

NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD

CEI
IEC
1000-4-7

Première édition
First edition
1991-07

Compatibilité électromagnétique (CEM)

Partie 4:

Techniques d'essai et de mesure

Section 7: Guide général relatif aux mesures
d'harmoniques et d'interharmoniques, ainsi qu'à
l'appareillage de mesure, applicable aux réseaux
d'alimentation et aux appareils qui y sont raccordés

Electromagnetic compatibility (EMC)

Part 4:

Testing and measurement techniques

Section 7: General guide on harmonics and inter-
harmonics measurements and instrumentation,
for power supply systems and equipment connected
thereto



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 1000-4-7: 1991

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
1000-4-7

Première édition
First edition
1991-07

Compatibilité électromagnétique (CEM)

Partie 4:

Techniques d'essai et de mesure
Section 7: Guide général relatif aux mesures
d'harmoniques et d'interharmoniques, ainsi qu'à
l'appareillage de mesure, applicable aux réseaux
d'alimentation et aux appareils qui y sont raccordés

Electromagnetic compatibility (EMC)

Part 4:

Testing and measurement techniques
Section 7: General guide on harmonics and inter-
harmonics measurements and instrumentation,
for power supply systems and equipment connected
thereto

© CEI 1991 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 pro-
cédé, 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

V

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

SOMMAIRE

	Pages
AVANT-PROPOS	6
INTRODUCTION	8
 Articles	
1 Domaine d'application	10
2 Références normatives	10
3 Définitions, symboles et indices	12
4 Classification générale de l'instrumentation	16
4.1 Caractéristiques du signal à mesurer	16
4.2 Classes de précision de l'instrumentation	18
4.3 Types de mesures	18
5 Prescriptions communes à tous les types d'instrumentation	18
5.1 Prescriptions relatives aux circuits d'entrée	18
5.2 Prescriptions de précision de l'instrumentation	22
5.3 Prescriptions de précision des transformateurs de tension et de courant externes	22
6 Prescriptions particulières pour l'instrumentation travaillant dans le domaine fréquentiel	26
6.1 Généralités	26
6.2 Harmoniques quasi stationnaires	26
6.3 Harmoniques fluctuants	28
6.4 Harmoniques rapidement variables	28
6.5 Prescriptions relatives à la sortie	28
7 Prescriptions particulières pour l'instrumentation travaillant dans le domaine temporel ...	28
7.1 Instrumentation utilisant la transformée de Fourier rapide (FFT) - Concepts généraux	28
7.2 Filtres numériques	34
7.3 Modes opératoires et prescriptions relatives à la sortie	34
8 Méthodes d'évaluation	36
8.1 Filtrage des signaux de sortie	36
8.2 Méthodes futures	38

CONTENTS

	Page
FOREWORD	7
INTRODUCTION	9
Clause	
1 Scope	11
2 Normative references	11
3 Definitions, symbols and indices	13
4 General classification of instrumentation	17
4.1 Characteristics of the signal to be measured	17
4.2 Accuracy classes of instrumentation	19
4.3 Types of measurement	19
5 Common requirements for all types of instrumentation	19
5.1 Requirements for input circuits	19
5.2 Accuracy requirements for instruments	23
5.3 Accuracy requirements for external voltage- and current-transformers	23
6 Special requirements for frequency-domain instrumentation	27
6.1 General	27
6.2 Quasi-stationary harmonics	27
6.3 Fluctuating harmonics	29
6.4 Rapidly changing harmonics	29
6.5 Output requirements	29
7 Special requirements for time-domain instrumentation	29
7.1 Fast Fourier Transform (FFT) instrumentation - General concepts	29
7.2 Digital filters	35
7.3 Operation-mode and output requirements	35
8 Evaluation methods	37
8.1 Output signal filtering	37
8.2 Future methods	39

Articles	Pages
9 Observation de tensions harmoniques en réseau	38
9.1 Types d'appareils de mesure	38
9.2 Fenêtre temporelle et prescriptions de base pour l'instrumentation utilisant la FFT	38
9.3 Gammes de temps pour le traitement statistique des valeurs mesurées	40
10 Cas particuliers de mesures	44
10.1 Mesure du déphasage	46
10.2 Mesure de la distorsion	48
10.3 Mesure des composantes symétriques	50
10.4 Mesure d'interharmoniques	52
11 Effets de l'environnement - Essais d'immunité	54
11.1 Température et humidité	54
11.2 Tension d'alimentation de l'appareil	56
11.3 Tension perturbatrice de mode commun	56
11.4 Décharges électrostatiques	56
11.5 Champs électromagnétiques	56
Figures	58
Annexe A - Bibliographie	66

