

**RAPPORT
TECHNIQUE
TECHNICAL
REPORT**

**CEI
IEC
1000-2-1**

Première édition
First edition
1990-05

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

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



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 1000-2-1: 1990

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.

**RAPPORT
TECHNIQUE
TECHNICAL
REPORT**

**CEI
IEC
1000-2-1**

Première édition
First edition
1990-05

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

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

© CEI 1990 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

T

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

SOMMAIRE

	Pages
AVANT-PROPOS	4
INTRODUCTION	6
Articles	
1 Domaine d'application	8
2 Références normatives	8
3 Définitions	10
4 Nécessité de spécifier des niveaux de compatibilité électromagnétique	12
5 Harmoniques	14
6 Interharmoniques	20
7 Fluctuations de tension	26
8 Creux de tension et coupures brèves	30
9 Déséquilibre de tension	34
10 Transmission de signaux sur le réseau	36
11 Variation de fréquence de l'alimentation	40
12 Composantes continues (A l'étude)	42
Figures	44

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
INTRODUCTION	7
Clause	
1 Scope	9
2 Normative references	9
3 Definitions	11
4 Purpose of specifying electromagnetic compatibility levels	13
5 Harmonics	15
6 Interharmonics	21
7 Voltage fluctuations	27
8 Voltage dips and short supply interruptions	31
9 Voltage unbalance	35
10 Mains signalling	37
11 Power frequency variation	41
12 D.C. components (Under consideration)	43
Figures	44

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

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

AVANT-PROPOS

- 1) Les décisions ou accords officiels de la CEI en ce qui concerne les questions techniques, préparés par des Comités d'Etudes où sont représentés tous les Comités nationaux s'intéressant à ces questions, expriment dans la plus grande mesure possible un accord international sur les sujets examinés.
- 2) Ces décisions constituent des recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux.
- 3) Dans le but d'encourager l'unification internationale, la CEI exprime le vœu que tous les Comités nationaux adoptent dans leurs règles nationales le texte de la recommandation de la CEI, dans la mesure où les conditions nationales le permettent. Toute divergence entre la recommandation de la CEI et la Règle nationale correspondante doit, dans la mesure du possible, être indiquée en termes clairs dans cette dernière.

La présente section de la CEI 1000-2, qui a le statut de rapport technique, a été établie par le Comité d'Etudes n° 77: Compatibilité électromagnétique entre les matériels électriques y compris les réseaux.

Le texte de cette section est issu des documents suivants:

Règle des Six Mois	Rapport de vote	Procédure des Deux Mois	Rapport de vote
77(BC)26	77(BC)30	77(BC)32	77(BC)34

Les rapports de vote indiqués dans le tableau ci-dessus donnent toute information sur les votes ayant abouti à l'approbation de cette section.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION**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****FOREWORD**

- 1) The formal decisions or agreements of the IEC on technical matters, prepared by Technical Committees on which all the National Committees having a special interest therein are represented, express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the subjects dealt with.
- 2) They have the form of recommendations for international use and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 3) In order to promote international unification, the IEC expresses the wish that all National Committees should adopt the text of the IEC recommendation for their national rules in so far as national conditions will permit. Any divergence between the IEC recommendation and the corresponding national rules should, as far as possible, be clearly indicated in the latter.

This section of IEC 1000-2, which has the status of a technical report, has been prepared by IEC Technical Committee No. 77: Electromagnetic compatibility between electrical equipment including networks.

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

Six Months' Rule	Report on Voting	Two Months' Procedure	Report on Voting
77(CO)26	77(CO)30	77(CO)32	77(CO)34

Full information on the voting for the approval of this section can be found in the Voting Reports indicated in the above table.

INTRODUCTION

La CEI 1000 est publiée sous forme de plusieurs parties conformément à la structure suivante:

Partie 1: Généralités

Considérations générales (introduction, principes fondamentaux)
Définitions, terminologie

Partie 2: Environnement

Description de l'environnement
Classification de l'environnement
Niveaux de compatibilité

Partie 3: Limites

Limites d'émission
Limites d'immunité (dans la mesure où elles ne relèvent pas des comités de produits)

Partie 4: Techniques d'essai et de mesure

Techniques de mesure
Techniques d'essai

Partie 5: Guides d'installation et d'atténuation

Guides d'installation
Méthodes et dispositifs d'atténuation

Partie 9: Divers

Chaque partie est à son tour subdivisée en sections qui seront publiées soit comme Normes internationales, soit comme Rapports techniques.

Ces normes et rapports seront publiés chronologiquement et numérotés en conséquence.

La présente section est un Rapport technique destiné à servir de document de référence pour celles des parties de la CEI 1000 qui indiquent des valeurs de niveau de compatibilité, par exemple la CEI 1000-2-2.

INTRODUCTION

IEC 1000 is published in separate parts according to the following structure:

Part 1: General

- General considerations (introduction, fundamental principles)
- Definitions, terminology

Part 2: Environment

- Description of the environment
- Classification of the environment
- Compatibility levels

Part 3: Limits

- Emission limits
- Immunity limits (in so far as they do not fall under the responsibility of the product committees)

Part 4: Testing and measurement techniques

- Measurement techniques
- Testing techniques

Part 5: Installation and mitigation guidelines

- Installation guidelines
- Mitigation methods and devices

Part 9: Miscellaneous

Each part is further subdivided into sections which can be published either as International Standards or Technical reports.

These standards and reports will be published in chronological order and numbered accordingly.

This section is a Technical Report serving as a reference document for those associated parts of IEC 1000 that give values of compatibility level, for example IEC 1000-2-2.

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

1 Domaine d'application

La présente section de la CEI 1000-2 traite des perturbations conduites dans la gamme de fréquence qui s'étend jusqu'à 10 kHz. Cette gamme est élargie pour les systèmes de transmission de signaux sur le réseau. D'autres sections donnent des valeurs numériques de niveaux de compatibilité selon les niveaux de tension des réseaux.

Cette section ne traite pas de l'application des niveaux de compatibilité pour déterminer, par exemple les niveaux tolérables de perturbations que pourraient produire certains appareils ou installations. En effet, il faut alors aussi prendre en compte d'autres paramètres du réseau, comme son impédance en fonction de la fréquence. Par ailleurs, elle ne préjuge pas de la spécification des niveaux d'immunité qui seront établis par les comités de produits. Il s'agit simplement de leur fournir un guide.

Les phénomènes de perturbations considérés sont:

- les harmoniques;
- les interharmoniques;
- les fluctuations de tension;
- les creux de tension et les coupures brèves;
- les déséquilibres de tension;
- la transmission de signaux sur le réseau;
- les variations de fréquence de l'alimentation;
- les composantes continues.

L'objet de cette section est de donner des informations sur les divers types de perturbations que l'on peut s'attendre à trouver sur des réseaux publics d'alimentation. Elle sert de document de référence aux autres parties de la publication qui donnent des valeurs de niveau de compatibilité.

2 Références normatives

Les normes suivantes contiennent des dispositions qui, par suite de la référence qui y est faite, constituent des dispositions valables pour la présente section de la CEI 1000-2. Au moment de la publication, les éditions indiquées étaient en vigueur. Toute norme est sujette à révision et les parties prenantes aux accords fondés sur la présente section de la CEI 1000-2 sont invitées à rechercher la possibilité d'appliquer les éditions les plus récentes des normes indiquées ci-après. Les membres de la CEI et de l'ISO possèdent le registre des Normes internationales actuellement en vigueur.

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

1 Scope

This section of IEC 1000-2 is concerned with conducted disturbances in the frequency range up to 10 kHz with an extension for mains signalling systems. Separate sections give numerical compatibility levels for different system voltage levels.

This section does not deal with the application of compatibility levels to assess, for example, the permissible interference emission from specific items of equipment or installations, because other system parameters, such as its impedance as a function of frequency, have also to be considered. Furthermore, it does not prejudge the specification of immunity levels by the product committees but merely provides a guide.

The disturbance phenomena considered are:

- harmonics;
- inter-harmonics;
- voltage fluctuations;
- voltage dips and short supply interruptions;
- voltage unbalance;
- mains signalling;
- power frequency variation;
- d.c. components.

The object of this section is to give information on the various types of disturbances that can be expected on public power supply systems. It is a reference document for those associated parts that give values of compatibility level.

2 Normative references

The following standards contain provisions which, through reference in this text, constitute provisions of this section of IEC 1000-2. At the time of publication, the editions indicated were valid. All standards are subject to revision, and parties to agreements based on this section of IEC 1000-2 are encouraged to investigate the possibility of applying the most recent editions of the standards indicated below. Members of IEC and ISO maintain registers of currently valid international standards.

CEI 38: 1983, *Tensions normales de la CEI*.

CEI 50(161): 1990, *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) - Chapitre 161: Compatibilité Electromagnétique*. (En préparation.)

CEI 146: 1985, *Convertisseurs à semiconducteurs. Deuxième impression 1985 incorporant: Complément 146A (1974) et Modification n° 1 (1975)*.

