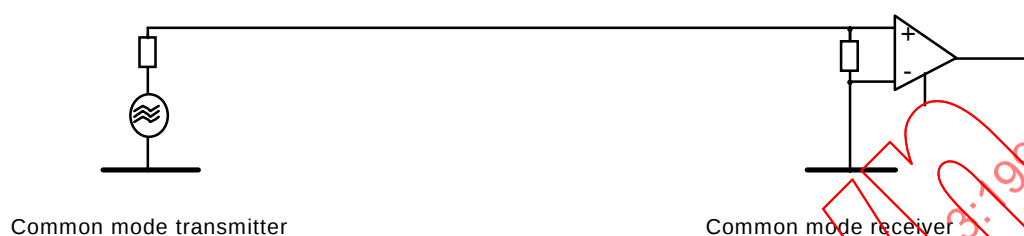


Figure A.5 – Signal transmission using common mode



Figure A.6 – Signal transmission using differential mode

As the different stages can be combined, the character of the signal transmission should be investigated. In that case, it is important to determine whether there is any insulation from earth or not.

Table A.6 – Modes of signal transmission

		Receiver common mode	Receiver differential mode
Transmitter	Common mode	!	1 (Twisted pair line)
	Differential mode	2 (Twisted pair line)	1 (Twisted pair line)
!	Attention ! Common mode signal transmission can be heavily disturbed by continuous conducted disturbances.		
1 and 2	Recommended differential mode signal transmitting against continuous conducted disturbances: 1= best, 2 = good performance		

If differential signal transmission (cases 1 and 2 of table A.6) is used, a disturbance can happen only if the common mode rejection of the receiver is exceeded. This can be neglected if the potential difference between transmitter and receiver is not too high. Otherwise, isolated signal transmission should be used (for example optocouplers or signal transformers).

With a shielded cable, the shield should not be used as the signal return. Installation guidelines are given in future IEC 1000-5-2 (see bibliography).

A.4.2 *Perturbations en haute fréquence*

De nombreux aspects de l'environnement sont décrits dans la CEI 1000-2-3.

Les sources de perturbations transitoires comprennent les transitoires rapides générés par les dispositifs de coupure, contacteurs, etc. Les différents types d'émetteurs radio sont inclus dans les sources de perturbations haute fréquence permanentes.

Les émetteurs de radiodiffusion utilisent une large gamme de fréquences, à partir de 150 kHz dans certaines parties du monde, en particulier en Europe. Par ailleurs, les émetteurs-récepteurs portables (talkies-walkies), les émetteurs-récepteurs CB, les téléphones portables, opèrent à des fréquences à partir de 27 MHz.

L'expérience confirmée montre qu'il est peu probable que les émetteurs de radiodiffusion perturbent un PDS. Les émetteurs-récepteurs portables et équipements similaires sont des sources d'interférences beaucoup plus probables. Ils ont des puissances d'émission plus faibles, mais peuvent induire des signaux plus importants dans les variateurs, du fait de leur plus grande proximité.

Le couplage peut se produire par l'enveloppe, par le câblage ou par une combinaison des deux.

L'essai aux transitoires rapides en salves vérifie l'immunité aux perturbations issues des dispositifs de coupure. Il montre aussi une certaine immunité à d'autres perturbations haute fréquence. Cependant, pour les perturbations rayonnées, telles que celles provenant des émetteurs-récepteurs portables, il convient de réaliser les essais d'immunité aux champs électromagnétiques.

Les essais d'immunité aux champs électromagnétiques rayonnés peuvent être pratiqués dans la gamme de fréquences de 26 MHz à 1 GHz.

Aux fréquences inférieures à 26 MHz, le couplage le plus probable se fait par les différents câbles connectés au BDM/CDM. Les essais d'immunité aux perturbations conduites aux fréquences radio sont longs, compte tenu du nombre important d'accès. De plus les réseaux de couplage pour les équipements de forte puissance sont difficiles à réaliser. Ainsi, puisque l'expérience montre que les PDS ne sont pas vraiment perturbés par les signaux radio de fréquence inférieure à 26 MHz, cet essai n'est pas nécessaire. De plus, on a noté que le mode de couplage par les câbles est également testé selon la CEI 1000-4-4 (voir 5.3.1 et 5.3.2 de la présente norme).

A.4.3 *Essai d'immunité au champ électromagnétique*

Cette section traite des méthodes d'essai spécifiques appliquées à un PDS pour vérifier sa conformité aux exigences essentielles d'immunité aux champs électromagnétiques (champs-EM). Ce point peut se révéler important en raison du nombre croissant de sources de champs-EM, spécialement pour les sous-ensembles électroniques traitant des signaux à faible énergie.

Il convient de distinguer parmi les sources haute fréquence, celles qui peuvent altérer le fonctionnement d'un équipement électronique en général et d'un PDS en particulier, et quelle méthode d'essai spécifique pourrait être suffisante. Les paragraphes suivants fournissent explications et descriptions.

A.4.3.1 *Champs-EM de faible niveau*

Les dispositifs ISM, certaines machines de soudage, des séchoirs, etc., peuvent être des sources de champs-EM de faibles niveaux. Ces matériels sont tous présents dans les environnements domestiques et industriels. Dans la plupart des cas, les niveaux de champ résultant sont supposés être inférieurs à 3 V/m à «l'accès-enveloppe» du PDS.

A.4.2 High-frequency disturbances

Many aspects of the environment are described in IEC 1000-2-3.

Sources of transient disturbances include fast transients from circuit breakers, contactors, etc. Sources of continuous high-frequency disturbances include various types of radio transmitter.

Broadcast transmitters are used over a wide range of frequencies, down to 150 kHz in some parts of the world, particularly Europe. On the other hand, portable transmitters such as walkie-talkies, citizen band radios, portable telephones, operate at frequencies from 27 MHz upwards.

Established experience indicates that broadcast transmitters are unlikely to disturb a PDS. Walkie-talkies and similar equipment are far more likely to cause problems. Walkie-talkies have lower transmitter powers, but may induce higher signal strengths into drives, due to their closer proximity.

Coupling may be through the enclosure or through the connecting wires, or a combination of both.

To ensure immunity against disturbances from contactors, etc. the electrical fast transient burst test should be performed. This will confer some measure of immunity against other high-frequency disturbances. However, for radiated disturbances, such as from walkie-talkies, tests for immunity to the radiated electromagnetic fields should also be carried out.

Tests for immunity to radiated electromagnetic fields may be conducted in the frequency range 26 MHz to 1 GHz.

For frequencies lower than 26 MHz, the most likely coupling path is through the various cables connected to the BDM/CDM. Testing immunity to conducted radio-frequency signals is time-consuming due to the large number of ports, and the coupling networks required are difficult to obtain for high-power equipment. However, since established experience indicates that PDSs are unlikely to be disturbed by radio-frequency signals below 26 MHz, this test is not required. The fact that this kind of coupling path (cables connected) is also tested according to IEC 1000-4-4 (see 5.3.1 and 5.3.2 of the present standard) should be kept in mind.

A.4.3 Electromagnetic field immunity test

This section deals with specific test methods for a PDS to show compliance with essential immunity requirements against electromagnetic fields (EM fields). Because of increasing numbers of EM field sources this can be an important property, especially for built-in small signal electronic sub-systems.

Some distinction should be made to decide which high-frequency sources can cause problems with the operation of electronic equipment in general and PDSs in particular, and which specific test method may be sufficient. The following subclauses will provide explanations and descriptions.

A.4.3.1 Low level EM fields

ISM devices, some welders, dryers, etc. can be sources of low level electromagnetic fields. These devices are all present in the domestic and industrial environment. In most cases, the resulting field strengths are expected to be less than 3 V/m at the enclosure port of the PDS.

Pourvu qu'une disponibilité intrinsèque opérationnelle soit réalisée, l'expérience établie sur les PDS, montre que les champs-EM rayonnés par un autre PDS, ainsi que les champs-EM de faible niveau émis par des stations de radiodiffusion commerciales, ne provoquent pas de difficulté. Or l'essai selon la CEI 1000-4-3 sous 3 V/m ne peut révéler des problèmes d'immunité que pour des champs-EM de faible niveau.

A.4.3.2 Champs-EM de fort niveau

Le niveau d'un champ décroît de façon inversement proportionnelle à la distance entre l'antenne d'émission et la victime possible, et ne croît qu'avec la racine carrée de la puissance d'entrée sur l'antenne. Il convient donc de prêter attention aux émetteurs se trouvant à proximité immédiate, environ 1 m, du PDS. Ces appareils de communication sont les principales sources de perturbation par rayonnement affectant les équipements électroniques. Les appareils mobiles de télécommunication, comme les émetteurs-récepteurs portables ou les téléphones sans fil, sont des exemples de sources locales habituelles de perturbations haute fréquence permanentes.

Un entraînement de grande taille ne peut pas être installé et fonctionner correctement sur un site d'essai (cage de Faraday), pour l'essai selon la CEI 1000-4-3. Par conséquent, pour démontrer l'immunité, on propose l'alternative d'un essai appelé «essai talkie-walkie». Des essais semblables ont été utilisés depuis de nombreuses années par de nombreux constructeurs d'entraînements. Il a aussi été demandé par des utilisateurs de PDS. Voir [1] en E.1.

L'analyse ci-dessous donne une indication de la valeur du champ auquel peut être soumis un PDS, lors du fonctionnement de ces dispositifs.

Une campagne de mesures a été réalisée par l'ERA (Electrical Research Association) et la Direction des Etudes et Recherche d'Electricité de France (EdF) sur les émetteurs récepteurs portables provenant de six constructeurs différents dans des gammes de puissance de 0,5 W à 12 W et aux fréquences VHF et UHF (voir [3] et [4] en E.1).

Un émetteur-récepteur portable peut être considéré comme un dipôle, le boîtier en constituant le second élément. La relation empirique liant le gain d'antenne, la puissance fournie à l'antenne et la valeur du champ dans les conditions de champ lointain selon [2], [3] et [4] en E.1 peut s'écrire

$$E = (5,5 / d) (G \cdot P_t / P_0)^{1/2}$$

$$d \geq d_f ; \text{ où } d_f = \lambda / 2\pi = c / 2\pi \cdot f_t$$

où

E est le champ à la distance d en volts par mètre;

P_t est la puissance d'entrée de l'antenne;

P_0 est la puissance de référence ($P_0 = 1$ W);

f_t est la fréquence d'entrée;

d est la distance à l'antenne en mètres dans les conditions de champ lointain;

c est la vitesse de la lumière 3×10^8 m/s;

G est le gain numérique isotropique d'antenne [antilog ($G_{dB}/10$)].

La dispersion du coefficient d'émission couvre la fourchette $5,5 \times \sqrt{G} = 0,45$ à $3,35$, la valeur dépend surtout de la longueur de l'antenne (les antennes d'émetteurs portables ont typiquement une longueur de l'ordre de $\lambda/4$). Les expérimentations (sauf celles faites par l'ERA) ont été réalisées en cages de Faraday pour lesquelles on peut supposer qu'il existe un plan de masse suffisamment efficace. Dans la pratique courante, l'émetteur-récepteur portable est tenu et manipulé par une personne. On peut donc s'attendre à des pertes supplémentaires, et en conséquence un coefficient de $5,5 \times \sqrt{G} = 3,00$ est pris dans ce qui suit comme représentant le cas le plus défavorable.

The established experience with PDSs shows that provided an intrinsic operational availability is realized, the radiated EM fields from other PDSs and other low level EM-fields from commercial broadcasting stations are not matters of complaint. Testing in accordance with IEC 1000-4-3 with 3 V/m can present immunity problems only for low level EM fields.

A.4.3.2 High level EM fields

The field strength decreases in inverse proportion to the distance between the transmitting antenna and the possible victim, and increases only with the square root of antenna input power. Therefore, attention should be drawn to the transmitters which can be operated in close proximity, about 1 m, from the PDS. These communication devices are the dominant radiating interference sources affecting electronic equipment. Examples of usual local sources of continuous high-frequency disturbances are mobile telecommunication equipment such as walkie-talkies or cordless telephones.

A large PDS cannot be installed and operated correctly in a test site (shielded room) for the test of IEC 1000-4-3. Therefore, to demonstrate immunity, an alternative test, which is called the "walkie-talkie test" may be used. A test in this form has been used by many PDS manufacturers for many years. It has also been requested as a contract requirement by some users of PDSs; for example see [1] in E.1.

The analysis below gives an indication of the field strengths to which a PDS can be subjected, due to the operation of these devices.

An analysis of measurements was performed by ERA (Electrical Research Association) and the Research Department of Electricité de France (EdF) on walkie-talkies from six different manufacturers with power ratings ranging from 0,5 W to 12 W at VHF and UHF frequencies (see [3] and [4] in E.1).

A portable transceiver can be treated as a dipole with the case of the transceiver being the second limb. The statistical average relationship between antenna gain, power supplied to the antenna and field strength in the far field, according to [2], [3] and [4] in E.1, is approximated by:

$$E = (5,5 / d) (G \cdot P_t / P_0)^{1/2}$$

$$d \geq d_f \text{ where } d_f = \lambda / 2\pi = c / 2\pi \cdot f_t$$

where

E is the field strength at d in volts per metre;

P_t is the antenna power input;

P_0 is the reference power ($P_0 = 1$ W);

f_t is the input frequency;

d is the distance from the antenna in metres under far field conditions;

c is the speed of light 3×10^8 m/s;

G is the numerical antenna gain [antilog ($G_{dB}/10$)] over isotropic.

The spread of coefficients ranging from $5,5 \times \sqrt{G} = 0,45$ to $3,35$ depends mainly on the length of the antenna (walkie-talkie antennas typically have lengths comparable to $\lambda/4$). Since the experiments (except those exercised by ERA) were performed in a shielded enclosure, it can be assumed that a sufficiently adequate ground plane existed. In actual practice, the portable transceiver is held and keyed by someone. As such additional losses can be expected, a coefficient of $5,5 \times \sqrt{G} = 3,00$ is referenced in the following as the worst case condition.

Si nous supposons qu'un émetteur avec une puissance d'entrée assignée d'antenne de $P_t = 10$ W est actionné et tenu à une distance d , dans les conditions de champ lointain, une approximation grossière conduit à $E \cdot d = 9,5$ V. Donc, si un émetteur de 10 W est placé près d'un PDS, le champ augmentera jusqu'à 95 V/m à $d = 0.1$ m et atteindra 190 V/m à $d = 0,05$ m (en supposant que la fréquence soit suffisamment haute pour que la condition $d > d_f$ soit remplie). Si la fréquence diminue la distance limite du champ proche augmente (voir figure A.5). La formule ci-dessus ne s'applique pas au champ proche.

L'exposition du PDS à des stations radar fixes de grande puissance est plus rare et nécessite une analyse spéciale et des méthodes d'atténuation *in situ* adaptées aux conditions d'environnement locales.

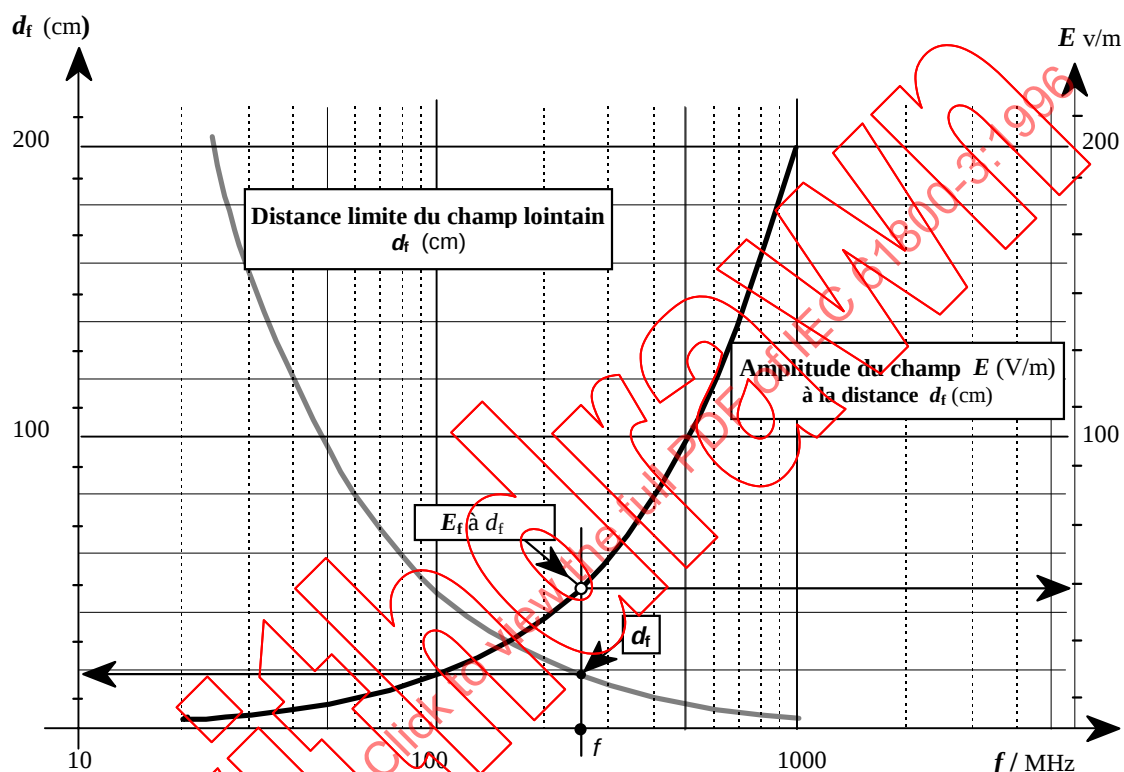


Figure A.7 – Distance d_f et amplitude probable du champ, pour les limites du champ lointain (onde plane), en fonction de la fréquence, pour une puissance de 10 W à l'antenne

A.5 Techniques de mesure des émissions haute fréquence

A.5.1 Impédance/réseau fictif

La source de perturbation haute fréquence dans un variateur ayant une certaine impédance, la mesure de tension perturbatrice est affectée par l'impédance du réseau.