Clause	Page
9 Voltage harmonic surveys in supply systems	39
9.1 Types of measurement equipment	39
9.2 Window-width and basic requirements for FFT-instrumentation	39
9.3 Time ranges for statistical handling of measured values	41
10 Special cases of measurement	45
10.1 Phase-angle measurement	47
10.2 Distortion measurements	49
10.3 Symmetrical components measurement	51
10.4 Interharmonics measurement	53
11 Effect of environment - Immunity tests	55
11.1 Temperature and humidity	55
11.2 Instrument supply voltage	57
11.3 Common mode interference voltage	57
11.4 Static electricity discharges	57
11.5 Electromagnetic fields	57
Figures	59
Annex A - Bibliography	67

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

COMPATIBILITÉ ÉLECTROMAGNÉTIQUE (CEM)

Partie 4: Techniques d'essai et de mesure Section 7: Guide général relatif aux mesures d'harmoniques et d'interharmoniques, ainsi qu'à l'appareillage de mesure, applicable aux réseaux d'alimentation et aux appareils qui y sont raccordés

AVANT-PROPOS

- 1) Les décisions ou accords officiels de la CEI en ce qui concerne les questions techniques, préparés par des Comités d'Études 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 Norme internationale CEI 1000-4 a été établie par le Sous-Comité 77A: Equipements pour raccordement aux réseaux publics de distribution basse tension, du Comité d'Études n° 77 de la CEI: 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
77A(BC)32	77A(BC)36

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

L'annexe A est donnée uniquement à titre d'information.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY (EMC)

Part 4: Testing and measurement techniques
Section 7: General guide on harmonics and interharmonics
measurements and instrumentation, for power supply systems
and equipment connected thereto

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 International standard IEC 1000-4 has been prepared by Sub-Committee 77A: Equipment for connection to the public low-voltage supply system, of 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
77A(CO)32	77A(CO)36

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

Annex A is for information only.

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
Niveau 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.

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.

COMPATIBILITÉ ÉLECTROMAGNÉTIQUE (CEM)

Partie 4: Techniques d'essai et de mesure Section 7: Guide général relatif aux mesures d'harmoniques et d'interharmoniques, ainsi qu'à l'appareillage de mesure, applicable aux réseaux d'alimentation et aux appareils qui y sont raccordés

1 Domaine d'application

Le présent guide s'applique à l'instrumentation prévue pour la mesure de composantes de tension et de courant dont la gamme de fréquence s'étend du continu à 2 500 Hz. Ces composantes sont superposées à des tensions et des courants dont la fréquence fondamentale est celle du réseau d'alimentation.

Ce guide s'applique également à l'instrumentation de mesure prévue pour les essais d'appareils individuels conformément à des normes donnant des niveaux limites d'émission (par exemple les limites de courant harmonique données dans la CEI 555-2). Il s'applique aussi à l'instrumentation prévue pour la mesure de tension et de courant harmoniques dans des réseaux d'alimentation de puissance. En particulier, ce guide traite de l'observation des harmoniques en réseau.

La procédure d'essai lors des mesures ainsi que les conditions pour les essais d'émission ne sont pas traitées dans ce guide. Ces points sont inclus dans des normes spécifiques.

Le guide concerne particulièrement les harmoniques de la tension d'alimentation, toutefois on peut avoir à mesurer aussi des composantes à d'autres fréquences (interharmoniques).

Dans ce guide, on traite à la fois de l'instrumentation travaillant dans le domaine temporel et de celle travaillant dans le domaine fréquentiel.

Des propositions sont également présentées pour le traitement statistique des mesures d'harmoniques en réseau de façon à rendre les résultats facilement comparables.

Pour les harmoniques fluctuants ou rapidement variables, on fait une distinction entre le procédé de mesure lui-même (dont la constante de temps est toujours relativement faible) et le processus d'évaluation qui traite les données mesurées d'une façon bien définie pour obtenir des résultats facilement comparables avec des limites définies, des valeurs d'acceptation ou de référence.