CEI 555-3: 1982, *Perturbations produites dans les réseaux d'alimentation par les appareils électrodomestiques et les équipements analogues. Troisième partie: Fluctuations de tension*.

CEI 868: 1986, *Flickermètre. Spécifications fonctionnelles et de conception*.

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 basse tension*.

3 Définitions

Les définitions sont issues de la CEI 50(161): *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) - chapitre 161: Compatibilité Électromagnétique*.

Les définitions de base retenues sont:

3.1 Compatibilité électromagnétique; CEM (abréviation) (VEI 161-01-07)

Aptitude d'un appareil ou d'un système à fonctionner dans son environnement électromagnétique, de façon satisfaisante et sans produire lui-même des perturbations électromagnétiques intolérables pour tout ce qui se trouve dans cet environnement.

3.2 Niveau de compatibilité (électromagnétique) (VEI 161-03-10)

Niveau maximal spécifié des perturbations électromagnétiques auquel on peut s'attendre que soit soumis un dispositif, appareil ou système fonctionnant dans des conditions particulières.

NOTE - En pratique le niveau de compatibilité électromagnétique n'est pas un niveau maximal absolu mais peut être dépassé avec une faible probabilité.

3.3 Perturbation (électromagnétique) (VEI 161-01-05)

Phénomène électromagnétique susceptible de créer des troubles de fonctionnement d'un dispositif, d'un appareil ou d'un système, ou d'affecter défavorablement la matière vivante ou inerte.

NOTE - Une perturbation électromagnétique peut être un bruit, un signal non désiré ou une modification du milieu de propagation lui-même.

3.4 Niveau de perturbation (non défini dans le VEI 161)

Valeur d'une perturbation électromagnétique de forme donnée, mesurée dans des conditions spécifiées.

IEC 38: 1983, *IEC standard voltages*.

IEC 50(161): 1990, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV), Chapter 161: Electromagnetic Compatibility*. (Under consideration.)

IEC 146: 1985, *Semiconductor convertors. Second impression 1985 incorporating: Supplement 146A (1974) and Amendment No. 1 (1975)*.

IEC 555-3: 1982, *Disturbances in supply systems caused by household appliances and similar electrical equipment. Part 3: Voltage fluctuations*.

IEC 868: 1986, *Flickermeter. Functional and design specifications*.

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*.

3 Definitions

The definitions are taken from IEC 50(161): International Electrotechnical Vocabulary (IEV), Chapter 161: Electromagnetic compatibility.

The relevant basic definitions are:

3.1 *Electromagnetic compatibility; EMC (abbreviation) (IEV 161-01-07)*

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

3.2 *(Electromagnetic) compatibility level (IEV 161-03-10)*

The specified maximum electromagnetic disturbance level expected to be impressed on a device, equipment or system operated in particular conditions.

NOTE - In practice the electromagnetic compatibility level is not an absolute maximum level, but may be exceeded with a small probability.

3.3 *Electromagnetic disturbance (IEV 161-01-05)*

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

NOTE - An electromagnetic disturbance may be an electromagnetic noise, an unwanted signal or a change in the propagation medium itself.

3.4 *Disturbance level (not defined in IEC 161)*

The value of a given electromagnetic disturbance, measured in a specified way.

3.5 Limite de perturbation (VEI 161-03-08)

Niveau maximal admissible des perturbations électromagnétiques mesuré dans des conditions spécifiées.

3.6 Niveau d'immunité (VEI 161-03-14)

Niveau maximal d'une perturbation électromagnétique de forme donnée agissant sur un dispositif, appareil ou système particulier, pour lequel celui-ci demeure capable de fonctionner avec la qualité voulue.

3.7 Susceptibilité (électromagnétique) (VEI 161-01-21)

Inaptitude d'un dispositif, d'un appareil ou d'un système à fonctionner sans dégradation de qualité en présence d'une perturbation électromagnétique.

NOTE - La susceptibilité est un manque d'immunité.

4 Nécessité de spécifier des niveaux de compatibilité électromagnétique

NOTE - Une interprétation des définitions de base pour leur application pratique dans le cadre de la CEI est en préparation. On utilise dans cet article les principaux résultats déjà obtenus.

De par sa définition, on conçoit que le niveau de compatibilité électromagnétique est une valeur de référence permettant de coordonner le niveau de perturbation existant dans le réseau au niveau d'immunité de différents types d'appareils.

Pour des raisons de commodité, la «limite de perturbation» est le niveau maximal de perturbation qui apparaît avec une certaine probabilité dans l'environnement électromagnétique d'un dispositif, appareil ou système. C'est la valeur de référence à laquelle les autres niveaux doivent se rapporter de façon à éviter l'apparition de défauts.

Dans certains cas, ce niveau de perturbation maximal résulte de l'effet de superposition de plusieurs sources (par exemple pour les harmoniques); dans d'autres cas, il résulte de l'effet d'une seule source (par exemple pour les creux de tension non répétitifs).

Il faut souligner que, généralement, le niveau de perturbation n'est pas une valeur unique mais qu'il varie selon son emplacement et en fonction du temps. En pratique, il faut considérer la notion de distribution statistique de la perturbation.

Le niveau de perturbation maximal peut être déduit de mesures effectives en réseau ou, éventuellement, d'études théoriques.

En raison de la très grande diversité des niveaux de perturbation, il est souvent très difficile, voire même impossible, de déterminer le niveau réel maximal d'une perturbation car elle peut n'apparaître que très rarement. En outre, il n'est généralement pas économique de choisir comme niveau de compatibilité ce niveau maximal, la plupart des dispositifs n'y étant soumis que très rarement.

En conséquence, il paraît plus opportun de définir le niveau de compatibilité non pas en tant que «valeur maximale» d'une perturbation mais en tant que niveau de perturbation qui ne serait dépassé qu'un nombre réduit ou même très réduit de fois. L'objectif est que le niveau de compatibilité couvre au moins 95% des cas ou une valeur de cet ordre.

3.5 *Limit of disturbance (IEV 161-03-08)*

The maximum permissible electromagnetic disturbance level, as measured in a specified way.

3.6 *Immunity level (IEV 161-03-14)*

The maximum level of a given electromagnetic disturbance incident on a particular device, equipment or system for which it remains capable of operating at a required degree of performance.

3.7 *(Electromagnetic) susceptibility (IEV 161-01-21)*

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

NOTE - Susceptibility is a lack of immunity.

4 Purpose of specifying electromagnetic compatibility levels

NOTE - An interpretation of the basic definitions for practical application in IEC is in preparation. The main results are considered in this clause.

From the definition of electromagnetic compatibility level it can be seen that it is a reference value by means of which the disturbance level on the system and the immunity level for various equipment types can be coordinated.

For practical purposes the "limit of disturbance" is the maximum disturbance level appearing with a certain probability in the electromagnetic environment of a device, equipment or system. This is the reference value to which the other levels have to be related, in order to avoid causing interference.

In some cases, this maximum disturbance level is the result of the superposition of several sources (e.g. harmonics), in other cases it is produced by a single source (e.g. non-repetitive voltage dip).

It must be emphasized that in general, the disturbance level is not a single value, but varies with position and time. In practice, the statistical distribution of the disturbance must be considered.

The maximum disturbance level may be derived from actual network measurements or, possibly, theoretical study.

Because of this variability of the disturbance level, it is often very difficult or even impossible to determine the actual highest level of disturbance which may appear very infrequently. It is also generally not economical to define the compatibility level in terms of this highest value to which most devices would not be exposed most of the time.

It therefore seems appropriate to define the compatibility level not as the "maximum value" of a disturbance but as the level of the disturbance that would be exceeded in only a small or very small number of cases - the aim being for the compatibility level to cover at least 95 % or so of situations.

Le niveau d'immunité d'un appareil doit être supérieur ou égal au niveau de compatibilité.

Ce niveau d'immunité doit être vérifié par un essai approprié. La détermination de cette valeur et la procédure de la mesure relèvent de la responsabilité du Comité Technique concerné (ou font l'objet d'un accord entre les parties concernées).

Le niveau de susceptibilité d'un appareil est le niveau de perturbation auquel la fonction de l'appareil sera affectée. Il sera supérieur ou égal au niveau d'immunité fixé pour les essais.

Il convient que le constructeur fixe le niveau de susceptibilité en tenant compte des conditions de fonctionnement prévues et de la limite d'immunité spécifiées. Il pourra être nécessaire de considérer le niveau de susceptibilité en termes statistiques.

Le niveau de compatibilité doit servir de valeur de référence pour un fonctionnement sans problème, en particulier pour les réseaux publics d'alimentation auxquels sont raccordés des appareils de consommateurs indépendants l'un de l'autre.

La figure 1 illustre la relation entre les différents niveaux de perturbations faisant intervenir les considérations statistiques.

Pour les réseaux spécialisés ou indépendants n'alimentant, par exemple, qu'un appareil d'un certain type d'un seul consommateur, d'autres niveaux de compatibilité pourront être choisis.