En particulier en basse fréquence, l'impédance des réseaux peut être considérée comme inductive. Cependant, il peut y avoir des résonances dues aux divers condensateurs du système. Pour plus d'informations, voir 6.6 de la CEI 1000-2-3.

A.5.1.1 Circuit de réseau fictif

Lorsque cela est possible, il convient d'employer un réseau fictif pour standardiser l'impédance réseau utilisée pendant les essais de type. La répétitivité entre les différents sites d'essai en est améliorée.

If it is assumed that a transmitter with a rated antenna input of $P_t = 10$ W is keyed and hand-held at distance d , in far field conditions, the rough approximation leads to $E \cdot d = 9,5$ V. Therefore, if a 10 W transmitter is brought towards the PDS, the field strength will increase to 95 V/m at $d = 0,1$ m and to 190 V/m at $d = 0,05$ m (assuming that the frequency is high enough for the condition $d > d_f$ to be fulfilled). As the frequency decreases, the boundary distance increases (see figure A.7). Within the near field the above formula does not apply.

Exposure of the PDS to stationary high-power radar stations is rarer, and requires special analysis and mitigation methods *in situ* according to the local boundary conditions.

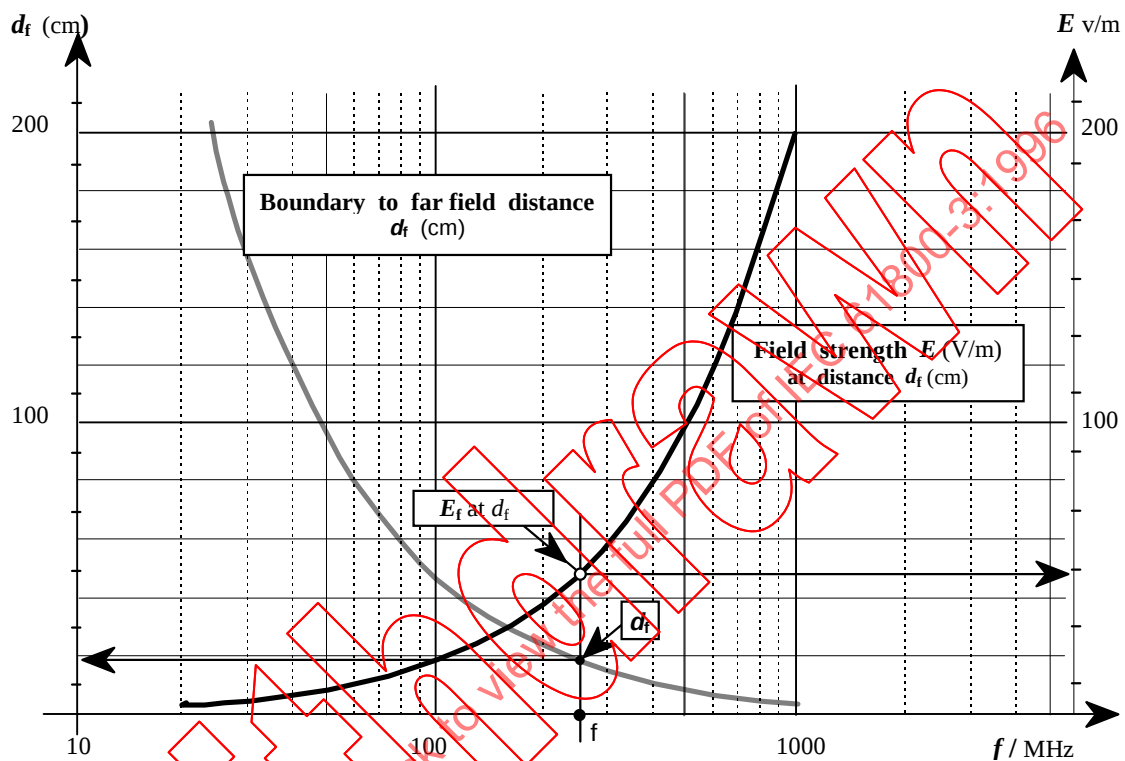


Figure A.7 – Distance d_f and expected field strengths at the boundary to far field conditions versus frequency, with input power $P_t = 10$ W

A.5 High-frequency emission measurement techniques

A.5.1 Impedance artificial mains network (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 may be regarded as inductive. However, there may be resonances due to various capacitances of the system. For further information, see 6.6 of IEC 1000-2-3.

A.5.1.1 Circuit of artificial mains network (AMN)

Where possible, an AMN (artificial mains network) should be used to standardize the supply impedance used during type tests. This improves the repeatability between different test sites.

Les caractéristiques de différents réseaux sont définies dans l'article 11 du CISPR 16-1. Dans la gamme de fréquences des mesures des tensions perturbatrices définies dans cette norme, on peut utiliser le réseau $50 \Omega // 50 \mu\text{H}$ ou $50 \Omega // 50 \mu\text{H} + 5 \Omega$. Entre 150 kHz et 30 MHz, l'équipement en essai (l'entraînement) voit une impédance par rapport à la terre de 50Ω en parallèle avec $50 \mu\text{H}$, indépendamment de l'impédance du réseau d'alimentation.

Le réseau fictif comprend un circuit pour chaque phase. Le neutre, s'il est utilisé, est relié par un circuit identique à celui utilisé pour chaque phase.

A.5.1.2 *Entraînement (PDS) avec lequel le réseau fictif ne peut pas être utilisé*

Aux fréquences plus basses, les inductances internes au réseau fictif $50 \Omega // 50 \mu\text{H}$ ajoutent $50 \mu\text{H}$ à l'impédance du réseau. Les inductances internes du réseau fictif $50 \Omega // 50 \mu\text{H} + 5 \Omega$ ajoutent $300 \mu\text{H}$. Cette impédance supplémentaire peut empêcher le fonctionnement correct de certains PDS (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 ce cas, le réseau fictif ne peut pas être utilisé.

Les réseaux fictifs décrits ci-dessus ne sont définis que pour une utilisation jusqu'à 100 A, ainsi ils ne peuvent pas être utilisés pour un PDS de calibre supérieur. Pour un PDS de grande puissance, l'impédance du réseau est plus basse que l'impédance du réseau fictif. Dans ce cas, l'emploi d'un réseau fictif donnerait des lectures par excès.

Pour des tensions réseau supérieures à 415 V nominal, il peut être difficile de trouver un réseau fictif sur le marché. Dans ces cas, le PDS devrait être relié directement au réseau d'alimentation et la tension perturbatrice pourrait être mesurée avec une sonde haute impédance.

A.5.1.2.1 *Sonde haute impédance*

Quand on n'utilise pas de réseau fictif, la tension perturbatrice peut être mesurée à l'aide d'une sonde haute impédance, comme décrit en 12.2 du CISPR 16-1. Puisque le courant principal ne traverse pas la sonde, cette dernière peut être utilisée même avec des PDS de puissance plus élevée.

En ajustant la valeur du condensateur en fonction de la tension, cette sonde peut être utilisée avec des alimentations jusqu'à 1 000 V. Si la valeur du condensateur est réduite, il convient de tenir compte de son influence sur le calibrage, comme indiqué dans le CISPR 16-1.

La sonde est branchée entre une phase et la terre de référence. Si le CDM/BDM a une masse métallique reliée à la terre, elle peut être prise comme terre de référence. Il est souhaitable de placer la sonde sur le câble d'alimentation des entrées dans le CDM/BDM. Les raccordements de la sonde sont aussi courts que possible, de préférence moins de 0,5 m.

Le CISPR 16-1 alerte sur la nécessité de minimiser la surface de la boucle formée par les liaisons de la sonde, le conducteur sur lequel on effectue la mesure et la terre de référence, afin de réduire la susceptibilité aux champs magnétiques.

A.5.1.2.2 *Méthode alternative pour les PDS de courant élevé*

Dans certains cas, il peut être difficile d'utiliser une sonde haute impédance pour des raisons de sécurité lors des changements de phases, et les lectures peuvent être plus élevées de plusieurs dizaines de décibels que celles obtenues avec la méthode du réseau fictif (à cause d'impédances désadaptées).

The characteristics of various networks are defined in clause 11 of CISPR 16-1. For the frequency range of disturbance voltage measurements defined in this standard, the $50\ \Omega // 50\ \mu\text{H}$ network or the $50\ \Omega // 50\ \mu\text{H} + 5\ \Omega$ network may be used. Between 150 kHz and 30 MHz, 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.

The AMN contains the circuit reproduced for each phase. The neutral, if used, is connected through a circuit identical to that used for each phase.

A.5.1.2 *PDS with which the artificial mains network (AMN) cannot be used*

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 may prevent correct operation of some PDSs (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.

The AMNs described above are only rated for use up to 100 A, so they cannot be used for PDSs rated higher than this. For a very large PDS, the supply impedance will be lower than the impedance of the AMN. In that case, use of an AMN would give excessively high readings.

For supply voltages higher than 415 V nominal, it can be difficult to obtain an AMN on the market.

For these cases, the PDS should be connected directly to the mains supply and the disturbance voltage may be measured with a high impedance probe.

A.5.1.2.1 *High impedance probe*

When an AMN is not used, the disturbance voltage may be measured using a high impedance probe, as described in 12.2 of CISPR 16-1. Since the power frequency current does not pass through the probe, it may be used with PDSs 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 accuracy of the measurement should be allowed for in calibration, as stated in CISPR 16-1.

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

CISPR 16-1 provides a warning about the need to minimize 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.5.1.2.2 *Alternative method for high current PDS*

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

Une méthode alternative, qui a été expérimentée dans certains pays pendant plusieurs années, utilise un réseau fictif de faible courant (par exemple de 25 A) à la place de la sonde de tension, même avec un PDS de courant élevé (plusieurs centaines d'ampères). Ainsi, il n'est plus nécessaire de déconnecter le PDS de son réseau d'alimentation.

Le côté charge du réseau fictif est connecté aux bornes puissance côté ligne d'alimentation du PDS par un câble de 1 m. Une certaine impédance (par exemple celle du câblage) est présente entre le point de couplage (PC) et le réseau fictif. Le côté réseau du réseau fictif est laissé ouvert (par exemple pas de connexion aux périphériques). Le récepteur est connecté au réseau fictif comme usuellement.

Avec cette méthode, les résultats de mesure sont tout à fait similaires à ceux obtenus avec un réseau fictif de plusieurs centaines d'ampères. Il faut noter que cette procédure n'a pas encore été complètement examinée par le CISPR.

A.5.2 Exécution de l'essai d'émission haute fréquence

A.5.2.1 Appareils de mesure

Il convient de se reporter aux parties normatives de cette norme et des CISPR 11 et CISPR 16-1 pour rassembler une information complète. Certaines clarifications complémentaires sont données ici à l'intention des utilisateurs de cette norme qui ne sont pas familiarisés avec les méthodes de mesure de perturbation aux fréquences radioélectriques.

A.5.2.1.1 Analyseurs de spectre

Les analyseurs de spectre sont fréquemment utilisés pour l'évaluation de perturbations haute fréquence. Cependant, beaucoup d'analyseurs de spectre ne sont pas totalement conformes au CISPR 16-1, ce qui peut engendrer quelques difficultés.

Si la sélectivité de l'élément d'entrée est insuffisante, il peut y avoir intermodulation conduisant à des lectures erronées. Certains analyseurs de spectre n'ont pas les largeurs de bande appropriées, ce qui constitue une autre source d'erreurs.

Les analyseurs de spectre utilisent des détecteurs de crête pour le balayage normal. Cependant, les normes du CISPR exigent l'emploi de récepteurs avec des détecteurs spéciaux dénommés valeur moyenne et quasi-crête. Quelquefois, le détecteur quasi-crête est appelé détecteur «CISPR». Certains analyseurs de spectre offrent cette possibilité en option. L'essai selon le CISPR 16-1 nécessite des possibilités de surcharge élevées sur les détecteurs quasi-crête et valeur moyenne, ce qui peut être une difficulté pour de nombreux analyseurs de spectre.

Il est souhaitable que le fabricant de l'analyseur déclare si l'appareil en question est totalement conforme aux prescriptions de le CISPR 16-1.

A.5.2.1.2 Conformité des récepteurs d'essai

Pour déterminer si un instrument (analyseur de spectre ou récepteur d'essai) est adapté, il convient de demander au fournisseur de l'instrument si celui-ci est totalement conforme au CISPR 16-1. Mais pour faciliter la compréhension des exigences, un résumé de certaines caractéristiques principales est donné ici.

Pour les mesures de perturbation du réseau, un récepteur couvre la gamme de fréquences 150 kHz à 30 MHz. Les deux détecteurs quasi-crête et valeur moyenne sont présents. La largeur de bande est de 9 kHz.

La gamme de fréquences 9 kHz à 150 kHz est aussi disponible sur certains récepteurs. Dans cette gamme de fréquences, un détecteur quasi-crête devrait exister et la largeur de bande devrait être de 200 Hz.

An alternative method, which has been used 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 PDS (above several hundreds of amperes). The PDS must not be disconnected from its supply network.

The load side of the AMN should be connected to the supply lines of the PDS 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. Note that this procedure has not yet been fully considered by CISPR.

A.5.2 Performing high-frequency emission tests

A.5.2.1 Measuring apparatus

For definitive information, reference should be made to the normative parts of this standard and of CISPR 11 and CISPR 16-1. Some additional clarifications are given here for those users of this standard who are not familiar with radio-frequency disturbance measurement methods.

A.5.2.1.1 Spectrum analyzers

Spectrum analyzers are frequently used for evaluation of high-frequency disturbances. However, many spectrum analyzers are not fully compliant with CISPR 16-1 and problems can occur.

If there is a lack of front-end selectivity, intermodulation can occur, leading to incorrect readings. Some spectrum analyzers do not have the correct bandwidths, again resulting in error.

Spectrum analyzers use peak detectors for normal scanning. However, CISPR standards require the use of receivers with special detectors known as quasi-peak and average. Sometimes, the quasi-peak detector is known as a "CISPR detector". Some spectrum analyzers have these available as an option. CISPR 16-1 requires high overload capabilities for quasi-peak and average detectors, which can be a problem for many spectrum analyzers.

If a spectrum analyzer is fully compliant with CISPR 16-1, this should be stated by the manufacturer of the analyzer.

A.5.2.1.2 Suitability of test receivers

To determine whether an instrument (spectrum analyzer or test receiver) is suitable, the supplier of the instrument should be asked whether the instrument is fully compliant with CISPR 16-1. But to aid understanding of the requirements, a summary of some of the main features is given here.

For mains terminal disturbance measurements, a receiver should cover the frequency range 150 kHz to 30 MHz. Both quasi-peak and average detectors should be present. The bandwidth should be 9 kHz.

The frequency range 9 kHz to 150 kHz is also available on some receivers. In this frequency range, a quasi-peak detector should be available and the bandwidth should be 200 Hz.

Le récepteur pour les mesures de perturbation de rayonnement électromagnétique (émissions rayonnées) devrait couvrir la bande 30 MHz à 1 000 MHz. Dans cette zone, la largeur de bande est de 120 kHz et un détecteur quasi-crête devrait être utilisé.