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 Norme internationale. 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 Norme internationale 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 en vigueur.

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

ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY (EMC)

Part 4: Testing and measurement techniques **Section 7: General guide on harmonics and interharmonics** **measurements and instrumentation, for power supply systems** **and equipment connected thereto**

1 Scope

This guide is applicable to instrumentation intended for measuring voltage or current components with frequencies in the range of d.c. to 2 500 Hz which are superimposed on the voltage or current at the power supply frequency.

This guide is also applicable to measurement instrumentation intended for testing individual items of equipment in accordance with emission limits given in standards (e.g. harmonic current limits as given in IEC 555-2) as well as for the measurement of harmonic voltages and currents in actual supply systems. The survey of harmonics in the power supply systems is of particular concern.

The test procedure for measurements and test conditions for emission testing are not dealt with in this guide; these requirements are included in the particular standards.

Harmonics of the supply frequency are of special concern but components at other frequencies (interharmonic components) may also have to be measured.

Frequency-domain and time-domain instrumentation are both considered in this guide.

Tentative recommendations are also given for the statistical analysis of harmonic measurements in the supply in order to make the comparison of results easier.

For fluctuating and rapidly changing harmonics, a distinction is made between the measurement process itself with its relatively small time constant, and the evaluation process which handles the measurement data in a defined manner in order to compare the results with stated limits, acceptance or reference values.

2 Normative references

The following standards 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 standards 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 standards indicated below. Members of IEC and ISO maintain registers of currently valid International Standards.

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

CEI 348: 1978, *Règles de sécurité pour les appareils de mesure électroniques.*

CEI 555-1: 1982, *Perturbations produites dans les réseaux d'alimentation par les appareils électrodomestiques et les équipements analogues. Première partie: Définitions.*

CEI 555-2: 1982*, *Perturbations produites dans les réseaux d'alimentation par les appareils électrodomestiques et les équipements analogues. Deuxième partie: Harmoniques.*

CEI 801-2: 1984, *Compatibilité électromagnétique pour les matériels de mesure et de commande dans les processus industriels. Deuxième partie: Prescriptions relatives aux décharges électrostatiques.*

3 Définitions, symboles et indices

3.1 tension U_m : Composante de fréquence f_m de la tension d'alimentation.

3.2 courant I_m : Composante de fréquence f_m du courant d'alimentation.

NOTE - Les expressions U_m (ou I_m) et f_m sont remplacées par U_n (ou I_n) et f_n si les quantités en question sont des harmoniques de rang n de la fréquence du réseau d'alimentation.

3.3 définitions relatives aux harmoniques: Se reporter au chapitre 161 du VEl ou à la CEI 555-1.

Notations: On utilisera dans ce guide les notations qui suivent pour le développement en série de Fourier parce qu'elles sont mieux adaptées pour déterminer les angles de phases par rapport au passage par zéro:

$$f(\omega t) = c_0 + \sum_{n=1}^{\infty} c_n \sin(n\omega_1 t + \varphi_n)$$

$$c_n = b_n + ja_n = c_n e^{j\varphi_n}; \varphi_n = \arctan\left(\frac{a_n}{b_n}\right)$$

$$b_n = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(\omega t) \sin(n\omega_1 t) d(\omega t)$$

$$a_n = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(\omega t) \cos(n\omega_1 t) d(\omega t)$$

$$c_0 = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} f(\omega t) d(\omega t)$$

où:

ω_1 est la pulsation du fondamental ($\omega_1 = 2\pi f_1$);

c_n est l'amplitude complexe de la composante de fréquence $f_n = nf_1$;

c_0 est la composante continue.

NOTE - Au sens strict, ces définitions ne s'appliquent qu'à des signaux stationnaires.

* En révision

IEC 348: 1978, *Safety requirements for electronic measuring apparatus.*

IEC 555-1: 1982, *Disturbances in supply systems caused by household appliances and similar electrical equipment - Part 1: Definitions:*

IEC 555-2 1982*, *Part 2: Harmonics. Disturbances in supply systems caused by household appliances and similar electrical equipment.*

IEC 801-2: 1984, *Electromagnetic compatibility for industrial-process measurement and control equipment - Part 2: Electrostatic discharge.*

3 Definitions, symbols and indices

3.1 voltage U_m : Component at frequency f_m of the supply voltage.