5 Harmoniques

5.1 Description du phénomène

Les harmoniques sont des tensions ou des courants sinusoïdaux dont les fréquences sont des multiples entiers de la fréquence pour lequel le réseau est construit (50 Hz ou 60 Hz).

Les perturbations harmoniques sont généralement créées par des appareils munis de dispositifs à caractéristique courant/tension non linéaire. Ces appareils peuvent être considérés comme des sources de courants harmoniques.

Les courants harmoniques produits par les différentes sources provoquent des chutes de tension harmonique sur les impédances du réseau. Ce phénomène est représenté sur la figure 2 de façon simplifiée. En réalité, les différents courants harmoniques s'ajoutent vectoriellement.

Par suite du raccordement de charges capacitatives (par exemple des condensateurs de correction du facteur de puissance) et de l'effet capacitif des câbles, des résonances série ou parallèle peuvent se produire sur le réseau et provoquer des amplifications de la tension harmonique même en des points éloignés de la charge perturbatrice.

5.2 Sources d'harmoniques

Les courants harmoniques sont produits dans de faibles proportions et avec de faibles niveaux de distorsion par les appareils de production, de transport et de distribution d'électricité. Ce sont les charges domestiques et industrielles qui provoquent la plus grande proportion des courants harmoniques avec des niveaux de distorsion relativement

The immunity level of equipment should be equal to the compatibility level or higher.

The immunity level has to be checked by an appropriate test. Determining its value and the test procedure is the responsibility of a relevant Technical Committee (or is subject to agreement between the parties involved).

The susceptibility level of equipment is the level of disturbance which would disturb the function of the equipment. It should be equal to, or higher than, the immunity level fixed for the tests.

The susceptibility level should be fixed by the manufacturer taking into account anticipated service conditions and the specified immunity limit. The susceptibility level may require consideration in statistical terms.

The compatibility level is intended to serve as a reference value for trouble-free operation, in particular for public power supply systems to which items of equipment are connected by independent consumers not normally in contact with each other.

The relation between the different levels of disturbance taking into account the statistical features is illustrated by figure 1.

In dedicated or independent systems, servicing for example only one customer's equipment of a particular kind, other compatibility levels may be agreed.

5 Harmonics

5.1 *Description of the phenomenon*

Harmonics are sinusoidal voltages or currents having frequencies that are whole multiples of the frequency at which the supply system is designed to operate (e.g. 50 Hz or 60 Hz).

Harmonic disturbances are generally caused by equipment with a non-linear voltage/current characteristic. Such equipment may be regarded as current sources of harmonics.

The harmonic current from the different sources produces harmonic voltage drops across the impedance of the network. This phenomenon is represented in figure 2 in a simplified way. In reality, the different harmonic currents add vectorially.

As a result of the connection of reactive loads (e.g. power factor correction capacitors) and the effect of cable capacitance, shunt and series resonance may occur in the network and cause a voltage magnification even at a point remote from the distorting load.

5.2 *Sources of harmonics*

Harmonic currents are generated to a small extent and at low distortion levels by generation, transmission and distribution equipment and to a larger extent, at relatively large distortion levels, by industrial and domestic loads. Normally there are only a few

élevés. Normalement, il n'y a que quelques sources, dans un réseau, qui produisent des courants harmoniques notables; l'apport individuel d'harmoniques de la majorité des autres appareils est faible.

Les sources suivantes produisent des courants harmoniques notables dans un réseau:

- appareils à contrôle de phase et de puissance élevée;
- redresseurs non commandés, notamment ceux avec lissage capacitif (par ex. dans les récepteurs de télévision, les convertisseurs de fréquence, les lampes à ballast intégré), parce que ces harmoniques sont en phase les uns par rapport aux autres et qu'il n'y a pas de compensation dans le réseau.

Les sources d'harmoniques peuvent avoir un niveau constant ou variable selon leur mode de fonctionnement.

5.2.1 Appareils de production, transport et distribution

Cette catégorie couvre les appareils utilisés par les distributeurs pour fournir de l'électricité, en particulier les alternateurs, les transformateurs et plus récemment, bien que sur une échelle plus réduite, des appareils comme les compensateurs statiques et les convertisseurs de fréquence.

Comme le concepteur d'un alternateur ne peut pas obtenir une onde purement sinusoïdale, les machines tournantes sont en général source d'harmoniques. Cependant leur amplitude est normalement rendue négligeable par un choix judicieux du nombre d'encoches par pôle, de la répartition des bobinages, etc. Cela permet d'obtenir une onde quasi sinusoïdale. Cependant, un fonctionnement déséquilibré peut provoquer la production d'harmoniques de rang trois et au-delà.

La distorsion apportée par les transformateurs est provoquée par la saturation du fer du circuit magnétique.

5.2.2 Charges industrielles

Parmi les charges industrielles qui peuvent être source de niveaux notables de distorsion harmonique, on trouve les convertisseurs de puissance (redresseurs), les fours à induction, les fours à arc, etc.

Les appareils munis d'électronique de puissance peuvent représenter une part importante des niveaux de perturbation en réseau. L'utilisation de ce type d'appareils croît tant en nombre qu'en puissance unitaire.

En théorie, les courants harmoniques caractéristiques produits par des convertisseurs de puissance sont de rang:

$$n = p \times m \pm 1$$

où

- n est le rang harmonique;
- p est l'indice de pulsation du convertisseur;
- m est un nombre entier (1, 2, 3, ...).

sources generating significant harmonic currents in a network; the individual harmonic power rate of the majority of the other devices is low.

The following sources generate significant harmonic currents in a network:

- equipment with phase-control and high power;
- uncontrolled rectifiers, especially with capacitive smoothing (e.g. used in televisions, frequency converters, and self-ballasted lamps), because these harmonics are in phase to each other and there is no compensation in the network.

Sources may produce harmonics at a constant or varying level, depending on the method of operation.

5.2.1 *Generation, transmission and distribution equipment*

This category covers equipment used by utilities to supply electricity, especially generators, transformers and more recently, though to a limited extent, equipment like static compensators and frequency converters.

Since it is impossible for the designer of a generator to obtain a pure sine wave, rotating machines generally represent a source of harmonics. However the magnitude of these harmonics is normally negligible as proper selection of slots per pole, coil pitches etc. ensures that almost sinusoidal generated waveshape can be obtained. However, unbalanced operation will result in the generation of third and higher harmonics.

Distortion from transformers is caused by the saturation of iron in the magnetic circuit of the transformer coil.

5.2.2 *Industrial loads*

Industrial loads which may be a source of significant levels of harmonic distortion include power converters (rectifiers), induction furnaces, arc furnaces etc.

Electronic power equipment may have a significant influence on the level of disturbance of networks. The use of this type of equipment is increasing in terms of numbers and the unit ratings involved.

According to theory, the characteristic harmonic current of power converters will be of the order:

$$n = p \times m \pm 1$$

where

- n is the harmonic order;
- p is the pulse number of the converter;
- m is any integer (1, 2, 3 ...).

Toutefois, dans la pratique, il est produit aussi des harmoniques non caractéristiques. Cela est dû aux imprécisions des valeurs des angles d'allumage, au déséquilibre des tensions d'alimentation et à toute cause susceptible d'affecter l'équilibre du pont. On peut par exemple mesurer des courants harmoniques 5 et 7 dans l'alimentation d'un pont dodécaphasé.

En théorie, la loi de décroissance de l'amplitude des courants d'un redresseur à commutation instantanée est donnée par:

$$I_n = I_1/n$$

où

I_n est le courant harmonique de rang n ;

I_1 est l'amplitude du courant fondamental.

En réalité, les redresseurs ne commutent pas instantanément et la forme d'onde du courant n'est pas purement rectangulaire.

L'amplitude des courants harmoniques dépend de l'angle d'allumage et de la chute de tension inductive due aux inductances d'alimentation. L'amplitude des courants harmoniques de phase appelés par des redresseurs peut être exprimée approximativement à l'aide de la loi suivante:

$$I_n = I_1 / (n - 5/n)^{1,2} \quad \text{pour } 5 \leq n \leq 31$$

où n est le rang de l'harmonique.

Cela s'applique lorsqu'il y a un bon lissage du courant continu; sinon, le niveau de l'harmonique 5 peut être plus élevé.

La CEI 146 donne des valeurs plus précises sur l'amplitude des courants harmoniques, faisant intervenir l'angle de retard à l'allumage et la chute de tension inductive.

Les fours à arc peuvent être représentés comme des générateurs de courants harmoniques ayant une impédance interne constituée d'une inductance et d'une résistance d'amortissement. Le spectre de courant est constitué d'un spectre discret qui se superpose à un spectre continu.

5.2.3 Charges domestiques

Les charges domestiques ont des puissances unitaires bien plus faibles que les précédentes. Toutefois, elles peuvent être une source importante de distorsion harmonique car un grand nombre d'appareils peut être utilisé simultanément et sur de longues périodes. Les appareils qui apportent la contribution la plus importante à la distorsion sont les récepteurs de télévision, les appareils commandés par des thyristors (gradateurs de lumière, équipement électroménager) et les lampes fluorescentes. Les normes actuelles n'autorisent pas l'utilisation du contrôle de phase pour les appareils de chauffage.