A.5.2.2 *Techniques de mesure*

A.5.2.2.1 *Distorsion de repliement*

Le récepteur devrait pouvoir rester accordé sur une fréquence donnée pendant un temps suffisamment long pour permettre la stabilisation de la sortie du détecteur. Si les analyseurs de spectre ou récepteurs d'essai balayent trop rapidement, le détecteur ne se stabilise pas et un phénomène apparaît, appelé distorsion de repliement, entraînant des lectures erronées. Ce point est particulièrement important en électronique de puissance, y compris pour les PDS, en raison de la faible fréquence de répétition des impulsions (de 50/60 Hz à plusieurs kilohertz). Si des crêtes ou des creux dans la forme d'onde semblent se déplacer à travers l'écran, il y a repliement et le temps de balayage devrait être augmenté.

Dans le type d'analyseur de spectre fréquemment utilisé pour l'évaluation de perturbations haute fréquence, un oscillateur local balaye la gamme de fréquences. Il ne faut pas les confondre avec les analyseurs utilisant la Transformée de Fourier Rapide à partir d'échantillons temporels.

Aux fréquences où les lectures sont proches de la limite, il est souhaitable d'effectuer une mesure sans balayage. Cette précaution évite l'imprécision due au repliement.

A.5.2.2.2 *Crête, quasi-crête et valeur moyenne*

Les détecteurs crête, quasi-crête et valeur moyenne donnent la même lecture avec un signal permanent sinusoïdal, pourvu que la largeur de bande soit la même. En présence d'un signal impulsionnel, tel qu'avec MLI, la lecture la plus forte est donnée par le détecteur de crête et la plus basse par le détecteur de valeur moyenne. La différence entre ces lectures est d'autant plus grande que la fréquence de répétition des impulsions est petite devant la largeur de bande du récepteur.

A.5.2.2.3 *Bruit ambiant*

Les exigences de bruit ambiant sont données en 7.1 du CISPR 11.

Il convient de vérifier que le bruit ambiant n'est pas cause de lecture erronée. En contrôlant le niveau de bruit ambiant provenant du réseau, il devrait être vérifié qu'une ouverture de contacteur ou de relais sera suffisamment atténuée pour ne pas être significative pendant le fonctionnement du PDS.

A.5.2.2.4 *Configuration du PDS pendant l'essai*

On prévoit un essai simulant les conditions réelles de fonctionnement. Donc, l'équipement devrait fonctionner dans les conditions attendues d'un usage normal. Par exemple, les capots et portes qui sont fermés pendant le fonctionnement normal, sont fermés pendant l'essai. D'autres exigences sont données dans la partie normative de cette norme.

A.5.2.2.5 *Mesure d'émissions rayonnées*

Les antennes et sites d'essai pour les émissions rayonnées sont décrits en détail dans le CISPR 16-1, articles 15 et 16.

Pour standardiser les mesures d'émissions rayonnées, on utilise un site spécial d'essai en champ libre. Il possède un plan de terre métallique avec une conductibilité suffisante pour donner une réflexivité importante.

The receiver for electromagnetic radiation disturbance (radiated emissions) measurements should cover the band 30 MHz to 1 000 MHz. Here, the bandwidth is 120 kHz and a quasi-peak detector should be used.

A.5.2.2 *Measuring techniques*

A.5.2.2.1 *Aliasing*

The receiver should be allowed to remain tuned to a given frequency for a period of time which is long enough to allow the detector output to settle. If a test receiver (or spectrum analyzer) is scanned too quickly, the detector will not settle properly and a phenomenon called aliasing will occur, resulting in incorrect readings. This point is particularly significant with power electronics, including PDSs, due to low pulse repetition frequencies (50/60 Hz to several kilohertz). If peaks or troughs in the waveform appear to move across the screen, there is aliasing and the sweep time should be increased.

In the type of spectrum analyzer frequently used for evaluation of high-frequency disturbances, a local oscillator is swept across the frequency range. This should not be confused with analyzers which use Fast Fourier Transform of time domain samples.

At those frequencies where the readings are close to the limit, a measurement should be made without the receiver scanning. This avoids the problem of inaccuracy caused by aliasing at these frequencies.

A.5.2.2.2 *Peak, quasi-peak and average*

Peak, quasi-peak and average detectors will give the same reading in the presence of continuous sine-wave signal, provided that the bandwidth is the same. In the presence of an impulsive signal, such as PWM, the highest reading will be given by the peak detector, and the lowest by the average detector. The difference between the readings produced by the different detectors is greatest when the pulse repetition frequency is much lower than the receiver bandwidth.

A.5.2.2.3 *Ambient noise*

The requirements for limitation of ambient noise are given in 7.1 of CISPR 11.

Care should be taken to ensure that the ambient noise does not cause erroneous readings. When monitoring the ambient noise level from the incoming mains supply, it should be noted that an open-circuit contactor or switch will provide attenuation that will not be present when the PDS is running.

A.5.2.2.4 *Disposition of PDS during the test*

The test is intended to simulate actual operating conditions. Therefore, the equipment should be operated in a manner which can be expected in normal use. For example, covers and doors which are closed during normal operation should be closed during the test. Some other requirements are given in the normative part of this standard.

A.5.2.2.5 *Measuring radiated emissions*

Antennas and test sites for radiated emissions are described in detail in CISPR 16-1, clauses 15 and 16.

To standardize the measurements of radiated emissions, a special open-field test site is used. This contains a metallic ground plane with sufficient conductivity to give consistent reflectivity.

L'équipement en essai est monté sur une table tournante pour permettre de mesurer les émissions rayonnées dans les diverses directions.

Pour s'assurer que les mesures sont dans le domaine du champ lointain à basse fréquence (30 MHz), l'antenne est installée à 10 m ou 30 m de l'équipement en essai.

L'antenne est déplacée entre les positions haute et basse, pour les deux polarisations horizontales et verticales, afin de trouver le maximum d'émission à toute fréquence.

A.5.2.2.6 Essais *in situ*

Quand l'équipement ne peut être essayé sur un site d'essai, il est essayé *in situ*. Dans ce cas, il convient de prendre un soin particulier pour éviter les problèmes dus au bruit ambiant, ainsi que décrit ci-dessus.

Le test *in situ* n'est pas aussi répétitif que l'essai sur site 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.

Une approche, utilisée aux Etats-Unis quand les essais n'ont pas été exécutés sur un site d'essai, consiste à réaliser l'essai *in situ* dans les trois premiers emplacements où l'équipement est installé. Si l'équipement est conforme dans les trois emplacements, on considère qu'il le sera en général.

A.5.3 Expérience acquise avec des entraînements (PDS) 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 RF a apporté dans la pratique d'excellents résultats. La procédure utilisée depuis plusieurs années en Allemagne, par exemple, est décrite ci-dessous.

Un équipement de forte puissance destiné à une utilisation dans le deuxième environnement ne doit pas être essayé sur un site d'essai, parce qu'il constitue une partie d'une installation et qu'il est vendu séparément (voir [5] en E.1). Cela signifie en pratique que pour vendre ces composants, aucune limite n'est exigée. Les mêmes règles s'appliquent à l'équipement construit par l'utilisateur lui-même, sous sa propre responsabilité (voir [6] en E.1). 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 adjoindre des équipements de commande et de mesure. Les limites d'émission ont été appliquées en tenant compte de l'étendue de l'installation (le point de mesure pour les tensions perturbatrices conduites est le secondaire basse tension du transformateur de moyenne tension le plus proche, et pour l'émission rayonnée le point de mesure se situe à une distance de 30 m de la clôture) (voir [5] et [6] en E.1).

L'origine de cette approche remonte au début du 20^e siècle (voir [7] de E.1).

En résumé, l'expérience établit que pour des composants vendus séparément et assemblés dans un système ou une installation de forte puissance, aucune limite d'émission et donc aucune mesure sur un site d'essai n'est demandée.

En conséquence, la procédure établie en 6.3.2 tient compte de l'expérience acquise. L'utilisation d'un entraînement (de classe de distribution restreinte ou non) dans de telles conditions, nécessite une certaine compétence CEM. Celle-ci doit être appliquée à la conception du matériel. Il est souhaitable que le fabricant et l'utilisateur définissent les niveaux de compatibilité les plus économiques dans l'environnement spécifique donné.

The equipment under test is mounted on a turntable to enable the radiated emissions in the various directions to be measured.

To ensure that measurements are in the far field at the lowest frequency (30 MHz), the antenna is mounted 10 m or 30 m from the equipment under test.

The antenna is raised and lowered in both vertical and horizontal polarizations to find the maximum emission at any given frequency.

A.5.2.2.6 *In situ 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, as described above.

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.

One approach, used in the United States when tests have not been carried out on a test site, is to perform the *in situ* test in the first three locations where the equipment is installed. If the equipment is found to comply with the limits in all three locations, it is considered that the equipment will comply with the limits in the general case.

A.5.3 *Established experience with high power PDSs*

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 in Germany for many years is described below.

High power equipment, intended for use in the second environment, is not to be tested on a test-site, because it is a part of an installation and sold separately, see [5] in E.1. That means in practice that for selling these components, no limits are required. The same rules apply to equipment which is built by the user himself, under his own responsibility, see [6] in E.1. 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 conducted disturbance voltages 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 [5] and [6] in E.1.

The origin of this approach can be traced back to the early 20th century (see [7] in E.1).

As a summary, it is the state of established experience that for components which are sold separately, and which are combined within a system or a large installation, no emission limits and therefore no measurements at a test site are required.

As a result, the procedure stated in 6.3.2 follows this experience. Such a use of a PDS (from unrestricted or restricted sales distribution class) requires EMC competence. Such competence should be applied to the design of the apparatus, or the manufacturer and the user should define the best economical compatibility levels in a special and specific environment.

Annexe B (informative)

Phénomènes basse fréquence

B.1 Encoches de commutation

B.1.1 Apparition – description

Les encoches de commutation surviennent lors des instants de commutation d'un convertisseur de puissance. Les encoches de tension sont des écarts de la tension alternative du réseau par rapport à la valeur instantanée du fondamental. L'analyse en fonction du temps, comme mentionné en 6.1.1, et les règles pratiques pour assurer la CEM nécessitent quelques explications.

Rappelons d'abord que:

- dans les cas simples où la règle s'applique, on suppose que l'impédance de réseau peut être modélisée avec une réactance pure: $Z = L \cdot \omega$;
(cette hypothèse n'est pas valable si des condensateurs ou des câbles longs sont raccordés. Des résonances peuvent survenir dans ces cas);
- les encoches de commutation sont classifiées en 2.5.4.1 de la CEI 146-1-1 où leurs dimensions sont définies en profondeur (« d » en % d' U_{LWM}) et en surface (profondeur fois largeur = « a » en % x degrés); (U_{LWM} est aussi défini dans la CEI 146-1-1).

Si le convertisseur ne possède aucune inductance, la profondeur de l'encoche principale en 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 du convertisseur à contrôle de phase (référéncé au point naturel de commutation des diodes);
- 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 peut être approchée par une relation simple (exemple d'un pont triphasé):

$$a = 8000 (Z_t \cdot I_{1L} / U_L) \quad (\% \text{ degrés})$$

où Z_t est l'impédance totale de ligne par phase (supposée être ici une réactance pure), incluant toute impédance dans le CDM. Il peut être vu que le pire cas survient quand l'entraînement est aux conditions limites de courant.

NOTE – Pendant l'angle de commutation μ , de α à $(\alpha + \mu)$, la tension de commutation est:

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

$$\text{et } \sqrt{2} U_L \cdot \sin \omega t = 2 L_t \cdot d/dt$$

la surface de l'encoche de commutation est:

$$A = \int_a^{a+m} U(\theta) \cdot d\theta = 2 L_t \int_a^{a+m} (di / dt) \cdot (dt / d\theta) \cdot d\theta$$

$$A = 2 L_t \cdot I_\alpha \cdot \omega$$

$$A = 2 Z_t \cdot I_\alpha \quad (\text{en volt x radian})$$

où I_α est le courant commuté.

Annex B (informative)

Low-frequency phenomena

B.1 Commutation notches

B.1.1 Occurrence – description

Voltage notches occur during the commutation period of a power converter. Voltage notches are deviations of the a.c. mains voltage from the instantaneous value of the fundamental. The time based analysis mentioned in 6.1.1, and the practical rule which may be used to ensure EMC, necessitate some explanation.

First, the following should be remembered:

- in simple cases where the rule applies, it is assumed that the network impedance may be modelled with a pure reactance: $Z = L \cdot \omega$;
(this assumption is not valid in cases where capacitors or long cables are present. Resonances can occur in such cases);
- the commutation notches are classified in 2.5.4.1 of IEC 146-1-1 where their measurement is defined in depth ("d" in % of U_{LWM}) and in area (depth multiplied by width = "a" in % x degrees); (U_{LWM} is also defined in IEC 146-1-1).

If the converter does not include any inductance, the depth 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 characterized by a value of 0 V (line-to-line voltage at the converter terminals);
- the approximation gives an underevaluation of d for $\alpha < 90^\circ$, and an overevaluation of d for $\alpha > 90^\circ$.

The notch area can be approximated by a simple relationship (example of a three-phase bridge):

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

where Z_t is the total line impedance per phase (here assumed to be a pure reactance), including any impedance in the CDM. It can be seen that the worst case occurs when the PDS is at current limit conditions.

NOTE – During commutation angle μ , from α to $(\alpha + \mu)$, the commuting voltage is:

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

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

the area of the commutation notch is

$$A = \int_a^{a+m} U(\theta) \cdot d\theta = 2 L_t \int_a^{a+m} (di / dt) \cdot (dt / d\theta) \cdot d\theta$$

$$A = 2 L_t \cdot I_\alpha \cdot \omega$$

$$A = 2 Z_t \cdot I_\alpha \quad (\text{in volt x radian})$$

where I_α is the commutated current.

Supposant $I_{\alpha} \approx 0,75 I_d$ pour tenir compte de l'ondulation de I_d dans un pont triphasé:

$$A = 1,5 Z_t \cdot I_d$$

et avec a en % x degrés

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

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

$$a \approx 8\,000 (Z_t \cdot I_{1L} / U_L)$$

B.1.2 Calcul

Lorsque les hypothèses précédentes 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

$$Z_t = Z_c + Z_d$$

Z_d = réactance de découplage entre le PC et les bornes du convertisseur (qu'elle soit incluse ou pas dans le CDM)

Z_c = impédance du réseau d'alimentation au PC

La grandeur 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 de convertisseur, jusqu'à 0 % à celles de la source d'impédance nulle.

L'adjonction d'une inductance de découplage Z_d entre le PC et le variateur, réduit la profondeur d'encoche et augmente sa largeur au PC, mais la surface reste constante.

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

Dans les cas simples où ces hypothèses s'appliquent, ces équations permettent de définir la valeur de l'inductance de découplage nécessaire. Connaissant la limite de profondeur d'encoche (voir tableau 5) et la grandeur 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 on peut retrancher la réactance interne de découplage (donnée par le fabricant), si elle existe. 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 Règles pratiques

Le calcul ci-dessus définit la règle pratique pour découpler l'émission au moyen d'une réactance Z_d . En voici un résumé. En supposant que l'impédance du réseau est une réactance pure, les relations s'écrivent:

$$Z_c = L_c \cdot \omega$$

$$Z_t = Z_c + Z_d$$

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

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

Assuming $I_\alpha \approx 0,75 I_d$ to take into account I_d ripple in a three-phase bridge:

$$A = 1,5 Z_t \cdot I_d$$

and with a in % x degrees

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

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

$$a \approx 8\,000 (Z_t \cdot I_{1L} / U_L)$$

B.1.2 Calculation

When the assumptions listed above 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

$$Z_t = Z_c + Z_d$$

Z_d = decoupling reactance between the PC and the converter terminals (whether included or not in the CDM)

Z_c = 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.

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

In simple cases where the above assumptions apply, these equations may be used to define the required decoupling reactance. Knowing the notch depth limit (see table 5) 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 Practical rules

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

$$Z_c = L_c \cdot \omega$$

$$Z_t = Z_c + Z_d$$

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

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

Dans le cas de convertisseurs multiples raccordés sur le même réseau, il convient de se reporter à l'article 3.5 de la CEI 146-1-2.

Cependant, il faudrait se souvenir que la conformité aux critères d'émission sur les encoches de commutation ne garantit pas automatiquement la conformité aux critères d'émission harmonique. Réciproquement, 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, le critère harmonique ne fixe aucune relation de phase entre les différentes composantes harmoniques, et ce critère ne prévoit pas les formes d'onde de tension particulières appliquées au PDS. Parce que la forme d'onde particulière due aux encoches de commutation (dv/dt , et passage possible par zéro) affecte le fonctionnement des circuits d'aide à la commutation et peut aussi affecter le fonctionnement de la commande électronique, un critère particulier d'immunité a été défini dans la future CEI 1800-1 et la future CEI 1800-2 (voir bibliographie), il est même défini comme conditions électriques de service dans 4.1.1.1 de ces futures normes.