3.2 current I_m : Component at frequency f_m of the supply current.

NOTE - The expressions U_m (or I_m) and f_m are replaced by U_n (or I_n) and f_n when harmonic quantities of order n related to the power supply frequency are considered.

3.3 definitions related to harmonics: Refer to IEC 50(161) and IEC 555-1.

Notations: The following notations are used in the present guide for the Fourier series development because it is easier to measure phase angles by observations of the zero crossings:

$$f(\omega t) = c_0 + \sum_{n=1}^{\infty} c_n \sin(n\omega_1 t + \varphi_n)$$

$$\underline{c}_n = b_n + ja_n = c_n e^{j\varphi_n}; \quad \varphi_n = \arctan\left(\frac{a_n}{b_n}\right)$$

$$b_n = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(\omega t) \sin(n\omega_1 t) d(\omega t)$$

$$a_n = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(\omega t) \cos(n\omega_1 t) d(\omega t)$$

$$c_0 = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} f(\omega t) d(\omega t)$$

where:

ω_1 is the angular frequency of the fundamental ($\omega_1 = 2\pi f_1$);

$\underline{c}_n$ is the complex amplitude of the component with frequency $f_n = nf_1$;

c_0 is the d.c. component.

NOTE - Strictly speaking these definitions apply to steady-state signals only.

* Under revision.

3.4 Interharmoniques: Composantes de fréquence situées entre les harmoniques de la fréquence du réseau.

3.5 instrumentation travaillant dans le domaine fréquentiel: Instrumentation qui réalise le traitement du signal à l'aide d'un filtrage analogique.

3.6 instrumentation travaillant dans le domaine temporel: Instrumentation qui réalise l'analyse du signal par échantillonnage temporel puis le traitement numérique des échantillons. La transformée de Fourier rapide (FFT) est l'algorithme de calcul le plus largement employé dans l'analyse harmonique.

3.7 Symboles

<i>a</i>	partie imaginaire (amplitude) des coefficients de la série de Fourier
<i>b</i>	partie réelle (amplitude) des coefficients de la série de Fourier
<i>c</i>	coefficient complexe de la série de Fourier
<i>d</i>	facteur de distorsion
<i>f</i>	fréquence; fonction
<i>f₁</i>	fréquence fondamentale
<i>j</i>	$\sqrt{-1}$
<i>p</i>	pourcentage de la fonction de probabilité cumulée
<i>t</i>	temps courant
<i>x</i>	valeur échantillonnée
<i>B</i>	bande passante
<i>C</i>	valeur efficace de la raie spectrale
<i>D</i>	facteur de distorsion pondéré
<i>I</i>	courant (valeur efficace)
<i>M</i>	nombre entier; nombre d'échantillons inclus dans la fenêtre temporelle
<i>PCC</i>	point commun de couplage
<i>T</i>	intervalle de temps
<i>T₁</i>	période du fondamental
<i>T_w</i>	largeur de la fenêtre temporelle ($T_w = NT_1$)
<i>U</i>	tension (valeur efficace)
ω	pulsation
φ	angle de phase

3.8 Indices

<i>cap</i>	capacitif
<i>ind</i>	inductif
<i>i</i>	indice courant (entier)
<i>k</i>	indice courant (entier)
<i>m</i>	valeur mesurée; contenu du spectre d'ordre m (non nécessairement entier)

3.4 Interharmonics: Components at frequencies located between the harmonics of the supply frequency.

3.5 frequency-domain instrumentation: Instrumentation which performs the analysis of signals by using analogue filtering technique.

3.6 time-domain instrumentation: Instrumentation which performs the analysis by time sampling of the signals and subsequent numerical handling of the sampled data. Fast-Fourier-transform (FFT) is the most widely used computation algorithm for harmonic analysis.