Les récepteurs de télévision sont en général alimentés par des ponts redresseurs suivis de condensateurs de lissage de forte valeur. Il s'ensuit que le courant appelé au réseau est constitué de brèves impulsions de courant dont le contenu harmonique est très riche.

In practice, however, non-characteristic harmonics are also generated due to inaccuracies in the values of control angles, unbalance in supply voltages, and any causes liable to affect the balance of the bridge. For example, harmonic currents of orders 5 and 7 may be measured in the supply to 12-pulse rectifiers.

Theoretically the amplitude of a perfect instantaneous switching rectifier should decrease according to the law:

$$I_n = I_1/n$$

where

I_n is the harmonic current of order n ;

I_1 is the magnitude of the fundamental current.

In reality, rectifiers do not switch instantaneously and the current waveforms are not truly of the square-wave type.

The amplitude of harmonic currents depends on the inductive voltage drop due to circuit inductances and the switching angle. The amplitude of harmonic currents flowing in lines supplying rectifiers may be approximated by the following law:

$$I_n = I_1 / (n - 5/n)^{1,2} \quad \text{for } 5 \leq n \leq 31$$

where n is the harmonic order.

This applies if there is good smoothing of the d.c. current, otherwise the level of 5th harmonic can be higher.

More detailed values of harmonic currents, considering delay angle and inductive voltage drop, are given in IEC 146.

Arc furnaces may be represented as generators of harmonic currents with an internal impedance consisting of an inductance and a damping resistance. The current spectrum shows a discrete spectrum superimposed on a continuous spectrum.

5.2.3 Residential loads

Residential loads have a lower power rating, but may be a major source of harmonic distortion on account of the large number of appliances used simultaneously and for long periods. The most important contributors in this area are television receivers, thyristor-controlled devices (lamp dimmers, household appliances) and fluorescent lamps. Existing standards do not allow the use of phase-controlled heating loads.

Television receivers are generally supplied through a rectifier and a high smoothing capacitor with the result that the current drawn from the network consists of short impulses containing a high percentage of harmonics.

L'usage de thyristors dans la commande des charges s'accroît. Bien que la puissance concernée dans chaque charge puisse rester faible, leur effet cumulé peut cependant provoquer une distorsion importante de la tension d'alimentation.

5.3 Effet des harmoniques

Les principaux effets préjudiciables dus aux harmoniques sont:

- le fonctionnement défectueux de dispositifs de régulation;
- le mauvais fonctionnement de dispositifs de télécommande et d'autres systèmes de transmission de signaux sur le réseau, de relais de protection et, le cas échéant, d'autres dispositifs de commande;
- des pertes supplémentaires dans les condensateurs et les machines tournantes;
- l'augmentation du bruit produit par les moteurs et d'autres appareils;
- des perturbations téléphoniques.

Une influence sur les compteurs d'électricité à induction n'est pas discernable.

Le phénomène de perturbation par couplage inductif avec le téléphone et les circuits de télécommunication est traité au sein du CCITT et ne sera donc plus abordé dans la suite de ce rapport.

Les effets nuisibles des harmoniques sur les appareils peuvent être classés soit en effets instantanés soit en effets à long terme.

5.3.1 Effets instantanés

Ces effets concernent les défauts, les mauvais fonctionnements ou la diminution des performances subis par des dispositifs, dus au déplacement du passage par zéro de l'onde de tension. Les dispositifs de régulation, les appareils électroniques et les calculateurs y sont particulièrement sensibles.

De hautes amplitudes des harmoniques peuvent provoquer un mauvais fonctionnement des récepteurs de télécommande centralisée et des relais de protection.

5.3.2 Effets à long terme

Les effets à long terme sont essentiellement de nature thermique. Les pertes supplémentaires et les suréchauffements apparaissant dans les condensateurs et les machines tournantes peuvent diminuer la durée de vie de ces appareils et parfois même les endommager.

6 Interharmoniques

6.1 Description du phénomène

Entre les harmoniques de courant et de tension du réseau, on peut observer d'autres fréquences, qui ne sont pas des multiples entiers du fondamental. Elles peuvent apparaître soit sous forme de fréquences discrètes, soit sous forme de spectre à large bande. Le phénomène de foisonnement des interharmoniques est peu probable et peut ne pas être pris en compte.

The use of thyristor-controlled loads is increasing. Although, the power involved in each load may be low, the cumulative effects may result in a high distortion of the supply voltage.

5.3 *Effects of harmonics*

The main detrimental effects of harmonics are:

- defective operation of regulating devices;
- malfunction of ripple control and other mains signalling systems, protective relays and, possibly, other means of control;
- additional losses in capacitors and rotating machines;
- additional noise from motors and other apparatus;
- telephone interference.

An influence on induction-disc electricity meters is not discernible.

The phenomenon of interference with telephone and communication circuits by inductive coupling is discussed by CCITT and is not considered further here.

The harmful effects of harmonics on equipment may be classified as either instantaneous or long-term.

5.3.1 *Instantaneous effects*

These effects are associated with failures, malfunctions or downgraded performance of devices through displacement of zero crossing of the voltage wave. Regulation devices, electronic equipment and computers are especially susceptible.

High amplitudes of harmonics may cause a malfunction of ripple control receivers and protective relays.

5.3.2 *Long-term effects*

Long-term effects are principally thermal. Additional losses and overheating result in excessive ageing or even damage to capacitors and rotating machines.

6 *Interharmonics*

6.1 *Description of the phenomenon*

Between the harmonics of the power frequency voltage and current, further frequencies can be observed which are not an integer of the fundamental. They can appear as discrete frequencies or as a wide-band spectrum. Summation effects of interharmonics are not likely and need not be considered.

6.2 Sources d'interharmoniques

On trouve des sources d'interharmoniques aussi bien dans les réseaux basse tension que moyenne et haute tension. Les interharmoniques produits par des sources basse tension agissent essentiellement sur les appareils qui leur sont proches; les interharmoniques produits dans les réseaux moyenne et haute tension se propagent sur les réseaux basse tension qu'ils alimentent.

Les sources principales sont les convertisseurs de fréquence statiques, les cycloconvertisseurs, les cascades hyposynchrones, les moteurs asynchrones, les machines à souder (sur les réseaux basse tension), les fours à arc (sur les réseaux moyenne et haute tension seulement).

Il existe aussi un bruit de fond interharmonique de faible niveau sur le réseau basse tension même en l'absence de source locale d'interharmoniques.

NOTE - Les signaux des systèmes de transmission en réseau pourraient aussi être considérés comme des interharmoniques au sens large du terme, mais il a semblé préférable de les traiter séparément.

6.2.1 Convertisseurs de fréquence statiques

Les convertisseurs de fréquence statiques transforment la tension du réseau en une tension alternative de fréquence différente de celle du réseau. Ils sont constitués de deux étages: d'un redresseur alternatif-continu et d'un onduleur continu-alternatif. La tension continue est modulée par la fréquence de sortie du convertisseur et, par voie de conséquence, des courants interharmoniques apparaissent à l'entrée produisant des tensions interharmoniques dans le réseau d'alimentation.

Les convertisseurs de fréquence statiques sont utilisés essentiellement pour les entraînements à fréquence variable et leur marché est en développement rapide. Les entraînements de faible puissance jusqu'à quelques dizaines de kW sont directement raccordés au réseau basse tension. Les entraînements plus importants sont raccordés au réseau moyenne tension par leurs propres transformateurs. Des convertisseurs basés sur le même principe sont utilisés pour l'alimentation de fours à moyenne fréquence.

Il existe plusieurs schémas de convertisseurs de fréquence statiques avec des caractéristiques différentes. Les fréquences harmoniques et interharmoniques sont données par la formule suivante:

$$f_v = [(p_1 \times m) \pm 1] \times f_1 \pm [p_2 \times n] \times F$$

où

p_1 est le nombre de phases du redresseur;

p_2 est le nombre de phases de l'onduleur;

m est un nombre entier 0, 1, 2, 3 ...;

n est un nombre entier 0, 1, 2, 3 ...;

F est la fréquence de sortie;

f_1 est la fréquence fondamentale du réseau (c'est-à-dire 50 Hz ou 60 Hz);

f_v est la fréquence harmonique ou interharmonique produite.

6.2 Sources of interharmonics

Sources of interharmonics can be found in low-voltage networks as well as in medium-voltage and high-voltage networks. The interharmonics produced by low-voltage sources mainly influence devices in their vicinity; the interharmonics produced in the medium-voltage/high-voltage networks flow in the low-voltage networks they supply.

The main sources are static frequency converters, cyclo-converters, subsynchronous converter cascades, induction motors, welding machines (low-voltage networks) and arc furnaces (medium-voltage/high-voltage networks only).

There is also low-level background noise superimposed on the low-voltage curve, even in the absence of a local source of interharmonics.

NOTE - The signals of mains signalling systems could also be considered as interharmonics in the broadest sense, but it is thought preferable to deal with these separately.