B.2 Harmoniques et interharmoniques

Comme énoncé en B.1.3, l'analyse harmonique ne couvre pas entièrement l'immunité d'un PDS aux distorsions de tension. De plus les PDS sont des charges déformantes, si bien que la préoccupation principale reste l'émission. En conséquence, l'émission sera discutée plus en détail dans ce qui suit.

B.2.1 Définitions

B.2.1.1 Distorsion harmonique

Selon l'usage commun, le taux de distorsion harmonique est relatif à la composante fondamentale de la quantité considérée. Le facteur de distorsion est relatif à la valeur efficace de la quantité considérée (voir VEl 551-07).

Les définitions suivantes ne sont pas entièrement conformes au VEl; elles sont modifiées pour donner plus d'information et elles sont conformes à la pratique courante; elles seront introduites dans le futur Amendement 1 de la CEI 50(551) (voir bibliographie). La forme d'onde de tension du réseau est beaucoup moins déformée que le courant injecté. L'application des deux définitions, le taux de distorsion harmonique totale THD et le facteur de distorsion total THF, à l'onde de tension, donne le même résultat, alors que la différence est significative quand elles sont appliquées au courant.

THD et THF sont définis par

$$\text{THD} = \frac{\sqrt{Q^2 - Q_1^2}}{Q_1}$$

et

$$\text{THF} = \frac{\sqrt{Q^2 - Q_1^2}}{Q}$$

où

Q_1 est la valeur efficace du fondamental;

Q est la valeur efficace totale;

h est le rang de l'harmonique;

Q_h est la valeur efficace de la composante harmonique de rang h ;

Q peut représenter soit le courant, soit la tension.

Pour l'objet de cette norme et dans un but de clarté, les limites sont référencées par rapport à la valeur assignée de la grandeur correspondante.

In the case of multiple converters, connected to the same line, clause 3.5 of IEC 146-1-2 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 PDS. Because the particular waveform of commutation notches (dv/dt , possible zero crossing) affects operation of snubbers or may affect electronic control operation as well, a particular immunity criterion has been stated in future IEC 1800-1 and future IEC 1800-2 (see bibliography), it is even defined as Electrical Service Conditions in 4.1.1.1 of these future standards.

B.2 Harmonics and interharmonics

As stated in B.1.3 the harmonic analysis does not entirely cover the immunity of a PDS to voltage distortion. Moreover, a PDS is a distorting load, so the major concern is with emission. Therefore emission is discussed below in more detail.

B.2.1 Definitions

B.2.1.1 Harmonic distortion

According to common practice, harmonic distortion coefficient is relative to the fundamental component of the quantity which is considered. The distortion factor is relative to the r.m.s. value of the quantity which is considered (see IEC 551-07).

The following definitions are not fully in accordance with the current edition of the IEC; they are modified to give more information, and they are in accordance with common practice; they will be introduced in the future Amendment 1 to IEC 50(551) (see bibliography). The network voltage waveform is much less distorted than the injected current. Therefore, application of both definitions, total harmonic distortion coefficient THD or total distortion factor THF, to the voltage provides the same result, while the difference is significant when current is considered.

THD and THF are defined by:

$$\text{THD} = \frac{\sqrt{Q^2 - Q_1^2}}{Q_1}$$

and

$$\text{THF} = \frac{\sqrt{Q^2 - Q_1^2}}{Q}$$

where

Q_1 is the r.m.s. value of the fundamental;

Q is the total r.m.s. value;

h is the harmonic order;

Q_h is the r.m.s. value of harmonic component of order h ;

Q can represent either current or voltage.

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

Les limites pour THD et THF sont définies par

$$\text{THD} = \frac{\sqrt{Q^2 - Q_1^2}}{Q_{1N}} \quad \text{et} \quad \text{THF} = \frac{\sqrt{Q^2 - Q_1^2}}{Q_N}$$

Il est important de noter que ces définitions incluent les interharmoniques. Quand ils existent, la forme d'onde n'est plus périodique, ce qui peut induire des effets plus complexes qu'avec les seuls harmoniques. Si les interharmoniques sont négligeables, les équations ci-dessus se simplifient en

$$\text{THD} = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{h=40} Q_h^2}}{Q_{1N}} \quad \text{et} \quad \text{THF} = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{h=40} Q_h^2}}{Q_N}$$

où

Q_{1N} est la valeur efficace de la valeur assignée du fondamental de la grandeur;

Q_N est la valeur efficace totale de la valeur assignée de la grandeur.

La sommation est étendue au rang 40 inclus, conformément à la pratique courante de la CEI. Il faut remarquer que l'IEEE 519 étend la sommation jusqu'au rang 50 inclus.

Il convient de déterminer l'émission harmonique à partir du fonctionnement qui produit le plus fort résidu harmonique $(\sqrt{Q^2 - Q_1^2})$, et de prendre la valeur relative à la grandeur assignée.

Pour un emploi particulier, on appelle le résidu de THD aux plus hautes fréquences (rang h de 14 à 40 inclus) «taux de distorsion harmonique partiel PHD», et le résidu pair (où le rang h est uniquement pair) «taux de distorsion harmonique des rangs pairs EHD». Appliqué au courant, cela donne

$$\text{PHD} = \frac{\sqrt{\sum_{h=14}^{h=40} I_h^2}}{I_{1N}} \quad \text{et} \quad \text{EHD} = \frac{\sqrt{\sum_{h=2, \text{pair}}^{h=40} I_h^2}}{I_{1N}}$$

Néanmoins, il est souhaitable d'examiner les interharmoniques séparément.

B.2.1.2 *Systèmes et installations*

Un 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 ce guide, 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.

B.2.1.3 *Conditions de charge*

Les conditions les plus défavorables du système sont celles du régime permanent 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 est souhaitable que l'évaluation de l'émission harmonique pendant la période de charge la plus forte soit réalisée par une moyenne quadratique, selon la méthode de mesure définie dans la CEI 1000-4-7.

Limits for THD and THF are defined by:

$$\text{THD} = \frac{\sqrt{Q^2 - Q_1^2}}{Q_{1N}} \quad \text{and} \quad \text{THF} = \frac{\sqrt{Q^2 - Q_1^2}}{Q_N}$$

It is important to note that these definitions include interharmonics. When interharmonics are present the wave form is no longer periodical, which can produce more complex effects than those produced by harmonics. If interharmonics are negligible, these equations simplify to:

$$\text{THD} = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{h=40} Q_h^2}}{Q_{1N}} \quad \text{and} \quad \text{THF} = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{h=40} Q_h^2}}{Q_N}$$

where

Q_{1N} is the rated r.m.s. value of the fundamental;

Q_N is the rated total r.m.s. value.

The summation is extended to and includes order 40, according to IEC common practice. It should be noted that IEEE 519 extends the summation up to and including the order 50.

Assessment of emission should be made under the operating conditions which provide the maximum value of the harmonic content ($\sqrt{Q^2 - Q_1^2}$), and in reference to the rated value.

For particular use, the highest frequency content of THD (order h from 14 to 40 inclusive) is named partial harmonic distortion coefficient PHD, and the even content (where order h is even only) is named even harmonic distortion coefficient EHD. Applied to current this gives:

$$\text{PHD} = \frac{\sqrt{\sum_{h=14}^{h=40} I_h^2}}{I_{1N}} \quad \text{and} \quad \text{EHD} = \frac{\sqrt{\sum_{h=2, \text{even}}^{h=40} I_h^2}}{I_{1N}}$$

Nevertheless, interharmonics should be considered separately.

B.2.1.2 Systems and installations

A 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 clause, the wording 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.2.1.3 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 through a quadratic value, according to the measurement method defined in IEC 1000-4-7.

B.2.1.4 Puissance souscrite interne

La puissance souscrite interne S_{IT} définit le courant équivalent de référence I_{1N} :

$$S_{IT} = U_{1N} \cdot I_{1N} \cdot \sqrt{3}$$

où U_{1N} est la tension assignée au PC et I_{1N} le courant de référence. L'indice 1 signifie que ces valeurs se réfèrent à la fréquence fondamentale. Noter que I_{1N} est proche de la valeur du courant de déclenchement du disjoncteur principal d'alimentation. S_{IT} représente la puissance qui peut être délivrée à tout moment par le réseau d'alimentation au système ou à l'appareil. On peut supposer qu'à chaque puissance souscrite interne, il est associé une puissance de court-circuit S_{SC} raisonnable définie au PC. Sa définition est de la responsabilité du distributeur d'électricité.

NOTES

- 1 L'appellation «puissance souscrite» est utilisée dans le cas d'une installation. Elle résulte d'un accord entre l'utilisateur (propriétaire de l'installation) et le distributeur d'énergie. La notation S_{IT} et le calcul sont définis de façon analogue.
- 2 La même définition s'applique à une zone particulière de l'installation (indice «eq»)

$$S_{eq} = U_{1N} \cdot I_{eq1N} \cdot \sqrt{3}$$

B.2.1.5 Rapport de court-circuit

R_{SC} est le rapport entre la puissance de court-circuit de la source à la puissance apparente du fondamental de la ou des charges (voir CEI 146-1-1) :

$$R_{SC} = I_{SC} / I_{1LN}$$

B.2.1.6 Entraînement (PDS) non polluant

Un PDS non polluant respecte les limites de la CEI 1000-3-2 ou celles du stade 1 de la future CEI 1000-3-4 (voir bibliographie) selon son calibre. Les entraînements de cette classe peuvent être étiquetés comme suit: «Entraînement non déformant». L'emploi d'un tel entraînement est permis sans aucune restriction.

B.2.2 Evaluation de la compatibilité

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 (inductance) qui les convertit en sources de courants harmoniques.

Le comportement d'un PDS peut donc être modélisé par une source de courants harmoniques.

Différents modèles ont déjà été proposés pour définir l'ordre et l'amplitude des différentes composantes harmoniques pour différents types de convertisseurs. Un sommaire de ces publications est donné dans la CEI 1000-2-6, A.1, ou dans la future CEI 1800-1, annexe B, et dans la future CEI 1800-2, annexe B, qui incluent les informations de la CEI 146-1-2.

Une telle analyse n'est pas répétée ici.

Le PDS est une source de courants harmoniques qui contribue aux harmoniques de tension. Il convient de comparer ces niveaux aux niveaux de compatibilité des harmoniques de tension suivant les CEI 1000-2-2 et CEI 1000-2-4. Il convient aussi d'examiner l'influence des conditions de fonctionnement et d'installation. Cela est souligné dans la CEI 1000-2-6, qui fournit aussi des méthodes de sommation des harmoniques. Des conséquences sur les méthodes appropriées d'atténuation des émissions (voir annexe C) et sur les règles pratiques de raccordement d'un PDS (voir B.2.3) en découlent naturellement.

B.2.1.4 Agreed internal power

The agreed internal power S_{IT} defines the equivalent reference current I_{1N} :

$$S_{IT} = U_{1N} \cdot I_{1N} \cdot \sqrt{3}$$

where U_{1N} is the rated line-to-line voltage at the PC and I_{1N} is the reference current. The subscript 1 signifies that these values refer to the fundamental frequency. Note that I_{1N} is close to the tripping current value of the main circuit breaker of the system. S_{IT} represents the power which can be delivered at any time, by the supply network, to the system or apparatus. It can be assumed that for each agreed internal power there exists a reasonable short-circuit power (fault level) S_{SC} defined at the PC. This is the responsibility of the power distribution authority.

NOTES

- 1 The wording "agreed power" is used in the case of an installation. It results from an agreement between the user (owner of the installation) and the Utility Authority. The notation S_{ST} , and calculation are as above.
- 2 The same definition can be applied to a particular part of the installation (subscript "eq")

$$S_{eq} = U_{1N} \cdot I_{eq1N} \cdot \sqrt{3}$$

B.2.1.5 Short circuit ratio

R_{SC} is the ratio of the short-circuit power of the source to the fundamental apparent power of the load(s) (see IEC 146-1-1):

$$R_{SC} = I_{SC} / I_{1N}$$

B.2.1.6 Non-polluting PDS

A non-polluting PDS complies with the limits of IEC 1000-3-2, or with the limits of stage 1 of future IEC 1000-3-4 (see bibliography) according to its rating. PDSs of this class can be labelled: "Non distorting PDS" The use of such a PDS is allowed without any restriction.

B.2.2 Assessment of compatibility

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.

As a result, a PDS can be modelled as a harmonic current source.

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 A.1 of IEC 1000-2-6, and in future IEC 1800-1, annex B, or future IEC 1800-2, annex B, which include information from IEC 146-1-2.

Such an analysis is not repeated here.

A PDS is a harmonic current source which contributes to harmonic voltages. The harmonic voltages have to be compared to compatibility levels from IEC 1000-2-2 or IEC 1000-2-4. The influence of operating and installation conditions should also be considered. This is pointed out in IEC 1000-2-6, 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 a PDS (see B.2.3).

En ce qui concerne les PDS de la classe de distribution restreinte, la pratique industrielle recherche des solutions optimales du point 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 appropriés aux différents PDS.

Le filtrage individuel de chaque PDS entraîne un risque sévère de résonances multiples. De plus comme l'impédance harmonique et la distorsion de tension sont généralement inconnus et variables, le dimensionnement du filtre est particulièrement délicat. Une approche globale devrait favoriser l'étude du filtrage pour l'installation entière. Une telle approche est développée dans l'IEEE 519.

B.2.2.1 Méthode conventionnelle en tension

- a) Le distributeur d'électricité et l'installateur définissent Z_{sc} l'impédance de court-circuit du réseau, à la fréquence fondamentale, au point de couplage PC.
- b) L'impédance harmonique conventionnelle est définie (au rang h) par:

$$Z_h = k \cdot h \cdot Z_{sc}$$

où

Z_{sc} a été défini précédemment

h est le rang de l'harmonique ou de l'interharmonique

k est le coefficient expérimental pour tenir compte du risque de résonance dans les réseaux. La valeur est tabulée, en fonction du niveau de tension du PC.

Tableau B.1 – Coefficient de résonance

		k		
		Réseau public	Réseau privé	
Industriel	BT	1,0	1,0	$50 \text{ V} < \text{BT} \leq 1\,000 \text{ V}$
Industriel	MT	2,5	1,5	$1\,000 \text{ V} < \text{MT} \leq 35 \text{ kV}$
Industriel	HT	1,8	1,2	$35 \text{ kV} < \text{HT}$

- c) Le courant d'harmonique I_h , pour un PDS donné, peut être calculé ou mesuré. Il ne concerne que ce PDS.

- d) La tension harmonique conventionnelle due à un PDS donné (ou à un groupe de PDS), au PC considéré est donnée par : $U_h = Z_h \cdot I_h$

Il convient que cette tension soit inférieure à des valeurs fixées.

- e) Discussion: s'il y a des résonances, cette méthode ne donnera pas un résultat précis, en absence de résonance, le résultat est pessimiste. Il peut être affiné en identifiant deux types de réseau:

- ceux qui ne contiennent pas de câbles longs et qui n'ont aucun condensateur de correction de facteur de puissance;
- ceux qui contiennent des câbles longs et/ou ont des condensateurs.

On propose alors les valeurs suivantes de k :

$$k = 4 \text{ pour } 0,5 (S_{sc}/Q)^{1/2} < h < 2 (S_{sc}/Q)^{1/2}$$

et $k = 1$ pour les autres fréquences

où

Q est la puissance réactive totale (câbles et condensateurs);

S_{sc} est la puissance de court-circuit au PC.

Industrial practice, with PDSs of the restricted distribution class, 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 PDSs.

Filtering each PDS 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 519.

B.2.2.1 Conventional voltage method

- a) The utility and the installer define Z_{sc} the short circuit impedance, at industrial supply frequency, of the system at its point of coupling PC.
- b) The conventional harmonic impedance is defined (to the order h) by:

$$Z_h = k \cdot h \cdot Z_{sc}$$

where

Z_{sc} as above

h harmonic or interharmonic order

k empirical coefficient to take into account the risk of resonance in systems. The value is tabulated, according to the voltage level of the PC.

Table B.1 – Resonance coefficient

		k		
		Public network	Private network	
Industrial	LV	1,0	1,0	50 V < LV ≤ 1 000 V
Industrial	MV	2,5	1,5	1 000 V < MV ≤ 35 kV
Industrial	HV	1,8	1,2	35 kV < HV

- c) Harmonic current I_h : for a given PDS it can be calculated or measured. It concerns that PDS only.

- d) Conventional harmonic voltage due to a given PDS (or to a group of PDSs). For the PC under consideration calculate: $U_h = Z_h \cdot I_h$

This voltage should be less than established values.

- e) Discussion: if resonances are present this method will not give an accurate result, and in other circumstances the result will be pessimistic. It can be refined by identifying two system types:

- those that do not contain long cables and that have no power factor correction capacitors;
- those that do contain long cables and/or have capacitors.