3.7 Symbols

a	imaginary coefficient (amplitude) of the Fourier series
b	real coefficient (amplitude) of the Fourier series
c	complex coefficient of the Fourier series
d	distortion factor
f	frequency; function
f_1	fundamental frequency
j	$\sqrt{-1}$
p	percentage of cumulated probability function
t	running time
x	sampled value
B	bandwidth
C	r.m.s. value of the spectral line
D	weighted distortion factor
I	current (r.m.s. value)
M	integer number; number of samples within the window width
PCC	point of common coupling
T	time interval
T_1	fundamental period
T_w	NT_1 window width
U	voltage (r.m.s. value)
ω	angular frequency
φ	phase angle

3.8 Indices

cap	capacitive
ind	inductive
i	running integer number
k	running integer number
m	measured value; spectral content of order m (not necessarily integer)

<i>n</i>	rang d'harmonique; indice courant (entier)
<i>r</i>	valeur assignée
<i>s</i>	synchronisé, échantillonné
<i>J</i>	jour
<i>L</i>	long
<i>N</i>	valeur nominale
<i>c</i>	court
<i>tc</i>	très court
<i>s</i>	semaine

4 Classification générale de l'instrumentation

On peut établir une classification de l'instrumentation selon trois paramètres: les caractéristiques du signal U_m ou I_m à mesurer, la classe de précision de l'appareillage et le type de mesure à effectuer (tension, courant, etc.). Des recommandations pour couvrir ces différents besoins sont données séparément dans ce guide.

L'instrumentation peut être conçue soit pour satisfaire à un besoin particulier et à son application (par exemple la mesure d'harmoniques permanents sur le réseau d'alimentation) soit pour satisfaire aux prescriptions relatives à différents cas (par exemple mesure de tension et de courant, mesure d'harmoniques et d'interharmoniques).

4.1 Caractéristiques du signal à mesurer

On considère différentes prescriptions pour l'appareillage selon les caractéristiques des signaux à mesurer:

- harmoniques quasi stationnaires (lentement variables);
- harmoniques fluctuants;
- harmoniques très rapidement variables (ou trains brefs d'harmoniques);
- interharmoniques et autres composantes non désirables.

Dans ce guide, des méthodes de mesure sont données pour ces quatre différents cas. Il n'est toutefois pas possible de définir avec précision les frontières entre les trois premiers cas. Ce n'est que dans les documents d'application qu'il est possible de faire pratiquement un choix entre les méthodes selon les besoins de la CEM à couvrir. Des exemples sont donnés ci-dessous:

- Dans le cas a) il est admissible qu'une analyse continue (sans intervalle de temps entre les mesures successives) n'est pas nécessaire. C'est par exemple le cas de:
 - la mesure des courants harmoniques constants (comme ceux produits par les récepteurs de télévision, les gradateurs de lumière),
 - l'observation de longue durée d'harmoniques en réseau lorsque l'on considère que l'effet instantané des harmoniques n'est pas important.
- Le cas intermédiaire b) requiert une analyse quasi continue en temps réel. C'est le cas de la mesure des courants harmoniques fluctuants dus au changement de vitesse de moteurs ou à leur changement de sens de rotation, ainsi qu'à ceux dus aux appareils électroménagers équipés de régulation électronique et de contrôle de phase. Cela s'applique aussi à la surveillance de la tension réseau de systèmes industriels comme par exemple les laminoirs.

<i>n</i>	harmonic order: running number (integer)
<i>r</i>	rated value
<i>s</i>	sampled; synchronized
<i>D</i>	day
<i>L</i>	long
<i>N</i>	nominal value
<i>Sh</i>	short
<i>VS</i>	very short
<i>Wk</i>	week

4 General classification of instrumentation

The instrumentation may be differentiated according to the characteristics of the signal U_m or I_m to be measured, according to the accuracy classes of instrumentation and according to the type of measurement (voltage, current etc.) required. Recommendations to cover these various needs are given separately in this guide.

The instrumentation may be constructed either to cover a particular need and application (e.g. steady-state harmonics on the supply voltage) or to comply with the requirements for several cases (e.g. voltage and current measurements, harmonics and interharmonics).

4.1 Characteristics of the signal to be measured

The requirements for different types of instrumentation intended to cover the following needs are considered:

- a) quasi-stationary (slowly varying) harmonics;
- b) fluctuating harmonics;
- c) rapidly changing harmonics (or very short bursts of harmonics);
- d) interharmonics and other spurious components.