6.2.1 Static frequency converters

Static frequency converters transform the mains voltage into an a.c. voltage of frequency lower or higher than the mains frequency. They consist of two parts, namely an a.c.-d.c. rectifier and a d.c.-a.c. inverter. The d.c. voltage is modulated by the output frequency of the converter and as a result interharmonic currents appear in the input current, causing interharmonic voltages to be generated in the mains voltage.

Static frequency converters are used mainly for variable frequency drives and are developing rapidly. Small drives up to some tens of kW are connected directly to the low-voltage network, larger drives are connected to the medium-voltage network via dedicated transformers. Similar converters are used to supply medium-frequency furnaces.

Several forms of static frequency converters exist with different characteristics. The harmonic and interharmonic frequencies are given by the following formula:

$$f_v = [(p_1 \times m) \pm 1] \times f_1 \pm [p_2 \times n] \times F$$

where

p_1 is the pulse number of the rectifier;

p_2 is the pulse number of the converter;

m are 0, 1, 2, 3 ... (integers);

n are 0, 1, 2, 3 ... (integers);

F is the output frequency;

f_1 is the fundamental frequency of the supply voltage (e.g. 50 Hz or 60 Hz);

f_v is the produced harmonic or interharmonic.

Les combinaisons de p_1 et m donnent les fréquences harmoniques. A partir de ces valeurs, les combinaisons de p_2 , n et F permettent d'obtenir les interharmoniques.

6.2.2 Cycloconvertisseurs

Les cycloconvertisseurs sont des convertisseurs électroniques de forte puissance (plusieurs MW) qui appellent une puissance triphasée équilibrée au réseau pour produire une sortie triphasée ou monophasée basse fréquence (généralement inférieure à 15 Hz) pour les entraînements importants à faible vitesse. Ils sont constitués de deux ou plusieurs redresseurs commandés, raccordés en pont.

La formule qui donne les fréquences harmoniques et interharmoniques est la même que celle des convertisseurs statiques de fréquence.

6.2.3 Cascade hyposynchrone

La cascade hyposynchrone a pour fonction de régler la vitesse d'un moteur asynchrone tout en réduisant le niveau de pertes quand celui-ci fonctionne en dehors des conditions nominales. Les résistances classiques habituellement raccordées au rotor du moteur à rotor bobiné sont remplacées par un convertisseur de fréquence raccordé entre les bornes du rotor et la ligne d'alimentation du stator du moteur. La production d'interharmoniques est souvent faible.

6.2.4 Moteurs asynchrones

Les moteurs asynchrones peuvent absorber un courant de magnétisation irrégulier dû aux encoches dans le stator et le rotor. Parfois, il s'y rajoute le phénomène de saturation du fer. Ceci produit des interharmoniques dans le réseau basse tension. Lorsque le moteur tourne à sa vitesse normale, les fréquences perturbatrices sont pratiquement situées dans la gamme 500 Hz à 2 000 Hz mais pendant la période de démarrage, elles balayent toute la gamme de fréquence jusqu'à ce qu'elles aient atteint leurs valeurs finales.

De tels moteurs peuvent être perturbateurs s'ils sont installés au bout de longues lignes aériennes basse tension (>1 km). Des tensions interharmoniques qui ont atteint 1% de la tension nominale ont été mesurées. Il y a eu des cas où ces tensions interharmoniques ont perturbé des récepteurs de télécommande.

6.2.5 Machines à souder à arc

Les machines à souder à arc produisent aussi un spectre de fréquence continu à large bande. Le soudage est un processus intermittent dont chaque période est comprise entre une et plusieurs secondes.

Les machines à souder sont la plupart du temps raccordées au réseau basse tension. On ne dispose pas actuellement de mesures de tensions interharmoniques produites par des machines à souder. Toutefois, comme le processus de soudage a un caractère intermittent et concerne une puissance importante, l'impédance du réseau d'alimentation doit être assez faible pour éviter des problèmes de flicker. Il semble que les limites qui en découlent pour ce qui a trait à l'impédance du réseau, permettent de maintenir les tensions interharmoniques à de faibles niveaux.

The combination of p_1 and m gives the harmonics. These harmonics in combination with p_2 , n and F give the interharmonics.

6.2.2 *Cyclo-converters*

Cyclo converters are electronic converters of high rating (several MW) which draw symmetrical three-phase power from the power system to produce a three-phase or single phase output of low frequency (generally less than 15 Hz) for large slow motor drives. They consist of two or more controlled rectifiers connected as a bridge.

The formula which gives the harmonic and interharmonic frequencies is the same as for static frequency converters.

6.2.3 *Subsynchronous converter cascades*

The purpose of the subsynchronous converter cascade is to control the speed of an induction motor while reducing the losses when the motor is operating out of the rated conditions. The usual resistors connected to the rotor terminal of the wound rotor motor are replaced by a frequency converter connected between the rotor terminal and the lines that supply the stator of the motor. Interharmonic emission is often low.

6.2.4 *Induction motors*

Induction motors may give rise to an irregular magnetizing current due to the slots in the stator and rotor — possibly in association with saturation of the iron — which generates interharmonics in the low-voltage network. At the normal speed of the motor, the disturbing frequencies are practically in the range 500 Hz to 2 000 Hz but during the starting period they run through the whole frequency range up to their final values.

Such motors can be disturbing when they are installed at the end of long overhead low-voltage lines (>1 km). Interharmonic voltages of up to 1% of the nominal voltage have been measured. These interharmonic voltages have disturbed ripple control receivers in a few cases.

6.2.5 *Arc welding machines*

Welding machines also generate a continuous wide-band frequency spectrum. Welding is an intermittent process with the duration of the individual welding actions varying between a second and several seconds.

Welding machines are mostly connected to the low-voltage network. At present no measurements of interharmonic voltages produced by welding machines are available. However, due to the intermittent character of the welding process and the high power involved, the impedance of the supplying networks has to be quite low in order to avoid disturbing flicker effects. It seems that the limits imposed thereby on the network impedance reduce interharmonic voltages sufficiently.

6.2.6 Fours à arc

Les fours à arc produisent des spectres de fréquences interharmoniques continus mais variables de façon aléatoire en raison de leur appel de courant irrégulier. Ces appareils ont une puissance élevée (qui peut atteindre 50 MVA à 100 MVA) mais ils sont toujours raccordés au réseau moyenne ou haute tension. De façon à éviter de trop fortes fluctuations de tension et le phénomène de flicker, il est recommandé que l'impédance du réseau soit faible. En conséquence, l'émission d'interharmoniques est également réduite.

Les tensions interharmoniques les plus fortes apparaissent pendant la phase de démarrage de la fusion. Il conviendra d'étudier des valeurs typiques.

6.2.7 Bruit de fond

Le bruit de fond apparaît comme un bruit gaussien avec un spectre de tension continu entre les harmoniques.

Jusqu'à présent, il n'a pas été étudié en détail. Des niveaux typiques semblent se trouver aux alentours de:

- 40 mV à 50 mV ($\approx 0,02$ % de U_N) mesurés avec un filtre de largeur de bande de 10 Hz.
- 20 mV à 25 mV ($\approx 0,01$ % de U_N) mesurés avec un filtre de largeur de bande de 3 Hz.

6.3 Effets des interharmoniques

Un effet des interharmoniques est de perturber les récepteurs de télécommande sur des fréquences discrètes. Cela s'est produit avec des moteurs asynchrones et des fours à arc et cela pourrait aussi être le cas avec les autres types d'appareils décrits précédemment.

Un phénomène de flicker peut aussi apparaître avec des fréquences discrètes proches de la fréquence fondamentale. Ces fréquences produisent une modulation d'amplitude du courant fondamental, ce qui est particulièrement perceptible si la fréquence de modulation est proche de 10 Hz (voir 7.3.1). Ce phénomène continue à faire l'objet d'études.

7 Fluctuations de tension

7.1 Description du phénomène

Les fluctuations de tension (voir figures 3 et 4) peuvent être décrites comme une variation périodique de l'enveloppe de la tension ou comme une suite de variations de tension aléatoires. Leur amplitude ne dépasse pas normalement le domaine défini par la CEI 38 (jusqu'à $\pm 10\%$).

On doit clairement distinguer les fluctuations de tension des variations lentes de tension qui se produisent dans cette bande de $\pm 10\%$ et qui sont dues aux variations progressives de la consommation dans les réseaux.

Les creux de tension et les coupures brèves ont des amplitudes comprises entre 10 % et 100 % de la tension nominale. Ils se produisent peu fréquemment et sont dus à des défauts dans le réseau et au fonctionnement des systèmes de protection (voir article 8).

6.2.6 Arc furnaces

Arc furnaces produce continuous but randomly varying interharmonic frequency spectra due to the irregular input current. These devices have a high rating (50 MVA to 100 MVA) but are always connected to the medium-voltage/high-voltage network. In order to avoid excessive voltage fluctuations and flicker disturbances the network impedance should be low. Consequently interharmonics emission is also low.

The highest interharmonic voltages occur during the starting phase of a melting process. Typical values are to be investigated.