The following values of k are then adopted:

$$k = 4 \text{ pour } 0,5 (S_{sc}/Q)^{1/2} < h < 2 (S_{sc}/Q)^{1/2}$$

and $k = 1$ for other frequencies

where

Q is the total reactive power (cables and capacitors);

S_{sc} is the short circuit power at the PC.

B.2.2.2 Méthode de distorsion du courant pour l'installation complète

Soit IHD la distorsion du courant due à un rang donné d'harmonique (notons que IHD est égal à la valeur relative de l'amplitude de ce rang). La valeur de référence est le courant de charge spécifié du réseau alternatif de toute l'installation.

Soit le THD, taux de distorsion harmonique total du courant.

Les valeurs de IHD et THD de l'installation totale sont comparées à celles d'un tableau. Cette approche est utilisée aux USA (IEEE 519), avec une sommation étendue au rang 50 compris pour le calcul du THD.

B.2.2.3 Analyse cas par cas

En cas de difficulté, il est souhaitable de conduire une analyse complète du réseau par une des méthodes décrites ci-dessus. Ses conclusions permettent de définir correctement le filtrage total.

On peut suivre la procédure suivante:

- évaluer la distorsion de tension harmonique existante au PCC (de la responsabilité du distributeur d'énergie – public ou privé);
- calculer ou mesurer l'impédance d'harmonique du réseau au PC (de la responsabilité du distributeur d'énergie – public ou privé si c'est un PCC, et de la responsabilité de l'utilisateur si c'est un IPC – point interne de couplage); la CEI 1000-2-6, article A.2 fournit des données sur l'impédance harmonique rencontrée dans des réseaux;
- calculer ou mesurer les courants harmoniques que le PDS à connecter va injecter dans le réseau (de la responsabilité du constructeur);
- calculer les tensions harmoniques qui peuvent en résulter (de la responsabilité de l'utilisateur).

Les niveaux de compatibilité pour les tensions harmoniques sont définis par la CEI 1000-2-2 sur les réseaux publics en basse tension, par la CEI/FDIS 1000-2-12 sur les réseaux publics moyenne tension et par la CEI 1000-2-4 sur les réseaux industriels privés.

Au PC, on peut définir une puissance nominale disponible (appelée puissance souscrite interne) et affecter une marge de perturbation au PDS à connecter. La solution raisonnable consiste à définir cette marge de perturbation proportionnelle au rapport de sa puissance nominale à la puissance nominale disponible au PC, et proportionnelle aux niveaux de compatibilité définis par les normes citées ci-dessus.

B.2.2.4 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 TIF (facteur d'interférence téléphonique). L'IEEE 519, partie 6.8, présente le résultat de la pondération des divers harmoniques.

Le courant psophométrique équivalent est défini par: $I_p = I \cdot \text{TIF}$

Les pratiques locales recommandées exigent que $I_p < I_p A$

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 6.1.4).

B.2.2.2 *Current distortion method for complete installation*

IHD is defined as the current distortion due to a given harmonic order (note that IHD is equal to the relative value of amplitude of this order). The reference value is the rated demand load current of the a.c. supply of the whole installation.

THD is defined as the total current distortion coefficient.

The values of IHD and THD of the total installation are compared to a table. This approach is used in the USA (IEEE 519), with a summation extended to, and including the order 50 for calculation of THD.

B.2.2.3 *Case by case analysis*

If a problem is detected by one of the methods described above, a complete analysis of the system should be conducted. The results of the analysis can then be used to correctly define the total filtering.

The following procedure should be adopted:

- assess the existing level of harmonic voltage distortion at the PCC (the responsibility of the energy distributor – public or private);
- calculate or measure the harmonic impedance of the supply at the PC (the responsibility of the energy distributor – public or private if PCC, and the responsibility of the user if IPC – internal point of coupling); IEC 1000-2-6, clause A.2, gives information on the harmonic impedance encountered in systems;
- calculate or measure harmonic currents that the PDS to be connected is going to inject into the system (at the responsibility of the manufacturer);
- calculate harmonic voltages that can result from this (the responsibility of the user).

Compatibility levels for harmonic voltages are defined by IEC 1000-2-2 on low voltage public systems, by IEC/FDIS 1000-2-12 on medium voltage public systems, and by IEC 1000-2-4 on private industrial systems.

At the PC an available nominal power (called agreed internal power) can be defined, and a disturbance margin can be allocated to the PDS to be connected. The reasonable solution consists of defining this disturbance margin proportional to the ratio of its nominal power to the available nominal power at the PC, and proportional to compatibility levels defined by standards quoted above.

B.2.2.4 *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 519, section 6.8, presents the result of a weighting of the various harmonics.

The equivalent psophometric current is defined as : $I_p = I \cdot \text{TIF}$

and the local recommended practices require that : $I_p < I_p A$

Within the installation, the common mode harmonic emission on the motor cable may cause interference with telephone lines if they are running in parallel. This should be avoided (see 6.1.4).

B.2.3 *Guide de raccordement*

Ce paragraphe est destiné à servir de guide pour l'utilisation des PDS et pour leur intégration dans des produits, appareils ou plus généralement dans des systèmes.

L'émission harmonique produite par différents équipements a fait l'objet de beaucoup d'études et de publications (voir E.2).

B.2.3.1 *Grand système industriel*

Il convient d'appliquer directement le futur Rapport technique CEI 1000-3-6 (voir bibliographie).

Il est habituel de diviser le système en différentes sections suivant les dispositifs naturels de découplage (transformateurs, etc.). La division devrait résulter de l'analyse du réseau complet, en tenant compte des résonances possibles.

L'emplacement des filtres nécessaires devrait être défini attentivement, mais il est évident que le filtrage de chacun des PDS n'est pas approprié.

B.2.3.2 *Système industriel triphasé de faible puissance*

Comme indiqué en 6.1.2.1, la CEI 1000-3-2 et la future CEI 1000-3-4 (voir bibliographie) s'appliquent aux appareils comprenant un PDS et directement reliés à un PCC sur un réseau public basse tension. Pour les entraînements qui ne sont pas couverts par ces publications, la procédure suivante peut servir de guide.

La procédure d'évaluation des émissions harmoniques est résumée dans l'organigramme de la figure B.1. Les méthodes de calcul sont données en B.2.3.3.

La vérification de conformité est réalisée en comparant avec les tableaux de la norme référencée appropriée le taux individuel harmonique IHD (pour chaque rang) et les taux de distorsion harmonique total et partiel (THD et PHD) résultants pour le système ou l'appareil.

B.2.3.3 *Méthodes de calcul – Exemples et valeurs fondamentales*

Les émissions harmoniques provenant des différents composants sont sommées de la manière la plus appropriée possible. Le résultat est référencé au fondamental du courant assigné de l'appareil ou du système (puissance souscrite interne). Si le système est directement relié à un réseau de distribution publique basse tension, le résultat est comparé aux limites fixées dans la CEI 1000-3-2, ou recommandées dans la future CEI 1000-3-4 (voir bibliographie). La méthode de sommation peut être une approximation rapide mais prudente. Quand une meilleure précision est nécessaire, il est possible de choisir la loi de sommation appropriée à la nature et à la structure des convertisseurs des PDS.

B.2.3 *Guide for connection*

This subclause is intended to provide guidance for the use of PDSs for their incorporation in products, apparatus or more generally in systems.

The harmonic emissions produced by different types of equipment have been the object of many studies and publications (see E.2).

B.2.3.1 *Large industrial system*

The future Technical Report IEC 1000-3-6 (see bibliography) should be applied directly.

It is usual to separate the system into different sections according to natural decoupling devices (transformers...). The separation should result from the analysis of the complete network, taking possible resonances into account.

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

B.2.3.2 *Low power industrial three-phase system*

As stated in 6.1.2.1, IEC 1000-3-2 and future IEC 1000-3-4 (see bibliography) apply to apparatus comprising PDSs that are directly connected to a PCC in a public low-voltage network. For PDSs which are not covered by these publications, the following procedure may be used as a guide.

The procedure for the assessment of harmonic emissions is summarized in the flow-chart, figure B.1. Methods of calculation are given in B.2.3.3.

Checking of compliance is performed by comparing, with tables in the appropriate referenced standard, the individual harmonic distortion IHD (for each order), and the total and partial harmonic distortion (THD and PHD) which are the levels that result for the system or apparatus.

B.2.3.3 *Calculation schemes – examples and basic values*

Harmonic emissions from the different components are summed in the most appropriate way. The result is referenced to the rated fundamental current of the apparatus or of the system (agreed internal power). If the system is directly connected to a public low-voltage distribution network, the result is compared to limits fixed in IEC 1000-3-2 or recommended in future IEC 1000-3-4 (see bibliography). The 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 PDSs.

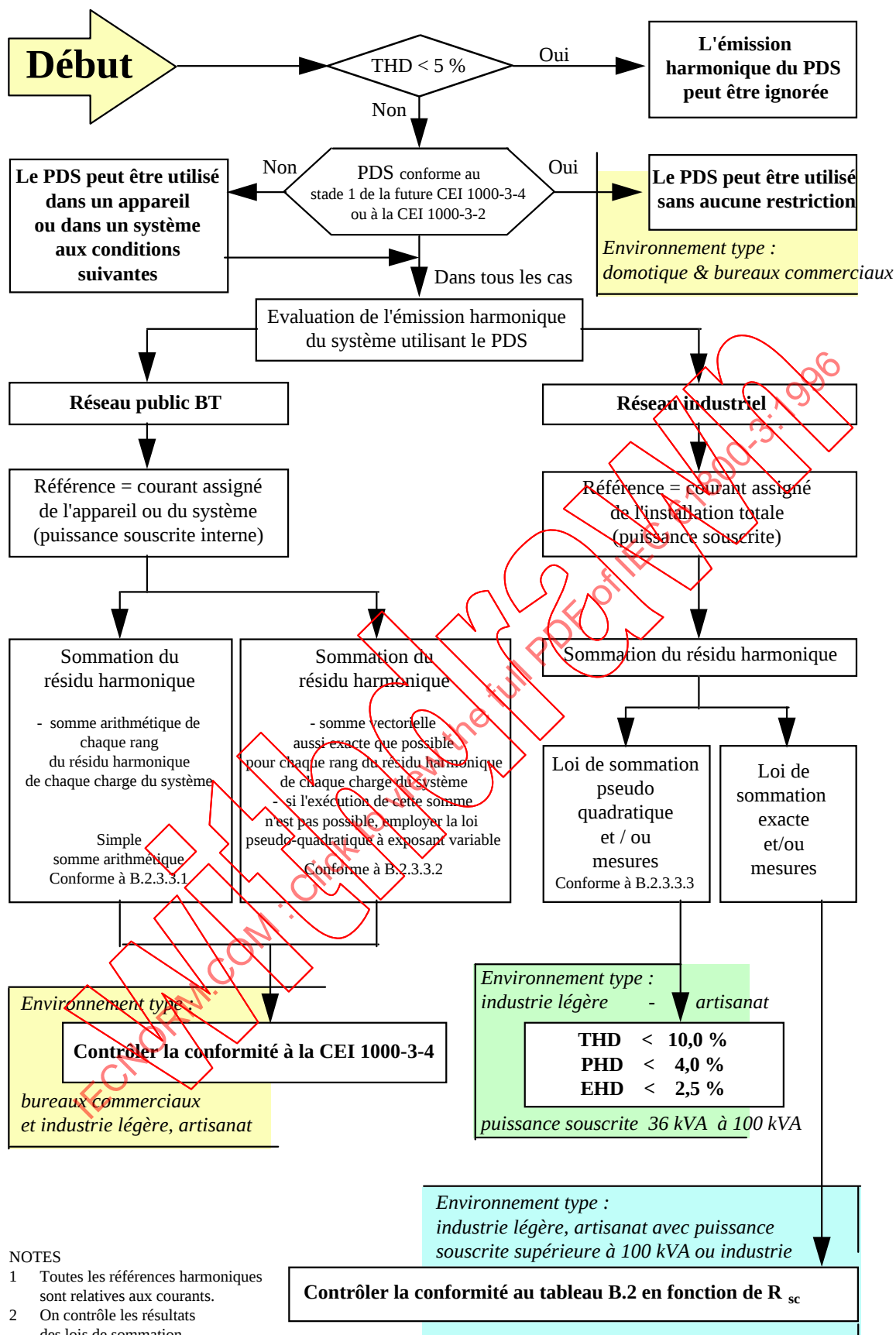


Figure B.1 – Evaluation des émissions harmoniques pour l'utilisation des PDS (appareils, systèmes ou installations)

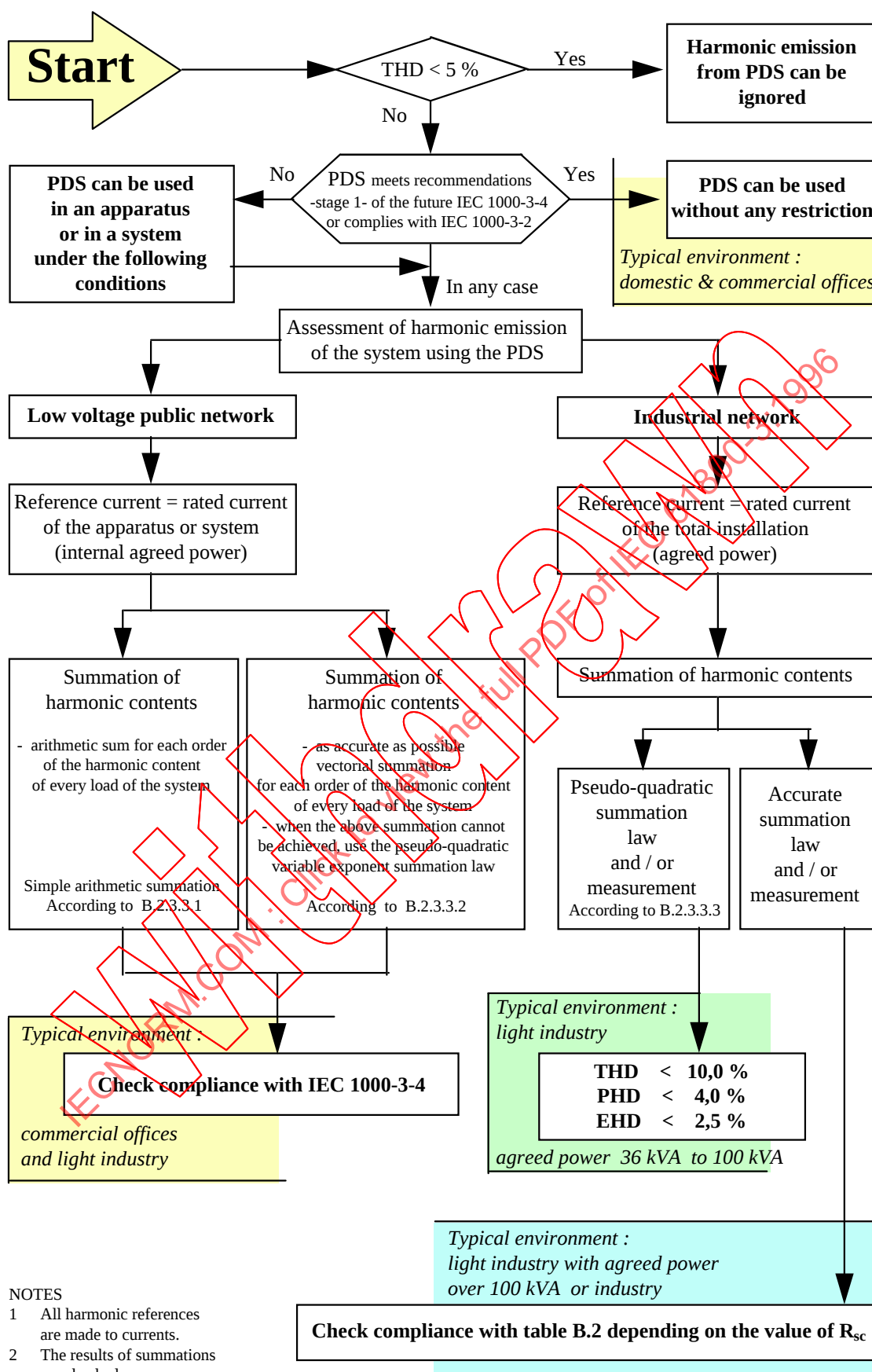


Figure B.1 – Assessment of harmonic emission where PDSs are used (apparatus, systems or installations)

B.2.3.3.1 Somme arithmétique simple d'harmoniques de courants

Dans cette approche, les courants harmoniques sont additionnés arithmétiquement. (C'est une loi simple mais souvent très majorante.) Le calcul de l'IHD, taux individuel de distorsion harmonique (pour chaque rang), du THD, taux de distorsion harmonique total, ou du taux de distorsion harmonique partiel PHD, est exécuté pour les composants triphasés, au moyen de l'équation suivante appliquée à tous les composants de type déformant.