Methods are given in this guide for these four different cases but it is impossible to define precisely the borderline between the first three categories. The application documents will indicate the most appropriate method for satisfying the EMC required. Examples are given below.

- In case a) it is recognized that a continuous analysis (without time gap between successive measurements) is not necessary. Applications are for example:
 - 1) the measurement of constant harmonic currents (as produced by TV-receivers, light dimmers),
 - 2) the long-term survey of harmonics on the supply system, when instantaneous effects of harmonics are not considered important.
- In the intermediate case b), a continuous real-time analysis is required. One application of that type is the measurement of fluctuating harmonic currents due to motor reversals, speed change, etc. in household appliances with electronic phase control and regulation. Another example would be supply voltage monitoring in industrial systems with e.g. rolling mills.

- Dans le cas c) un traitement continu en temps réel est absolument nécessaire et des prescriptions très précises sont nécessaires pour obtenir des résultats reproductibles. De tels types d'instrumentation pourront devenir nécessaires dans un proche avenir si l'on veut analyser des harmoniques très rapidement variables ou des trains d'harmoniques très brefs qui pourraient être néfastes par exemple pour les récepteurs de télécommande en réseau (la variation peut se produire en 1 s ou beaucoup moins).

Les interharmoniques et autres composantes non désirables sont traités séparément (voir 10.4).

4.2 Classes de précision de l'instrumentation

On distingue deux classes de précision (A et B) pour l'instrumentation destinée à la mesure des harmoniques de courant et de tension, afin de prendre en compte des appareils plus simples et moins chers. Les mesures d'émission effectuées selon la CEI 555-2 nécessitent cependant l'usage d'instrumentation de la classe supérieure A.

4.3 Types de mesures

On donne séparément des recommandations pour les mesures de courants et de tensions harmoniques. On traite également des cas particuliers de mesure (déphasage, facteur de distorsion, distorsion harmonique pondérée, composantes symétriques, etc.).

5 Prescriptions communes à tous les types d'instrumentation

Les prescriptions qui suivent s'appliquent à tout type d'instrumentation, qu'elles travaillent dans les domaines fréquentiel ou temporel. Elles sont valables tant pour les harmoniques stationnaires, fluctuants ou très rapidement variables que pour les interharmoniques.

5.1 Prescriptions relatives aux circuits d'entrée

5.1.1 Circuit d'entrée en tension

Le circuit d'entrée de l'appareil de mesure doit être adapté à la valeur nominale et à la fréquence de la tension d'alimentation à analyser. Il doit conserver ses caractéristiques et sa précision jusqu'à 1,2 fois la valeur nominale de la tension. Un facteur de crête d'au moins 1,5 est généralement considéré comme suffisant. Toutefois lors de mesures effectuées dans les réseaux industriels où des charges provoquant une forte distorsion sont présentes, le facteur de crête doit au moins être égal à 2. Dans tous les cas, une indication de surcharge est nécessaire.

On suggère que l'application pendant 1 s, sur le circuit, d'une tension alternative égale à quatre fois la valeur nominale d'entrée ou à 1 kV efficace (on choisira la plus petite des deux valeurs) ne devra pas provoquer de détérioration à l'appareil.

Isolement et autres prescriptions: voir l'article 11.

De façon à permettre une utilisation assez universelle de l'appareil sur la plupart des réseaux d'alimentation, on conseille de retenir comme tensions nominales d'entrée les valeurs suivantes:

$$U_N: 115, 230, 400 \text{ V.}$$

- In case c), continuous real-time measurement is absolutely necessary and very precise requirements are necessary to get reproducible results. Such instrumentation may become necessary in the near future to analyse rapidly changing harmonics or very short bursts of harmonics (the changes may occur over 1 s or much less) which may possibly be harmful, for example, to telecontrol-receiver operation on the supply.

Interharmonics and other spurious components are considered separately. (See 10.4.)

4.2 Accuracy classes of instrumentation

Two classes of accuracy (A and B) for voltage and current harmonic analysis are considered, as simple and low-cost instruments may deserve consideration. For emission tests according to IEC 555-2 the upper class A is required.

4.3 Types of measurement

Recommendations for voltage and current harmonic measurements are given separately. Special cases of measurement (phase angle of harmonics, total harmonic distortion, weighted harmonic distortion, symmetrical components measurements, etc.) are also considered.