6.2.7 Background noise

Background noise appears as a Gaussian noise, with a continuous regular frequency spectrum between the harmonics.

Up to now little detailed investigation has been carried out. Typical voltage levels seem to be in the range of:

- 40 mV to 50 mV ($\approx 0,02$ % of U_N) when measured with a filter bandwidth of 10 Hz;
- 20 mV to 25 mV ($\approx 0,01$ % of U_N) when measured with a filter bandwidth of 3 Hz.

6.3 Effects of interharmonics

An effect of interharmonics is the perturbation of ripple control receivers by discrete frequencies. This effect has been observed with induction motors and arc furnaces, though it could be caused by the other types of equipment referred to above.

A flicker effect could also appear with discrete frequencies close to the fundamental frequency. These frequencies may produce amplitude modulation of the fundamental current and this would be particularly perceptible if the modulation frequency were close to 10 Hz (see 7.3.1). Investigations into this phenomenon are continuing.

7 Voltage fluctuations

7.1 Description of the phenomenon

Voltage fluctuations can be described as a cyclical variation of the voltage envelope or a series of random voltage changes (see figures 3 and 4) the magnitude of which does not normally exceed the range of operational voltage changes mentioned in IEC 38 (up to $\pm 10\%$).

A clear distinction must be drawn between voltage fluctuations and slow voltage variations within the same limit of up to $\pm 10\%$ due to gradual load changes in the networks.

Voltage dips and short interruptions, which have amplitudes of between 10% and 100% of the nominal voltage, are infrequent and are caused in the main by faults and the operation of protective systems (see clause 8).

Il existe différents types de fluctuations de tension qui ont été classées de la manière suivante (CEI 555-3):

- type a): suite de variations de tension périodiques en créneau de forme rectangulaire et d'amplitudes égales (par exemple manoeuvre de charges purement résistives), (voir figure 5a);
- type b): suite de variations de tension en créneau, distribuées irrégulièrement dans le temps. Leurs amplitudes peuvent être égales ou non et peuvent être de sens positif ou négatif (par exemple manoeuvres de charges multiples) (voir figure 5b);
- type c): variations de tension nettement séparées qui ne sont pas toutes des variations en créneau (par exemple, manoeuvre de charges non résistives) (voir figure 5c);
- type d): variations de tension aléatoires ou continues (par exemple, charges à variations cycliques ou aléatoires) (voir figure 5d).

A noter que deux variations ou plus dans le même sens, se produisant dans une période totale de 30 ms au plus, sont considérées comme une seule variation.

Le type de fluctuation de tension peut se déduire des caractéristiques de l'appareil, ou être observé par un appareil de mesure.

7.2 Sources de fluctuations de tension

Dans les réseaux basse tension, les appareils électrodomestiques en sont la source essentielle, mais chaque appareil ne gêne qu'un nombre limité de consommateurs.

En général, les principales sources de fluctuations de tension sont les charges industrielles:

- machines à souder à résistance;
- laminoirs;
- treuils de mine (ou gros moteurs à charge variable);
- fours à arc;
- installation de soudure à l'arc.

La mise en (ou hors) service de batteries de condensateurs ou plus généralement le raccordement de charges importantes produisent des variations de tension en créneau de même nature.

Il est important de souligner que les fluctuations produites par ces activités industrielles peuvent toucher un grand nombre de consommateurs à partir de la même source. Le mode de fonctionnement de tous ces appareils peut être continu ou à l'inverse très peu fréquent. Comme les impédances d'alimentation varient dans de larges proportions sur les réseaux publics, les conditions diffèrent beaucoup entre les postes sources et les extrémités de ligne.

There are various types of voltage fluctuations, which have been classified as follows (IEC 555-3):

Type a): periodic rectangular voltage changes (step changes) of equal magnitudes (e.g. switching of single resistive loads) (see figure 5a);

Type b): a series of step changes of voltage which are irregular in time. Their magnitudes may be equal or not, and in either the negative or positive direction (e.g. switching of multiple loads) (see figure 5b);

Type c): clearly separated voltage changes which are not all step changes (e.g. switching of non-resistive loads) (see figure 5c);

Type d): a series of random or continuous voltage fluctuations (e.g. cyclic or randomly changing loads) (see figure 5d).

Note that two or more changes in the same direction occurring in a total period of not more than 30 ms are considered to be a single change.

The type of voltage fluctuation may be deduced from the characteristics of the appliance, or observed by instrumentation.

7.2 Sources of voltage fluctuations

In low-voltage networks domestic appliances are significant sources, but each appliance will affect only a limited number of consumers.

In general, the main sources are industrial loads:

- resistance welding machines;
- rolling mills;
- mine winders (or large motors with varying loads);
- arc furnaces;
- arc welding plant.

Of a similar nature are step voltage changes that occur with the connection (or disconnection) of capacitor banks, or more generally when switching large loads.

It is important to point out that these industrially-produced fluctuations can affect a large number of consumers from the same source. Operation of all this equipment ranges from continuous to very infrequent. As there is a wide range of supply impedance on the public networks, conditions change substantially from the substation to the end of a feeder.

7.3 Effets des fluctuations de tension

Comme les fluctuations de tension ont une amplitude qui n'excède pas $\pm 10\%$, la plupart des appareils ne sont pas perturbés par ce type de perturbation. Le principal désagrément que l'on peut leur attribuer est le flicker, ou la fluctuation de luminance des lampes à incandescence (le point important est qu'il est, en pratique, impossible de modifier les caractéristiques du filament des lampes). L'inconfort physiologique qui résulte de ce phénomène dépend de l'amplitude des fluctuations, de leurs composantes fréquentielles, du taux de répétition et de la durée de la perturbation.

Toutefois, il existe un seuil de perceptibilité en dessous duquel le flicker n'est pas visible.

Certains appareils, par exemple les éléments de chauffage qui ont des constantes de temps importantes, ne sont, la plupart du temps, pas affectés par les fluctuations de tension. D'autres appareils, par exemple les récepteurs de télévision, les appareils de commande électroniques et les calculateurs peuvent, selon les cas, être sensibles aux fluctuations de tension.

7.3.1 Variations continues (par exemple fours à arc et cycloconvertisseurs)

Dans ce cas, on peut associer aux fluctuations un spectre de fréquence de modulation dans la bande 0 Hz à 30 Hz.

En général, l'effet de superposition de plusieurs fréquences peut être évalué à l'aide d'un flickermètre (voir CEI 868).

De plus, l'amplitude de la modulation dépend essentiellement du rapport entre l'impédance de l'installation perturbatrice et l'impédance du réseau d'alimentation (rapport qui est égal à l'inverse du rapport des puissances de court-circuit).

7.3.2 Variations de tension en créneau (par exemple machines à souder, démarrage de moteurs, enclenchements de batteries de condensateurs, etc.)

La gêne est ici principalement fonction de l'amplitude et de la fréquence des variations de tension en créneau.

8 Creux de tension et coupures brèves

8.1 Description du phénomène

Un creux de tension est une brusque réduction de la tension, en un point du réseau électrique, suivie de son rétablissement après une courte durée allant d'une demi-période à quelques secondes.

Une coupure brève est la disparition de la tension d'alimentation pendant un temps qui n'excède pas 1 min.

Les coupures brèves peuvent être considérées comme des creux de tension d'amplitude 100%.

7.3 Effects of voltage fluctuations

Generally, since voltage fluctuations have an amplitude not exceeding $\pm 10\%$, most equipment is not disturbed by this type of disturbance. The main disadvantage which can be attributed to them is flicker, or fluctuation of luminosity of an incandescent lamp (the important point is that it is, in practice, impossible to change the characteristics of the filament). The physiological discomfort associated with this phenomenon depends on the magnitude, the component frequencies, the rate of occurrence of voltage changes and the duration of the disturbance.

There is, however, a perceptibility threshold under which flicker is not visible.

Some equipment, for instance heating elements with long time constants, are almost unaffected by voltage fluctuations. Other equipment, for instance television receivers, electronic control devices and computers, are inherently sensitive to voltage fluctuation.

7.3.1 Continuous variations (e.g. arc furnaces and cyclo-converters)

In this case, the fluctuations can be associated with a modulation frequency spectrum, in the band 0 Hz to 30 Hz.

Generally the effect of superposition of several frequencies may be evaluated by means of a flickermeter (see IEC 868).

Moreover, the amplitude of modulation basically depends on the ratio between the impedance of the supply network installation and impedance of the disturbing installation (ratio which is equal to the complex inverse ratio of the short-circuit capacities).

7.3.2 Step voltage changes (e.g. welding machines, starting-up of motors, switching of capacitor banks etc.)

The discomfort in this case is primarily a function of the amplitude of the step voltage changes and the rate of repetition.

8 Voltage dips and short supply interruptions

8.1 Description of the phenomena

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 short supply interruption is the disappearance of the supply voltage for a period of time not exceeding 1 min.

Short supply interruptions can be considered as voltage dips with 100% amplitude.