HD est le symbole générique pour IHD, THD ou PHD. L'indice eq indique que cette valeur est attachée à un composant particulier du système.

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

Dans cette relation, HD_{eq} se rapporte au courant fondamental assigné du composant (partie d'équipement), et HD se rapporte au courant fondamental assigné de l'appareil ou du système (puissance souscrite interne).

Les composants monophasés sont pris en compte au moyen d'un coefficient de pénalité de déséquilibre:

- pour des charges branchées entre phases, le coefficient est $\sqrt{3}$:

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

- pour des charges monophasées, branchées entre phases et neutre, le coefficient est 3:

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

Le coefficient de pénalité est uniquement appliqué aux parties des charges qui créent le déséquilibre.

Exemple :

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

Equipement déformant N° 1 : $S_{eq} = 25 \text{ kVA}$ avec HD = 65 %, relatif à son courant assigné, c'est-à-dire
 $HD = 65 \times (25/150) \% = 10,8 \%$, relatif à I_{1N} (ou S_{IT}).

Equipement déformant N° 2 : $S_{eq} = 10 \text{ kVA}$ avec HD = 10 %, relatif à son courant assigné, c'est-à-dire
 $HD = 10 \times (10/150) \% = 0,7 \%$, relatif à I_{1N} (ou S_{IT}).

Equipement déformant N° 3 : $S_{eq} = 1 \text{ kVA}$ avec HD = 85 %, relatif à son courant assigné,
 mais monophasé (entre phases), équivalent à 1,73 fois sa puissance en charge équilibrée, y compris les harmoniques multiples de trois (à considérer) c'est-à-dire

$$HD = 85 \times (1,0/150) \times 1,73 \% = 1,0 \%, \text{ relatif à } I_{1N} \text{ (ou } S_{IT}).$$

Pour le système $HD = (10,8 + 0,7 + 1,0) \% = 12,5 \%$ avec $\sum S_{eq}/S_{IT} = (25 + 10 + 1) / 150 = 0,240$

Le calcul est exécuté pour chaque rang harmonique et pour le THD.

B.2.3.3.2 Loi de sommation pseudo-quadratique (exposant variable)

Autant que possible la sommation des courants harmoniques devrait être faite avec une loi plus exacte (en tenant compte du déphasage). Si on ne peut pas utiliser une telle loi, il convient de respecter la règle suivante:

B.2.3.3.1 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 harmonic distortion coefficient IHD (for each order), or the total harmonic distortion coefficient THD, or the total harmonic distortion of the highest frequency range PHD, is performed for three-phase components, using the following equation applied to all distorting components (pieces of equipment).

HD is the generic symbol for IHD, THD or PHD. The subscript eq indicates that this value is attached to a particular component in the system.

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

In the equation 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 apparatus or system (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 $\sqrt{3}$,

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

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

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

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

Example :

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

Piece of distorting equipment No. 1:

$S_{eq} = 25 \text{ kVA}$ with HD = 65 %, related to its rated current, that is to say

$$HD = 65 \times (25/150) \% = 10,8 \%, \text{ related to } I_{1N} \text{ (or } S_{IT} \text{)}.$$

Piece of distorting equipment No. 2:

$S_{eq} = 10 \text{ kVA}$ with HD = 10 %, related to its rated current, that is to say

$$HD = 10 \times (10/150) \% = 0,7 \%, \text{ related to } I_{1N} \text{ (or } S_{IT} \text{)}.$$

Piece of distorting equipment No. 3:

$S_{eq} = 1 \text{ kVA}$ 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) that is to say

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

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

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

B.2.3.3.2 Pseudo-quadratic (variable exponent) summation law

If possible, the summation of harmonic currents should be made with a more accurate law (taking the phase relationship into account). If such a law cannot be used, the summation should comply with the following rule:

- courants connus comme étant en phase: (par exemple redresseur à diodes) sommation arithmétique de chaque rang:

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

- déphasage aléatoire entre les courants: sommation exponentielle de chaque rang:

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

$\alpha = 1$ pour $h < 5$, et $\alpha = 1,4$ pour $5 \leq h < 10$, puis $\alpha = 2$ pour $10 \leq h$

Cette méthode donne une évaluation de l'émission en courants harmoniques du système. Le résultat est relatif au courant fondamental assigné du système (puissance souscrite interne) et peut être utilisé pour établir la conformité à la CEI 1000-3-2 ou à la future CEI 1000-3-4 (stade 1 ou 2).

B.2.3.3.3 Réseaux industriels, approche simplifiée basée sur les puissances assignées

Deux méthodes principales ont été présentées dans différentes publications:

- la sommation pseudo-quadratique,
- la sommation arithmétique pondérée.

La formule suivante est recommandée pour la sommation avec une loi pseudo-quadratique.

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

où $\alpha = 1,4$

Elle est associée aux critères globaux de limitation sur THD, PHD et EHD.

Les environnements typiques où cette approche s'applique sont l'industrie légère avec une «puissance souscrite» entre 36 kVA et 100 kVA.

B.2.3.3.4 Réseaux industriels, approche basée sur le calcul et/ou les mesures

Si le respect des niveaux limites des émissions harmoniques ne peut être démontré par les méthodes ci-dessus, il est souhaitable de pratiquer une estimation plus exacte. Elle concerne la demande totale de courant de l'installation.

Il convient de déterminer la valeur totale des émissions harmoniques de courant de l'installation, y compris la charge à installer, et de la comparer à un tableau de valeurs limites. La loi de sommation est choisie selon la connaissance que l'on a des charges, ou en utilisant la combinaison vectorielle exacte quand cette dernière est connue.

Par exemple le tableau B.2 issu de l'IEEE 519 donne des limites pour les rangs harmoniques individuels ainsi que pour le taux de distorsion harmonique total en courant. Les valeurs sont fonction du $R_{sc} = I_{sc} / I_{1N}$ de l'installation (la sommation pour le calcul du THD est étendue au rang 50 inclus).

Les harmoniques de rangs pairs devraient être limités à 25 % des valeurs données dans le tableau B.2.

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

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

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

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

$\alpha = 1$ for $h < 5$, and $\alpha = 1,4$ for $5 \leq h < 10$, and $\alpha = 2$ for $10 \leq h$

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 1000-3-2 or future IEC 1000-3-4 (stage 1 or 2).

B.2.3.3.3 Simple approach for industrial networks based on ratings

Two main methods have been presented in different publications:

- the pseudo-quadratic summation,
- the weighted arithmetic summation.

The following formula for summation with a pseudo quadratic law is recommended.

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

where $\alpha = 1,4$

It is associated with global limitation criteria on THD, PHD and EHD.

Typical environments where this approach applies are light industry with "Agreed Power" between 36 kVA and 100 kVA.

B.2.3.3.4 Approach for industrial networks based on calculation and/or measurements

If compliance with harmonic emission limits cannot be proved by the above methods, 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 and compared to a table of limits. The summation law is chosen according to the knowledge of the loads, or uses the exact vectorial combination if it is known.

For example table B.2, from IEEE 519, gives limits for individual harmonic orders and total harmonic distortion coefficient of the current as well. Values are related to $R_{sc} = I_{sc} / I_{1N}$ of the installation. (Summation for THD calculation is extended to, and includes, the order 50.)

Even order harmonics should be limited to 25 % of the values given in table B.2.

Tableau B.2 – Limites pour les courants harmoniques impairs en pourcentage de I_{1N}

R_{Sc}	$0 \leq R_{Sc} < 20$	$20 \leq R_{Sc} < 50$	$50 \leq R_{Sc} < 100$	$100 \leq R_{Sc} < 1\,000$	$1\,000 \leq R_{Sc}$
h					
$h < 11$	4,0	7,0	10,0	12,0	15,0
$11 \leq h < 17$	2,0	3,5	4,5	5,5	7,0
$17 \leq h < 23$	1,5	2,5	4,0	5,0	6,0
$23 \leq h < 35$	0,6	1,0	1,5	2,0	2,5
$35 \leq h$	0,3	0,5	0,7	1,0	1,4
THD	5,0	8,0	12,0	15,0	20,0

L'environnement typique où cette approche s'applique est l'industrie légère avec une «puissance souscrite» supérieure à 100 kVA, ou l'industrie lourde.

Il est souhaitable d'appliquer des méthodes d'atténuation de l'émission d'harmoniques si ces critères ne peuvent pas être respectés.

B.3 Déséquilibre de tension

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 disponible, et de l'impédance du réseau. A titre d'exemple, considérons 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 inchangé.

Le déséquilibre de tension sur des transformateurs est cause d'échauffements supplémentaires. Le constructeur doit être consulté 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 et 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 constructeur du moteur pour déterminer le déclassement correct permettant un fonctionnement sûr.

B.3.1 Définition

Trois approches possibles du déséquilibre de tension dans un réseau triphasé sont généralement employées pour décrire la valeur du déséquilibre. La première méthode utilise l'écart maximum de tension avec la moyenne des tensions des trois phases. La dernière est la définition mathématique, pour laquelle la tension peut être la valeur entre phases.

$$\begin{aligned} \text{Déséquilibre de tension \%} &= 100 \left(\frac{\text{Ecart maximum par rapport à la moyenne}}{\text{Moyenne des trois phases}} \right) \\ &= 100 \left| \frac{U_X - U_{AVE}}{U_{AVE}} \right| \end{aligned}$$

Table B.2 – Limits for odd current harmonics in per cent of I_{1N}

$h \backslash R_{sc}$	$0 \leq R_{sc} < 20$	$20 \leq R_{sc} < 50$	$50 \leq R_{sc} < 100$	$100 \leq R_{sc} < 1\,000$	$1\,000 \leq R_{sc}$
$h < 11$	4,0	7,0	10,0	12,0	15,0
$11 \leq h < 17$	2,0	3,5	4,5	5,5	7,0
$17 \leq h < 23$	1,5	2,5	4,0	5,0	6,0
$23 \leq h < 35$	0,6	1,0	1,5	2,0	2,5
$35 \leq h$	0,3	0,5	0,7	1,0	1,4
THD	5,0	8,0	12,0	15,0	20,0

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

If the harmonics in the installation do not comply with these criteria, mitigation methods should be applied.

B.3 Voltage unbalance

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 with the motor manufacturer to determine the proper derating for safe operation.

B.3.1 Definition

Three different approaches are generally used to describe the amount of voltage unbalance in a three-phase system. The first method uses the maximum voltage deviation from the average of the voltage of the three phases to define the unbalance. The last approach is the theoretical definition, where voltage can be the line-to-line value.

$$\begin{aligned} \text{Voltage unbalance \%} &= 100 \left(\frac{\text{Maximum deviation from average}}{\text{Average of the three phases}} \right) \\ &= 100 \left| \frac{U_X - U_{AVE}}{U_{AVE}} \right| \end{aligned}$$

où

U_X est la tension entre phases qui présente l'écart maximal avec la moyenne;

$$U_{AVE} = (U_{AB} + U_{BC} + U_{CA}) / 3;$$

U_{AB} , U_{BC} , et U_{CA} sont les amplitudes des tensions entre phases.

Exemple

$$U_{AN} = 231, U_{BN} = 220 \text{ et } U_{CN} = 220$$

$$U_{AB} = 391, U_{BC} = 381 \text{ et } U_{CA} = 391$$

$$U_{AVE} = (391 + 381 + 391) / 3 = 388$$

$$|U_X - U_{AVE}| = |381 - 388| = 7$$

Le déséquilibre de tension est $7 / 388 = 1,8 \%$.

Une autre approche considère les deux tiers de l'écart maximal, au lieu de la différence entre le maximum et la moyenne, ce qui est algébriquement équivalent.

$$\text{Tension de déséquilibre \%} = [67 (U_{\max} - U_{\min}) / U_{\text{Average}}]$$

Pour le même exemple, les tensions simples

$$U_A = 231, U_B = 220 \text{ et } U_C = 220$$

avec des angles de phase équilibrés, correspondant aux tensions entre phases

$$U_{BC} = 381, U_{CA} = 391 \text{ et } U_{AB} = 391$$

produit un déséquilibre de tension en $\% = 1,73 \%$

La définition exacte est basée sur l'analyse des composantes symétriques du réseau triphasé.

Ce type d'analyse est basé sur le concept que tout écart de la tension de phase par rapport au réseau idéal triphasé peut être décrit par la somme de trois composantes triphasées symétriques. Elles sont appelées composante directe, composante inverse et composante homopolaire et sont définies comme suit:

$$\underline{U}_A = \underline{U}_{A0} + \underline{U}_{A1} + \underline{U}_{A2} \quad \text{tension de la phase A}$$

$$\underline{U}_{A0} = (\underline{U}_A + \underline{U}_B + \underline{U}_C) / 3 \quad \text{composante homopolaire}$$

$$\underline{U}_{A1} = (\underline{U}_A + a \underline{U}_B + a^2 \underline{U}_C) / 3 \quad \text{composante directe}$$

$$\underline{U}_{A2} = (\underline{U}_A + a^2 \underline{U}_B + a \underline{U}_C) / 3 \quad \text{composante inverse}$$

où $\underline{U}_A$, $\underline{U}_B$, et $\underline{U}_C$ sont les vecteurs de tension de phase et «a» est l'opérateur,

$$a = -(1/2) + j(\sqrt{3}/2)$$

Le rapport de la tension inverse à la tension directe est la mesure du déséquilibre de tension. Soit:

$$\text{Déséquilibre de tension \%} = 100 U_{A2} / U_{A1}$$

Pour l'exemple donné ci-dessus, en supposant que le déséquilibre ne cause aucun déphasage par rapport au réseau triphasé normal:

$$\underline{U}_{A1} = [\underline{U}_{AN} + a \underline{U}_{BN} + a^2 \underline{U}_{CN}] / 3$$

$$\underline{U}_{A1} = [\underline{U}_{AN} + (-0,5 + j 0,866) \underline{U}_{BN} + (-0,5 - j 0,866) \underline{U}_{CN}] / 3$$

$$\underline{U}_{A1} = [U_{AN} + (-0,5 + j 0,866) (-0,5 - j 0,866) U_{BN} + (-0,5 - j 0,866) (-0,5 + j 0,866) U_{CN}] / 3$$

$$U_{A1} = [231 + 220 + 220] / 3 = 224$$

where

U_X is the line-to-line voltage with the maximum deviation from the average;

$$U_{AVE} = (U_{AB} + U_{BC} + U_{CA}) / 3;$$

U_{AB} , U_{BC} , and U_{CA} are the magnitudes of the three-phase line-to-line voltages.

Example

$$U_{AN} = 231, U_{BN} = 220 \text{ and } U_{CN} = 220$$

$$U_{AB} = 391, U_{BC} = 381 \text{ and } U_{CA} = 391$$

$$U_{AVE} = (391 + 381 + 391) / 3 = 388$$

$$|U_X - U_{AVE}| = |381 - 388| = 7$$

The voltage unbalance is $7 / 388 = 1,8 \%$.

Another approach considers two-thirds of the maximum deviation, instead of the deviation between maximum and average, which is algebraically equivalent.

$$\text{Voltage unbalance \%} = [67 (U_{\max} - U_{\min}) / U_{\text{Average}}]$$

For the same example, the line-to-neutral voltages

$$U_A = 231, U_B = 220 \text{ and } U_C = 220$$

with balanced phase angles, corresponding to the line-to-line voltages

$$U_{BC} = 381, U_{CA} = 391 \text{ and } U_{AB} = 391$$

produce voltage unbalance $\% = 1,73 \%$

The most accurate definition is based on 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:

$$\underline{U}_A = \underline{U}_{A0} + \underline{U}_{A1} + \underline{U}_{A2}$$

phase A voltage

$$\underline{U}_{A0} = (\underline{U}_A + \underline{U}_B + \underline{U}_C) / 3$$

zero sequence component

$$\underline{U}_{A1} = (\underline{U}_A + a \underline{U}_B + a^2 \underline{U}_C) / 3$$

positive sequence component

$$\underline{U}_{A2} = (\underline{U}_A + a^2 \underline{U}_B + a \underline{U}_C) / 3$$

negative sequence component

where $\underline{U}_A$, $\underline{U}_B$, and $\underline{U}_C$ are the phase voltage vectors and "a" is the operator, $a = -(1/2) + j(\sqrt{3}/2)$.

The ratio of the negative sequence to the positive sequence voltage is the voltage unbalance. This is as follows:

$$\text{Voltage unbalance \%} = 100 U_{A2} / U_{A1}$$

For the example given above assuming that the unbalance does not cause any phase shift from the normal three-phase system:

$$\underline{U}_{A1} = [\underline{U}_{AN} + a \underline{U}_{BN} + a^2 \underline{U}_{CN}] / 3$$

$$\underline{U}_{A1} = [\underline{U}_{AN} + (-0,5 + j 0,866) \underline{U}_{BN} + (-0,5 - j 0,866) \underline{U}_{CN}] / 3$$

$$\underline{U}_{A1} = [U_{AN} + (-0,5 + j 0,866) (-0,5 - j 0,866) U_{BN} + (-0,5 - j 0,866) (-0,5 + j 0,866) U_{CN}] / 3$$

$$U_{A1} = [231 + 220 + 220] / 3 = 224$$

$$\underline{U}_{A2} = [\underline{U}_{AN} + a^2 \underline{U}_{BN} + a \underline{U}_{CN}] / 3$$

$$U_{A2} = [U_{AN} + (-0,5 - j 0,866) (-0,5 - j 0,866) U_{BN} + (-0,5 + j 0,866) (-0,5 + j 0,866) U_{CN}] / 3$$

$$U_{A2} = [U_{AN} - 0,5(U_{BN} + U_{CN}) + j 0,866 (U_{BN} - U_{CN})] / 3$$

$$U_{A2} = [231 - 220] / 3$$

$$U_{A2} = 3,7$$

$$\text{déséquilibre de tension en \%} = 100 (3,7/224) = 1,7 \%$$

En tout cas, il est important de noter que les approches à partir de la mesure d'amplitude ne prennent pas correctement en compte le déphasage des tensions simples. La méthode des composantes symétriques qui utilise la sommation de vecteurs le fait. Si un réseau triphasé est constitué de trois tensions phase-neutre de même amplitude mais toutes en phase, l'approche par amplitude échouera. Ce cas limite utilisé montre que la méthode des composantes symétriques est plus générale et devrait être utilisée dès que le déséquilibre comporte un déphasage significatif.

B.3.2 Effets sur les entraînements (PDS)

L'effet sur les PDS dépend du type de circuit de puissance et de la méthode de commande utilisée. Chaque type de commande et de circuit doit être analysé en détail. Généralement, l'effet sera 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, 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 les batteries de condensateurs car le courant 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 crête de chaque phase n'est limité que par l'impédance de source et les impédances supplémentaires du PDS, elle dépend de la différence entre la tension de la batterie de condensateurs et la tension de ligne. Le rapport entre les courants 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 invraisemblable qu'une charge monophasée puisse causer cette ampleur de déséquilibre avec une impédance de source de 1 %.

B.4 Creux de tension – fluctuations de tension

B.4.1 Creux de tension

B.4.1.1 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 du 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 ou par le démarrage de grands moteurs à proximité du site de l'utilisateur. Des études menées à l'EPRI aux Etats-Unis ont montré que ces creux de tension peuvent varier d'une durée d'une période avec une tension résiduelle de 30 % de la tension nominale, jusqu'à 10 périodes et plus, avec des tensions en dehors de la tolérance de 10 % de la tension.

$$\underline{U}_{A2} = [\underline{U}_{AN} + a^2 \underline{U}_{BN} + a \underline{U}_{CN}] / 3$$

$$U_{A2} = [U_{AN} + (-0,5 - j 0,866) (-0,5 - j 0,866) U_{BN} + (-0,5 + j 0,866) (-0,5 + j 0,866) U_{CN}] / 3$$

$$U_{A2} = [U_{AN} - 0,5(U_{BN} + U_{CN}) + j 0,866 (U_{BN} - U_{CN})] / 3$$

$$U_{A2} = [231 - 220] / 3$$

$$U_{A2} = 3,7$$

$$\text{Voltage unbalance \%} = 100 (3,7/224) = 1,7 \%$$

In any case, it is important to note that the approaches based on amplitude measurement do not correctly take into account the phase shift of the phase voltages. The symmetrical component method which uses vector summation does. If a three-phase system is made up of three line-to-neutral voltages which have the same magnitude but are all in phase, the amplitude approach will fail. This is an extreme case used to show that the symmetrical component method is more general and should be used where the unbalance includes significant amounts of phase shift.

B.3.2 Effect on PDSs

The effect on the PDS will vary depending on the type of power circuit and control method used. Each type of control and circuit should be analyzed 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 synchronized to the line using zero crossings for their reference. Controlled or uncontrolled converters that supply capacitor banks, used in the d.c. 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 d.c. 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 PDS, 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.4 Voltage dips – voltage fluctuations

B.4.1 Voltage dips

B.4.1.1 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 utility supplying the mains, or by the starting of large motors in or near the user's location. Studies by EPRI in the United States have shown that voltage dips can range from a time of one cycle at 30 % of the rated voltage to 10 cycles or more at voltages outside the 10 % voltage tolerance.

B.4.1.2 Conséquences sur les PDS

Les creux de tension peuvent avoir des effets préjudiciables aux PDS. Généralement, quand la tension est réduite, la puissance qui peut être transférée du réseau au moteur est réduite également. Les convertisseurs réversibles qui permettent le renvoi de la puissance mécanique du moteur vers le réseau demandent une attention particulière.

B.4.1.2.1 *Convertisseurs contrôlés*

Les convertisseurs contrôlés à thyristors, GTO, ou 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 semi-conducteurs 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, le fonctionnement ne sera repris que si la tension revient dans un laps de temps spécifié. Normalement, le PDS ne pourra 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 le PDS est critique vis-à-vis des creux de tension, le constructeur et l'utilisateur doivent convenir d'un comportement compatible avec les besoins du processus. Dans certains cas critiques, il est nécessaire d'avoir recours à des méthodes complémentaires (comme une source alternative de puissance «secourue») 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, ce qui peut affecter le comportement selon le point de fonctionnement du moteur. Considérons le cas d'un pont contrôlé à six thyristors fournissant la puissance à un moteur à courant continu. Si le moteur tourne à grande vitesse, un creux de tension peut placer la tension crête du réseau en dessous de la tension d'induit. Le courant dans le circuit d'induit s'annule et les thyristors sont alors éteints par le circuit d'induit. Si par contre 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 est nécessaire d'examiner l'effet des creux de tension avec le constructeur du PDS 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 onduleur, on perd le contrôle de la puissance allant du moteur vers le réseau, 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 un instant d'allumage de thyristor, le thyristor précédemment conducteur ne se bloque pas et le moteur peut générer des courants excessifs incontrôlés qui peuvent entraîner des effets potentiellement préjudiciables au processus, ou même des dommages au moteur. Si la charge est critique, il est nécessaire d'examiner l'effet des creux de tension sur des convertisseurs fonctionnant en onduleur avec le constructeur du PDS afin de déterminer le comportement des circuits de puissance et de commande durant ces périodes. On peut ajouter un circuit supplémentaire pour forcer la commutation des thyristors, ou mettre en œuvre des sources de puissance alternatives pour maintenir le PDS pendant les creux.

Les convertisseurs réversibles à commutation forcée peuvent aussi être affectés par les creux de tension. 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, on peut perdre le contrôle de la commande du moteur pendant ce temps.

B.4.1.2.2 *Convertisseurs non contrôlés*

Les convertisseurs non contrôlés avec pont de diodes ne sont pas très affectés par un creux de tension, bien que des courants d'appels élevés puissent circuler dans la batterie de condensateurs à la réapparition de la tension, mais leur tension et leur puissance de sortie sont réduites. Cela peut entraîner des effets préjudiciables sur d'autres parties du PDS. Si par exemple le convertisseur fournit la puissance à un onduleur, la tension de sortie de l'onduleur est limitée et on peut perdre le contrôle du moteur alternatif. Certains constructeurs inhibent le fonctionnement quand la tension d'alimentation de l'onduleur tombe en dessous d'une valeur

B.4.1.2 *Effect on PDSs*

Voltage dips can have detrimental effects on PDSs. Generally, when the supply voltage is reduced, the power that can be transferred from the mains to the motor is also reduced. Of particular concern are regenerative converters that allow transfer of mechanical power from the motor back to the mains supply.

B.4.1.2.1 *Controlled converters*

Controlled converters, such as those that are made up of thyristors, GTOs, or transistors, are generally used to convert the a.c. mains to a variable d.c. voltage. The logic that is used to synchronize 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 PDS 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 PDS is controlling is critical, discussions with the PDS 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 and to the motor is reduced. This can affect operation depending on the motor operating points. Consider the case of a controlled six thyristor bridge supplying power to a d.c. 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 PDS 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 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 PDS 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 PDS 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 may 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.4.1.2.2 *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 PDS. If, for example, the converter is supplying power to an inverter, the output voltage of the inverter will be limited and control of the a.c. motor will be lost. Some manufacturers also inhibit operation when the voltage feeding the inverter drops below a

spécifique. Certaines conceptions demandent aussi à ce que la commande soit réarmée avant de redémarrer. D'autres conceptions reprendront le fonctionnement au retour de la tension, mais on perd le contrôle du moteur pendant la période où la commande est inhibée. Cette période peut être prolongée du temps requis pour synchroniser la logique de commande de l'onduleur avec la vitesse réelle du moteur après la perte de commande.

Une 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 qui doivent être appliquées au moteur pour une transition douce des conditions de décélération naturelle à la reprise du contrôle.

Un PDS «à forte batterie de condensateurs» peut passer des creux de tension courts grâce à 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. Les charges critiques pourraient utiliser une batterie d'accumulateurs pour fournir la puissance aux condensateurs pendant les creux. Un PDS avec une commande adaptée peut continuer à fonctionner pendant les interruptions de tension, si la puissance de sortie est voisine de zéro. Dans tous les cas, il est important d'examiner avec le constructeur les effets des creux de tension sur le fonctionnement de l'entraînement, pour déterminer s'il est compatible avec les besoins du processus.

B.4.1.2.3 *Protections générales*

On a vu 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 est souhaitable que le choix de la protection soit soigneusement adapté aux exigences du processus.

La protection absolue nécessite une source de puissance réversible. Il peut s'agir d'une ASI, externe à l'entraînement, ou d'une source continue (batterie d'accumulateurs) alimentant la boucle à tension continue constante 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 secourue. 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, cette sorte de protection ne peut être utilisée avec des charges actives (exemple du levage pendant la récupération où le frein mécanique est nécessaire).

Le «redémarrage à la volée» est la suite de la «séquence de passage des creux de tension» qu'on peut utiliser en cas de charges passives ayant des décélérations naturelles longues ou très longues. Cela peut être une protection contre les creux de tension ou également contre les coupures brèves.

Le redémarrage automatique implique toujours des conditions de sécurité sous la responsabilité de l'utilisateur.

B.4.2 *Interharmoniques en tant que sources de fluctuation de tension*

Les fréquences interharmoniques sur le réseau ne sont pas des multiples entiers de la fréquence principale, elles peuvent produire des fluctuations de tension si elles sont à basse fréquence. Les interharmoniques peuvent être divisés en deux catégories selon que la fréquence est inférieure ou supérieure à celle du réseau. Les interharmoniques de plus haute fréquence sont inclus dans la définition du taux de distorsion harmonique de cette norme. Les interharmoniques de basse fréquence sont inclus dans la définition fondamentale du niveau de tension et sont quelquefois appelés papillotement ou «flicker».

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 synchronize the inverter control logic with the actual speed of the motor after control is lost.

The synchronization is needed to match the output frequency of the inverter to the actual speed of the motor. The synchronization process determines the appropriate frequency and voltage that should be applied to the motor for smooth transition from coasting to control.

PDSs of the type that have a large capacitor bank can 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 to the capacitor bank during the voltage dip. PDSs with adapted control may be able to 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 PDS should be discussed with the manufacturer to determine if the PDS is compatible with process needs.

B.4.1.2.3 *General protections*

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 back-up power supply. For example, this can be a UPS, external to the PDS, or a d.c. source (battery) supplying the d.c. link of a voltage source inverter.

Ridethrough sequence is a technique which uses the possibilities of the command to avoid transient overcurrent, but without back-up energy. Therefore, the speed of a passive load will necessarily decrease with a rate approximately given by the ratio load torque to 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 ridethrough 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.4.2 *Interharmonics as source of voltage fluctuation*

Interharmonic frequencies on the mains supply, that are not multiples of the main frequency, can produce voltage fluctuations if they are at low-frequencies. Interharmonics can be divided up into two regions, below and above the mains frequency. The higher frequency interharmonics are included in the total harmonic distortion specification of this standard. The lower frequency interharmonics are included in the basic voltage level specification and are sometimes referred to as flicker.

B.4.2.1 *Interharmoniques de haute fréquence*

La source de ces interharmoniques de haute fréquence peut être la commutation haute fréquence côté charge du convertisseur du PDS. Les exemples de ces types de sources sont les courants haute fréquence causés par le bruit du collecteur dans les machines à courant continu, par l'ondulation de tension sur le bus de l'onduleur, et par la fréquence fondamentale de la MLI des convertisseurs auto-commutés à faible émission harmonique en basse fréquence. Heureusement ils sont, soit de faible amplitude, soit fortement filtrés par le constructeur de l'entraînement. Il faut noter l'éventualité de ces fréquences qui peuvent affecter le fonctionnement des batteries de condensateurs de correction du facteur de puissance, ainsi que celui des filtres harmoniques.

B.4.2.2 *Interharmoniques de basse fréquence*

Les interharmoniques de basse fréquence sont les changements périodiques de la tension du réseau qui se produisent avec une fréquence inférieure à celle du réseau. Les creux de tension, comme vu précédemment, sont similaires, mais surviennent d'une manière plus aléatoire que périodique. Le flicker provoqué par les fours à arc ou par d'autres charges fluctuantes est une catégorie particulière en raison de sa sévérité et de sa nature aléatoire.

Les PDS entraînant des 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. L'impédance de source du réseau alimentant cet entraînement doit être évalué de sorte que la variation de tension ne dépasse pas la tolérance de 10 %. Pour dimensionner l'impédance du réseau, il est souhaitable de prendre en compte les pointes de charge qui en moyenne ne dépassent pas le calibre du réseau d'alimentation, mais qui produisent des variations de tension qui dépassent la tolérance. Sur le réseau public, la fluctuation de tension d'un appareil n'est pas supposée dépasser 3 %. Si les fluctuations sont fréquentes, les limites de papillotement (« flicker ») doivent être appliquées au réseau public et à tout réseau qui alimente une charge d'éclairage (voir 6.1.3).

B.4.2.1 *High-frequency interharmonics*

The source of these high-frequency interharmonics can be from high-frequency switching in the load of the converter of the PDS. Examples of these types of sources are high-frequency currents caused by the commutator ripple in d.c. machines, by the voltage ripple on the d.c. bus of an inverter, or by the basic PWM frequency of low harmonic self-commutated converters. Fortunately they are either small in amplitude or heavily filtered by the manufacturer of the PDS. It should be noted that these frequencies can be present and can affect power factor correction capacitor banks and harmonic filters.

B.4.2.2 *Low-frequency interharmonics*

Low-frequency interharmonics are periodic changes in the mains voltage that occur at a low-frequency below that of the mains frequency. Voltage dips as discussed above, are similar, but occur in a random, rather than periodic manner. Voltage flicker caused by arc furnaces or other pulsed loads is in a class by itself because of its severity and random nature.

PDSs 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 PDSs should be sized such 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 have to be applied to the public network and to any network which supplies a lighting load (see 6.1.3).

Annexe C (informative)

Compensation de puissance réactive – filtrage

C.1 Installation

Un utilisateur, alimenté par un réseau de distribution, a généralement plusieurs appareils, équipements ou systèmes reliés au même PCC. On appelle «installation» les appareils, équipements ou systèmes, ainsi que leurs alimentations connectés finalement au même PCC.

De même, beaucoup d'appareils industriels comportent plus d'un entraînement.

Ainsi l'examen du facteur de puissance, de la puissance réactive et de l'émission harmonique d'un seul PDS n'est pas suffisante et peut entraîner des difficultés techniques inutiles. En réalité la solution dont on a besoin, est une solution pour l'installation. L'installation contient plusieurs charges différentes.

C.1.1 Pratique usuelle

En régime permanent, en tout point d'un réseau alternatif triphasé, la tension phase-neutre et le courant de ligne sont des quantités périodiques, de période T , et de fréquence $f = 1/T$. La tension et le courant sont rarement sans déphasage et comportent des harmoniques, qui déforment les formes d'ondes sinusoïdales pures. Cependant, l'énergie électrique est distribuée au moyen de sources de tension, de sorte qu'en tout point d'un réseau d'alimentation (pour un convertisseur ou une installation industrielle) la forme d'onde du courant est plus déformée que celle de la tension. Donc, pour le calcul de la puissance active et réactive, il est raisonnable de supposer qu'en tout point du réseau, la tension simple est une onde sinusoïdale pure de valeur efficace V . Le calcul de la puissance active P par phase est défini par:

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T v(t) \cdot i(t) \cdot dt$$

qui peut être simplifié et donne:

$$P = V \cdot I_1 \cdot \cos(\varphi_1)$$

où

I_1 est la valeur efficace de la composante fondamentale du courant de ligne;

φ_1 est le déphasage entre la composante fondamentale du courant et la tension phase-neutre.