8.1.1 *Forme*

L'amplitude d'un creux de tension est définie comme la différence entre la tension durant le creux de tension et la tension nominale du réseau (voir figure 6). Cette amplitude s'exprime en pourcentage de la tension nominale.

Un creux de tension dont l'amplitude est constante pendant toute sa durée peut se caractériser par son amplitude ΔU et sa durée Δt .

Un creux de tension peut avoir une forme complexe (voir figure 6). Dans ce cas, on peut le caractériser par deux (ou plusieurs) couples de valeurs (ΔU , Δt). De tels creux de tension complexes sont toutefois relativement rares et par raison de commodité, on peut les caractériser par leur amplitude maximale et leur durée totale.

8.1.2 *Amplitude et durée*

Les variations de tension qui ne réduisent pas la tension du réseau en un point donné à moins de 90% de la tension nominale ne sont pas considérées comme des creux de tension. En effet, c'est le domaine des variations lentes de tension (dus aux variations progressives de charge) et des fluctuations de tension dues aux changements rapides et répétitifs des charges (voir la première variation de tension de la figure 6).

Des durées inférieures à une demi-période ne sont pas prises en compte parce que des variations de tension de cette durée sont caractéristiques d'un réseau alternatif. Des variations occasionnelles de tension durant moins d'une demi-période sont considérées comme des transitoires.

Il est essentiel de comprendre qu'on ne peut pas éviter un certain nombre de creux de tension sur les réseaux d'alimentation et qu'il est normal d'accepter, pour la plupart des appareils, le risque d'un nombre limité de fonctionnements incorrects dus à ce type de perturbation.

Pratiquement, les deux paramètres ΔU et Δt , amplitude et durée, ne peuvent pas être limités sur un réseau d'alimentation. On peut s'attendre à trouver toutes les amplitudes comprises entre 10% et 100% et toutes les durées avec Δt supérieures à une demi-période.

Ce qui peut être établi, pour un réseau donné, c'est le taux d'occurrence de creux de tension ayant une amplitude et une durée comprises dans un intervalle donné. Les amplitudes ne sont pas, toutefois, nécessairement les mêmes sur les trois phases.

8.2 *Sources de creux de tension et de coupures brèves*

Un creux de tension peut être produit par des manoeuvres d'enclenchement mettant en jeu des courants de forte intensité ou par le fonctionnement de protection (ainsi que les réenclencheurs) consécutif à l'apparition de défauts dans le réseau. Ces faits peuvent se produire soit dans les réseaux des consommateurs, soit dans les réseaux publics.

8.3 *Effets de creux de tension et coupures brèves*

Les creux de tension et coupures brèves peuvent perturber les appareils raccordés aux réseaux d'alimentation et provoquer les mauvais fonctionnements suivants:

8.1.1 *Shape*

The amplitude of a voltage dip is defined as the difference between the voltage during the voltage dip and the nominal voltage of the system (see figure 6). The amplitude is expressed as a percentage of the nominal voltage.

A voltage dip whose amplitude is constant during its duration may be characterized by the two values, amplitude ΔU and duration Δt .

A voltage dip with a complex shape (see figure 6) may be characterized by two, or more, pairs of values (ΔU , Δt). Such complex-shaped voltage dips are, however, relatively rare and for all practical purposes they may be characterized by their maximum amplitude and overall duration.

8.1.2 *Amplitude and duration*

Voltage changes which do not reduce the system voltage at the point under consideration to less than 90% of the nominal voltage are not considered to be voltage dips, as this is the range of slow voltage variations (due to gradual load changes) and voltage fluctuations due to rapid and repetitive load changes (see the first voltage change in figure 6).

Durations of less than half a cycle are not considered because voltage changes of this duration are a characteristic of an a.c. supply. Occasional voltage deviations lasting less than half a cycle are considered as transients.

It is essential to understand that a certain number of voltage dips cannot be avoided in supply networks and that for most equipment it is normal to accept the risk of a limited number of incorrect operations due to this type of disturbance.

The two parameters ΔU and Δt , amplitude and duration, cannot be practically limited in a supply network. All the amplitudes between 10% and 100% and all the durations with Δt longer than half a cycle can be expected.

What can be stated for a given network is the rate of occurrence of voltage dips with amplitudes and durations contained in given intervals. Amplitudes are not, however, necessarily the same on the three phases.

8.2 *Sources of voltage dips and short supply interruptions*

A voltage dip may be caused by a switching operation involving heavy currents or by the operation of protective devices (including auto-reclosers) resulting from faults. These events may emanate from the consumer's systems or from the public supply network.

8.3 *Effects of voltage dips and short supply interruptions*

Voltage dips and short supply interruptions may disturb the equipment connected to the supply network. The types of incorrect operations which may be produced are:

- extinction de lampes à décharge;
- fonctionnement anormal de régulateurs de commande;
- variation de vitesse ou arrêt de moteurs;
- retombée de contacteurs;
- erreurs de calcul, panne de calculateurs ou d'instruments de mesure munis de dispositifs électroniques;
- pertes de synchronisme d'alternateurs et de moteurs synchrones;
- défaut de commutation pour les ponts à thyristors fonctionnant en onduleur.

Certains des inconvénients mentionnés ci-dessus sont aggravés par le fait que le temps de redémarrage d'une machine peut demander de quelques minutes à quelques heures.

9 Déséquilibre de tension

9.1 Description du phénomène

Le phénomène de déséquilibre de tension est la situation où les trois tensions du système triphasé ne sont pas égales en amplitude et/ou ne sont pas décalées normalement les unes par rapport aux autres de 120°.

Le taux de déséquilibre est habituellement défini, en utilisant la méthode des composantes symétriques, par le rapport du module de la composante inverse (ou homopolaire) à celui de la composante directe. Les tensions inverses d'un réseau (ou homopolaire) résultent pour l'essentiel de la circulation des courants inverses (ou homopolaire) produits par des charges déséquilibrées.

9.2 Sources de déséquilibre

La cause majeure de déséquilibre est la présence de charges monophasées non équilibrées. Dans les réseaux basse tension, les charges monophasées sont raccordées presque exclusivement entre phase et terre mais elles sont réparties de façon plus ou moins égales sur les trois phases. Dans les réseaux moyenne et haute tension, elles peuvent être raccordées soit entre phases soit entre phase et neutre; des charges monophasées importantes sont constituées par les sous-stations des chemins de fer à courant alternatif et les fours à induction monophasés.

Le déséquilibre de tension peut être calculé de manière approchée par la formule:

$$\frac{\text{Valeur maximale de l'écart entre une quelconque des trois tensions et la moyenne des trois tensions}}{\text{Valeur moyenne des trois tensions}}$$

Le taux de déséquilibre produit par une charge monophasée raccordée entre deux phases est pratiquement égal au rapport de la puissance de la charge à la puissance de court-circuit triphasé du réseau.

La propagation des tensions inverses d'un réseau à un réseau de niveau de tension supérieure se fait avec une forte atténuation. Si la propagation se fait d'un réseau vers un réseau de niveau de tension inférieur, l'atténuation dépend de la présence de machines tournantes triphasées qui ont un effet rééquilibrant.

- extinction of discharge lamps;
- incorrect operation of regulation devices;
- speed variation or stopping of motors;
- tripping of contactors;
- failures and computation errors for computers or measuring instruments equipped with electronic devices;
- loss of synchronism of synchronous motors and generators;
- commutation failure in thyristor bridges operating in the inverter mode.

Some of the inconveniences mentioned above are made worse by the fact that restarting a machine may take from a few minutes to a few hours.

9 Voltage unbalance

9.1 Description of the phenomenon

Voltage unbalance is a condition in which the three-phase voltages differ in amplitude or are displaced from their normal 120° phase relationship, or both.

The degree of unbalance is usually defined using the method of symmetrical components, by the ratio of the negative sequence (or zero sequence) component to the positive sequence component. The negative sequence (or zero sequence) voltages in a network mainly result from the negative sequence (or zero sequence) currents of unbalanced loads flowing in the network.

9.2 Sources of voltage unbalance

The predominant cause of unbalance is unbalanced single-phase load. In low voltage networks single-phase loads are almost exclusively connected phase-to-neutral but they are distributed more or less equally on the three phases. In medium-voltage and high-voltage networks single-phase loads can be connected either phase-to-phase or phase-to-neutral. Important single-phase loads include a.c. railway supplies and single-phase furnaces.

The voltage unbalance can be calculated approximately as follows by the formula:

$$\frac{\text{Maximum deviation of any of the three-phase voltages from the average phase voltage}}{\text{Average phase voltage}}$$

The voltage unbalance caused by a single-phase load connected between two phases is practically equal to the ratio of the load power to the network three-phase short-circuit power.

The propagation of negative sequence voltages from lower to higher voltage networks occurs with high attenuation. In the direction from higher to lower level any attenuation depends on the presence of three-phase rotating machines, which have a balancing effect.