Par convention P est positif quand le courant est déphasé de moins de $\pi/2$ par rapport à la tension (la tension en volts et le courant en ampères donnent la puissance en watts). Avec les mêmes hypothèses, la puissance réactive Q exprimée en voltampères réactifs [var] est définie par:

$$Q = V \cdot I_1 \cdot \sin(\varphi_1)$$

Annex C (informative)

Reactive power compensation – filtering

C.1 Installation

A user of electricity, supplied by a distribution network, generally has several or many apparatuses finally connected at the same PCC. The apparatus, equipment or systems and their feeding systems which are connected at the PCC are collectively called the "installation".

In the same way, many industrial apparatuses include more than a single PDS.

A discussion of power factor, reactive power and harmonic emission of a single PDS is not sufficient, and may cause unnecessary technical difficulties. In reality the solution which is required is a solution for the installation. The installation contains many different loads.

C.1.1 Usual operation

Under steady state conditions at any point of a three-phase a.c. network, the line-to-neutral voltage and the line current are periodic quantities, of period T , and frequency $f = 1/T$. The voltage and current are rarely without phase shift, and they include harmonics which distort their pure sinusoidal waveforms. However, electrical energy is distributed by means of voltage sources, so at any point of a supply (supply of a converter or supply of an industrial installation), the current waveform is more distorted than the voltage waveform. Therefore, for calculation of active and reactive power, it is reasonable to assume that at any point of the network the voltage is a pure sinusoidal wave, whose root mean square value (line-to-neutral) equals V . Calculation of the active power P on a single-phase is defined by:

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T v(t) \cdot i(t) \cdot dt$$

which can be simplified and gives:

$$P = V \cdot I_1 \cdot \cos(\varphi_1)$$

with:

I_1 root mean square of the fundamental component of the line current

φ_1 phase shift between the fundamental component of the current and the line-to-neutral voltage.

P is conventionally positive when the current I has a phase shift less than $\pi/2$ relative to the voltage, (with voltage in volts, current in amps, gives the power in watts). With the same assumptions, the reactive power Q expressed in reactive volt amps [var] is defined by:

$$Q = V \cdot I_1 \cdot \sin(\varphi_1)$$

Cette quantité met en évidence les éléments réactifs tels qu'inductances et condensateurs dans l'installation industrielle. On dit que ces composants sont consommateurs de puissance réactive quand la quantité Q est positive (réactances), ou produisent de la puissance réactive quand la quantité Q est négative (condensateurs).

De même, la puissance apparente S (en voltampères [VA]) en un point du réseau est définie comme le produit des valeurs efficaces de la tension (phase-neutre) et du courant de ligne:

$$S = V \cdot I$$

Dans un réseau triphasé, la puissance active, la puissance réactive et la puissance apparente sont les sommes de la puissance correspondante sur chacune des phases, ce qui donne pour un réseau équilibré:

$$P = 3 V \cdot I_1 \cdot \cos(\varphi_1) = \sqrt{3} U \cdot I_1 \cdot \cos(\varphi_1)$$

$$Q = 3 V \cdot I_1 \cdot \sin(\varphi_1) = \sqrt{3} U \cdot I_1 \cdot \sin(\varphi_1)$$

$$S = 3 V \cdot I = \sqrt{3} U \cdot I$$

avec U , valeur efficace de la tension entre phases.

Le facteur de puissance λ est défini comme le rapport de la puissance active à la puissance apparente et est exprimé aussi bien en monophasé qu'en triphasé par l'équation suivante:

$$\lambda = \frac{P}{S} = \frac{I_1}{I} \cdot \cos(\varphi_1)$$

Cette équation fondamentale montre que le facteur de puissance dépend à la fois du facteur de déphasage et du résidu harmonique du courant.

En résumé, on pose l'hypothèse fondamentale selon laquelle la tension est considérée comme ayant une forme d'onde sinusoïdale pure, et selon laquelle le courant est déformé. Cette hypothèse est formulée pour le calcul de la puissance et pour tout ce qui en découle, tel que le facteur de puissance. Pour les autres calculs, tels que la contribution d'une charge au taux de distorsion harmonique de tension, il convient de prendre en compte l'impédance interne du réseau. La contribution à la déformation de tension en un point, due à cette charge peut être calculée à partir du courant déformé passant par ce point et de l'impédance interne vue de ce point.

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. Mais la pratique usuelle ne considérerait ce facteur de puissance que du point de vue de la puissance réactive, en fait on a vu ici que le résidu d'harmonique intervient également.

Usage courant

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.

Evolution de l'usage

Parce que c'est le facteur de puissance qui est concerné et à cause de la généralisation de l'utilisation de charges déformantes, la compensation harmonique devient aussi nécessaire.

This quantity shows evidence of reactive elements such as reactors or capacitors inside the industrial installation. It is said that those components are consumers of reactive power when the quantity Q is positive (reactors) or are producing reactive power when the quantity Q is negative (capacitors).

Similarly, the apparent power S (in volt amps [VA]) at a point of the network is defined as the product of the root mean square of voltage (line-to-neutral) and line current:

$$S = V \cdot I$$

On a three-phase network, the active power, the reactive power and the apparent power are the sums of the corresponding power on each phase, which gives for a balanced system:

$$P = 3 V \cdot I_1 \cdot \cos(\varphi_1) = \sqrt{3} U \cdot I_1 \cdot \cos(\varphi_1)$$

$$Q = 3 V \cdot I_1 \cdot \sin(\varphi_1) = \sqrt{3} U \cdot I_1 \cdot \sin(\varphi_1)$$

$$S = 3 V \cdot I = \sqrt{3} U \cdot I$$

with U , root mean square of the line-to-line voltage.

The power factor λ is defined as the ratio of the active power to the apparent power, and is expressed in single-phase, and three-phase as well with the following equation:

$$\lambda = \frac{P}{S} = \frac{I_1}{I} \cdot \cos(\varphi_1)$$

This fundamental equation shows that the power factor depends on both displacement factor and harmonic content of the current.

As a summary, the fundamental assumption which is stated is that the voltage is considered as a pure sinusoidal waveform and the current is distorted. This assumption is made for the calculation of power and all the consequences such as power factor. For other calculations, such as harmonic voltage distortion contribution of a load, the internal impedance of the network should be considered. The voltage distortion contribution of this load can be calculated from the distorted current flowing at this point, and the internal impedance seen from this point.

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; while in fact it has been seen here that harmonic content is also concerned.

Common practice

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 consumption of the reactive power of the installation. 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.

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

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.

Par cette introduction, on peut voir que deux types de compensation 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 doivent être examinés, mais aucun n'est indépendant, si bien que ce problème doit être étudié plus en détail.

C.1.2 Compensation de puissance réactive

C.1.2.1 Critères généraux de compensation

La puissance de la batterie de condensateur qui doit être installée est fonction des besoins en puissance active et réactive du système, et aussi de leurs variations dans la journée (caractéristiques de charge en fonction du temps). Elle est aussi fonction de la politique de prix pratiquée par le distributeur d'énergie.

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 pendant un mois.

NOTE – Le concept d'énergie réactive utilisé dans cette section est défini comme l'intégrale dans le temps de la puissance réactive.

Pour le dimensionnement, il est nécessaire de connaître les critères d'utilisation:

- les périodes de forte charge du réseau dans la journée;
- les limites du taux de puissance réactive gratuit (par exemple $\tan \Phi$);
- les données utilisateur telles que la caractéristique de charge en fonction du temps.

On peut voir 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 on considère chaque entraînement isolément.

Par ailleurs, les condensateurs peuvent être installés, soit côté basse tension, soit sur la 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 vaut mieux préférer la solution BT.

S'il faut installer des condensateurs de correction de facteur de puissance avec des sources de courant harmonique, il est recommandé d'insérer des inductances en série, 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.1.2.4).

C.1.2.2 Application à la correction en basse tension

Selon les conditions locales, quatre types de correction peuvent être définis:

- la correction individuelle d'appareil;
- la correction par section;
- la correction globale;
- la correction combinée.

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 has to be discussed in more detail.

C.1.2 *Reactive power compensation*

C.1.2.1 *General compensation criteria*

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 utility.

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 this section is defined by the time integral of the reactive power.

For rating, it is necessary to know the utility criteria:

- heavy duty times in a day,
- limits of reactive power ratio free of charge (for example $\tan \Phi$),
- 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. This is not necessarily an advantage.

Such a study is of concern for a complete installation, and is almost impossible for each PDS.

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.1.2.4).

C.1.2.2 *Application to low-voltage correction*

According to local conditions, four types of correction can be defined:

- individual apparatus correction;
- section correction;
- global correction or combined correction;
- combined correction.

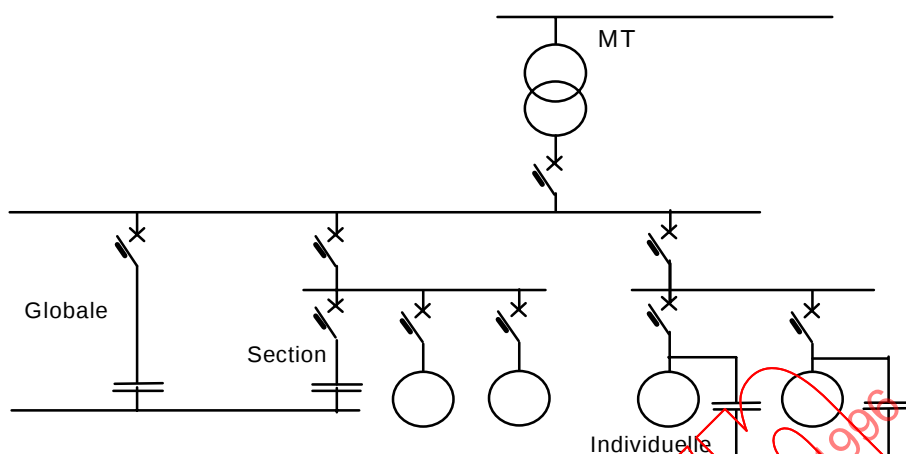


Figure C.1 – Compensation de puissance réactive

C.1.2.2.1 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'ils doivent fonctionner pendant la majorité des heures de pointe. Cela s'applique en particulier aux moteurs entraînant des machines de forte inertie, comme les ventilateurs. La manoeuvre 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.

a) Avantages

L'énergie réactive est produite directement au point où elle est consommée. Il en résulte une réduction du courant de charge réactif sur le 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.

b) Inconvénients

Pour les petits consommateurs, la compensation individuelle est relativement coûteuse, car plusieurs petits condensateurs sont plus chers qu'une seule batterie. Quand les condensateurs sont enclenchés, ils élèvent localement la tension du réseau de l'usine. Il semblerait ainsi nécessaire de pouvoir les déconnecter pendant des périodes de faible charge du réseau public (tension haute), dans le but de réduire la tension. En effet, une tension élevée entraîne un risque de contraintes excessives sur l'équipement, causant ainsi un vieillissement prématuré. En conséquence, les condensateurs doivent être connectés au réseau, si possible au moyen de leur propre contacteur. Mais plus important encore, leur multiplication dans un réseau industriel augmente les risques de résonances. Tous ces facteurs réduisent considérablement les avantages potentiels de la compensation individuelle.

C.1.2.2.2 Compensation par section

Dans le cas de compensation par section, une seule batterie de condensateurs, actionnée au moyen de son contacteur propre, compense un groupe de postes consommateurs d'énergie réactive situé dans un atelier ou dans une section.

a) Avantages

La compensation par section a l'avantage de nécessiter moins d'investissements que la compensation individuelle. Cependant, les courbes de charge devraient être connues bien à l'avance pour permettre le dimensionnement correct des condensateurs et pour éviter les risques de surcompensation (quand la puissance réactive fournie est plus grande que nécessaire), ce qui produit des surtensions permanentes, conduisant à des

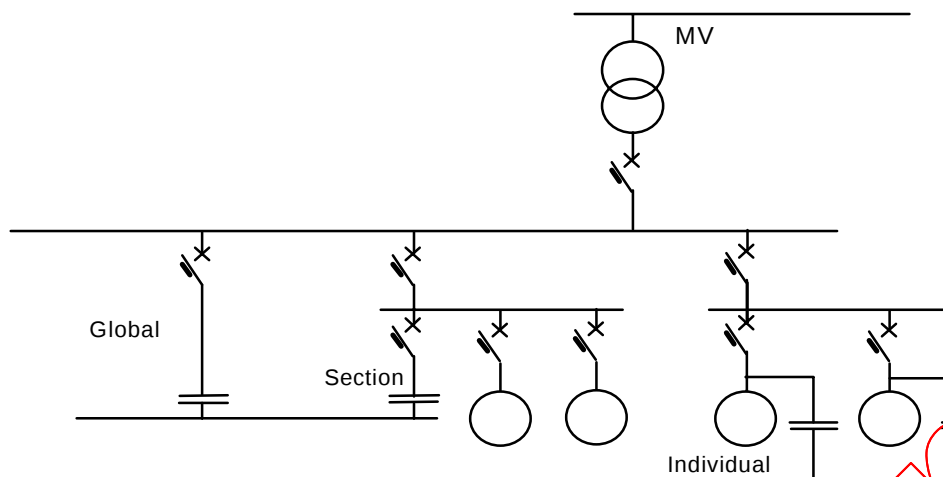


Figure C.1 – Reactive power compensation

C.1.2.2.1 *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.

a) *Advantages*

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 losses and drops in the conductors.

b) *Disadvantages*

With small consumers, individual compensation is relatively costly, as several small capacitors are 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 in the public network (high-voltage) 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 must consequently be connected, if possible, to the network by means of their own switchgear. But more important is that the multiplication 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.1.2.2.2 *Compensation by section*

In the case of compensation by area, 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*

Compensation by area has the advantage of requiring 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

vieillissements prématurés. La batterie de condensateurs a son propre contacteur, ce qui facilite sa mise hors tension pendant les périodes de faible charge sur le réseau public, alors que les consommateurs de puissance correspondants restent connectés.

b) *Inconvénients*

Les câbles d'alimentation des divers consommateurs de puissance doivent être dimensionnés pour supporter à la fois les courants actifs et réactifs. En outre, il faudra prendre des dispositions pour assurer la protection des condensateurs (par des fusibles, disjoncteurs, etc.) et leur décharge sur résistances, pour assurer la sécurité pendant les opérations de maintenance. Il est aussi souhaitable de contrôler l'état des fusibles correspondants.

C.1.2.2.3 *Compensation globale*

Dans le cas de compensation globale, la production d'énergie réactive est concentrée en un point unique, le plus fréquemment dans la sous-station, ou dans une zone qui est suffisamment grande et bien aérée. Dans des installations qui ne comportent que des postes de faible consommation, 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 surveiller. En outre, avec la compensation automatique par la batterie de condensateurs, la courbe de charge de l'usine peut être suivie efficacement, tout en évitant l'intervention manuelle (c'est-à-dire l'enclenchement et le déclenchement manuel). Cette solution est avantageuse d'un point de vue économique si les variations de charge ne sont pas imputables à des consommateurs spécifiques.

b) *Inconvénients*

L'installation en aval du raccordement du compensateur global consomme toute la puissance réactive.

C.1.2.2.4 *Compensation combinée*

Avec la compensation combinée, les postes grands consommateurs de puissance dans l'installation qui fonctionnent sur des périodes longues sont compensés individuellement, tandis que les autres sont compensés par section ou sur une base globale. Ce principe est avantageux dans des fonctionnements qui impliquent de petits et grands consommateurs de puissance, puisque chaque ensemble peut être compensé de façon optimale.

C.1.2.3 *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 bus moyenne tension par un disjoncteur. Leur puissance peut atteindre plusieurs mégavars (Mvar), et elles peuvent être divisées en sections plus petites qui sont mises en route successivement pour obtenir une compensation optimale en fonction de la courbe de charge quotidienne. Chaque section est alimentée par son propre interrupteur.

a) *Avantages*

Quand les batteries de condensateurs ont une puissance supérieure à 600 kvar, le coût de compensation en moyenne tension est inférieur à celui en basse tension.

b) *Inconvénients*

Cette méthode de compensation ne fournit aucun allègement à la partie du réseau qui est située en aval des condensateurs. La mise sous tension de la batterie de condensateurs provoque des pointes de tension. Le fonctionnement est plus délicat qu'avec des condensateurs en basse tension.