9.3 Effets des déséquilibres de tension

La réactance inverse d'une machine asynchrone triphasée est équivalente à sa réactance pendant la phase de démarrage. En conséquence, une machine fonctionnant sur un réseau déséquilibré absorbera un courant dont le taux de déséquilibre sera plusieurs fois celui de la tension d'alimentation. Par suite, les trois courants de phase pourront différer considérablement. L'accroissement d'échauffement dans la (ou les) phase(s) où circule le courant le plus élevé ne sera que partiellement compensé par la réduction d'échauffement dans les autres phases. La température de la machine va s'élever. Le cas le plus grave de déséquilibre est la coupure d'une phase, circonstance qui peut rapidement conduire à la destruction de la machine. Les moteurs et les alternateurs, en particulier ceux de grande puissance et les plus coûteux, peuvent être équipés de protections pour détecter ce cas et les déclencher; si le déséquilibre est suffisant, la protection «monophasée» peut détecter les courants déséquilibrés et déclencher la machine.

Les redresseurs polyphasés pour lesquels chacune des tensions d'alimentation participe à la sortie continue sont aussi sensibles à une alimentation déséquilibrée. Celle-ci provoque une ondulation inopportune de la tension continue et des harmoniques de courant non caractéristiques côté alternatif.

Cependant le principal effet du déséquilibre étant l'échauffement des enroulements des machines on peut accepter des niveaux de déséquilibre supérieurs à ceux du régime permanent pendant de brèves périodes de quelques secondes ou même quelques minutes.

10 Transmission de signaux sur le réseau

Les réseaux publics sont construits pour alimenter les consommateurs en énergie électrique, mais peuvent être utilisés dans certains cas par les entreprises d'électricité pour la transmission de signaux (l'utilisation du réseau public pour la transmission de signaux entre consommateurs n'est pas autorisée). La compatibilité électromagnétique doit être assurée du point de vue des systèmes de transmission des signaux eux-mêmes, de leur influence sur le réseau et ses charges, cela en tenant compte de leur utilisation (par exemple, contrôle de la charge, télélecture des compteurs, etc.).

10.1 Description du phénomène

Des signaux de fréquence dans la plage de 110 Hz à 500 kHz sont utilisés dans des réseaux ou parties de réseaux pour transmettre des informations d'un point d'émission vers un ou plusieurs points de réception.

On peut utiliser les signaux de télécommande sur les réseaux d'alimentation à des fins de changement de tarif ou d'enclenchement de charges. On envoie alors des informations d'un poste central vers les installations de la clientèle. On peut aussi les utiliser pour obtenir des informations sur l'état d'indicateurs ou sur des valeurs de compteurs depuis un point sur le réseau vers un poste central.

Les systèmes qui envoient des informations ou des commandes sont appelés «descendants» et les systèmes qui recueillent l'information depuis des points distants sont appelés «remontants».

De nombreux systèmes descendants sont en service. Les systèmes remontants sont encore en cours de développement.

9.3 *Effects of voltage unbalance*

The negative sequence impedance of a three-phase induction machine is similar to its impedance during starting. Consequently a machine operating on an unbalanced supply will draw a current with a degree of unbalance several times that of the supply voltage. As a result, the three-phase currents may differ considerably and the increased heating in the phase(s) with the higher current will be only partly offset by reduced heating in the other phases and the temperature rise of the machine will be increased. The most extreme form of unbalanced supply is the disconnection of one phase, a condition that can quickly lead to destruction of the machine. Motors and generators, particularly the larger and more expensive ones, may be fitted with protection to detect this condition and disconnect the machine: if the supply unbalance is sufficient, the "single phasing" protection may respond to the unbalanced currents and trip the machine.

Polyphase converters, in which the individual input phase voltages contribute in turn to the d.c. output, are also affected by an unbalanced supply, which causes an undesirable ripple component on the d.c. side, and non-characteristic harmonics on the a.c. side.

Since the main effect of unbalance is heating of machine windings, higher short-term levels of unbalance may be acceptable, for a few seconds or even a few minutes.

10 Mains signalling

Public networks are built for the supply of electric energy to customers but can be used incidentally by the utilities for the transmission of signals. (The use of the public networks or the transmission of signals between customers is not allowed.) Electromagnetic compatibility has to be ensured with regard to the signalling systems themselves and their influence on the network and its loads, taking into account their utilization (i.e. load control, remote reading of meters, etc.).

10.1 *Description of the phenomenon*

Signal frequencies ranging from 110 Hz to 500 kHz are used in networks or parts of it in order to transfer information from a sending point to one or more receiving points.

Mains signalling on a supply system can be used from a central station to the consumer's installation to carry out operations such as tariff changing or load switching by sending information or from a network point to a central station to obtain information such as status indication or metering values.

Systems which send information or commands out are called "outbound" and systems which collect information from remote points are called "inbound".

Various outbound systems are in operation. Inbound systems are still under development.

10.2 Sources de signaux en réseau

Les systèmes de transmission de signaux utilisant comme support le réseau de distribution (lignes haute, moyenne ou basse tension) peuvent être classés en quatre types selon la fréquence de transmission ou le type du signal.

a) *Systèmes de télécommande centralisés (ou systèmes à courant porteur basse fréquence)*

On utilise des signaux sinusoïdaux dans la gamme de fréquence 110 Hz à 2000 Hz; toutefois, on reste généralement dans la gamme 110 Hz à 500 Hz.

Ces systèmes sont installés principalement sur les réseaux des distributeurs (quelquefois sur des réseaux industriels). L'injection de signal se fait sur les réseaux haute tension, moyenne tension ou basse tension.

b) *Systèmes à courant porteur moyenne fréquence*

On utilise aussi des signaux sinusoïdaux mais dans la gamme de fréquence 3 kHz à 20 kHz avec une préférence pour la gamme 6 kHz à 8 kHz. De tels systèmes sont principalement conçus pour les besoins des distributeurs.

Ces systèmes sont en développement depuis plusieurs années mais seuls quelques systèmes descendants avec une injection du signal en moyenne tension sont en fonctionnement. Leurs caractéristiques ne sont pas normalisées et varient d'un système à l'autre.

c) *Systèmes à courant porteur à fréquence radio*

On utilise des signaux sinusoïdaux dans la bande de fréquence 20 kHz à 150 kHz (dans certains pays jusqu'à 500 kHz) qui sont injectés en basse tension.

Ces systèmes ont pour domaine d'application les réseaux des distributeurs (≤ 95 kHz) les réseaux basse tension industriels et commerciaux avec des alimentations moyenne tension particulières, et les installations domestiques et commerciales (dispositifs de télécommande, «alarmes bébé», interphones, etc., > 95 kHz).

d) *Systèmes à marquage d'onde*

On utilise des marques non sinusoïdales sur l'onde de tension du réseau.

Différents types de signaux peuvent être utilisés:

- des «impulsions longues» sous forme de déformation de tension de 1,5 ms à 2,0 ms (de préférence au passage par zéro de l'onde de tension pour éviter un phénomène de flicker);
- des «impulsions courtes» sous forme d'encoches d'une durée de 20 μ s à 50 μ s;
- des «impulsions de la fréquence fondamentale 50/60 Hz» de durée d'une demi-période ou d'une période.

Ces systèmes sont conçus essentiellement pour les réseaux des distributeurs. L'injection se fait en basse ou en moyenne tension.

10.2 Sources of mains signals

Mains signalling systems which use the distribution network (high-voltage, medium-voltage and low-voltage lines) for the transmission of signals can be classified into four types according to the transmission frequency or kind of signal:

a) *Ripple control systems* (or low-frequency power-line carrier systems)

use sinusoidal signals in the range from 110 Hz to 2 000 Hz, however, generally in the range 110 Hz to 500 Hz.

These systems are installed mainly in utilities' networks (sometimes in industrial networks) with signal injection at the high-voltage, medium-voltage or low-voltage network level.

b) *Medium-frequency power-line carrier systems*

also use sinusoidal signals but in the frequency range 3 kHz to 20 kHz (with a preference for the range 6 kHz to 8 kHz).

Such systems are intended mainly for utilities' purposes. They have been under development for some years but only a few outbound systems are in operation with signal injection at the medium-voltage level. Their characteristics are not standardized and vary from system to system.

c) *Radio-frequency power-line-carrier systems*

use sinus signals in the frequency band 20 kHz to 150 kHz (in certain countries up to 500 kHz), which are injected at low-voltage level.

These systems have application in utilities' networks (≤ 95 kHz) industrial/commercial low-voltage installations with separate medium-voltage supply and within the installations of domestic and commercial consumers (e.g. remote control devices, "baby alarms", mains-borne telephones, ... > 95 kHz).

d) *Mains-mark systems*

Such systems utilize non-sinusoidal marks on the mains voltage waveform.

Several kinds of signals have been considered:

- "long pulses" in the form of voltage depressions of 1,5 ms to 2,0 ms (preferably at the zero crossing of the voltage wave in order to avoid flicker phenomena);
- "short pulses" in the form of notches of the voltage wave with a duration of 20 μ s to 50 μ s;
- "pulses of the fundamental frequency 50/60 Hz" with a duration of half a cycle or one cycle.

These systems are intended mainly for utilities' networks with injection at medium-voltage or low-voltage level.