5 Common requirements for all types of instrumentation

The following requirements are applicable to all types of instrumentation, whether operating in frequency-domain or in time-domain. They are valid for steady-state, fluctuating or very fast changing harmonics and interharmonics.

5.1 Requirements for input circuits

5.1.1 Voltage input circuit

The input circuit of the measuring instrument shall be adapted to the nominal voltage and frequency of the supply voltage to be analyzed and shall keep its characteristics and accuracy unchanged up to 1,2 times this nominal voltage. A crest factor of at least 1,5 is considered sufficient for measurements except for highly distorting loads in industrial networks when a crest factor of at least 2 may be necessary. An overload indication is required in any case.

It is suggested that stressing the input for 1 s by an a.c. voltage of four times the input voltage setting or $1 \text{ kV}_{\text{rms}}$ whichever is less, should not lead to any damage in the instrument.

Other requirements: see clause 11.

To permit a relatively universal use of the instrument for most supply systems, it may be advisable for the input circuit to be designed for the following nominal voltages:

$$U_N: 115, 230, 400 \text{ V.}$$

NOTES

1 La gamme 115 V peut aussi être utilisée en association avec des transformateurs de tension externes. D'autres gammes supplémentaires peuvent aussi être utiles (par exemple 100 V, $100\text{ V}/\sqrt{3}$, $110\text{ V}/\sqrt{3}$).

2 Des entrées de sensibilité plus élevée (0,1; 10 V) sont utiles lorsque l'on se sert de transducteurs externes (voir par exemple 5.1.2). Un facteur de crête au minimum égal à 2 peut être alors nécessaire.

La consommation du circuit d'entrée ne doit pas dépasser 3 VA. Si des entrées avec une forte sensibilité sont fournies ($\leq 50\text{ V}$), leur résistance d'entrée doit être d'au moins $10\text{ k}\Omega/\text{V}$.

Il faut prendre garde à ce que la valeur élevée du fondamental (à la fréquence réseau) vis-à-vis des harmoniques à mesurer ne produise pas de surcharge ou de phénomène d'intermodulation nuisible, dans les étages d'entrée de l'appareil. De telles erreurs doivent être bien inférieures à la précision demandée.

5.1.2 Circuit d'entrée en courant

Les circuits d'entrée doivent convenir aux courants à analyser. Ils doivent permettre une mesure directe du courant et de ses harmoniques et avoir en outre un circuit d'entrée basse tension à haute impédance qui puisse être associé à des shunts externes résistifs (ou une combinaison de transformateurs de courant avec des shunts résistifs). Des gammes de tension d'entrée allant de 0,1 à 1,0 V sont convenables.

Pour les mesures directes de courant, on conseille de fournir des circuits d'entrée adaptés à un ou plusieurs des courants nominaux d'entrée I_N suivants: 0,1; 0,2; 0,5; 1; 2; 5; 16 A (et 10 A, si nécessaire).

La consommation du circuit d'entrée en courant ne doit pas dépasser 3 VA pour l'instrumentation de classe B. Pour l'instrumentation de classe A, la chute de tension d'entrée ne doit pas dépasser 0,15 V.

Le circuit de mesure d'entrée doit pouvoir supporter en permanence un courant de $1,2 I_N$. L'application d'un courant de $10 I_N$ pendant 1 s ne doit provoquer aucune détérioration. Le circuit d'entrée en courant doit accepter des signaux avec un facteur de crête de 3. Une indication de surcharge est nécessaire.

Il faut prendre garde à ce que la valeur de crête du courant, très élevée vis-à-vis de sa valeur efficace (ce qui correspond à un facteur de crête élevé), ou la valeur élevée du fondamental (à la fréquence d'alimentation) comparée à celle des harmoniques à mesurer ne produise pas de surcharge ou de signaux d'intermodulation néfastes dans les étages d'entrée de l'appareil.

Isolement et autres prescriptions: voir l'article 11.

NOTE - Une composante continue est souvent présente dans le courant déformé à mesurer; cette composante peut produire des erreurs importantes dans les transformateurs de courant d'entrée.

Il convient que le constructeur indique, dans les spécifications de l'appareil, le courant continu maximal tolérable de façon à ce que l'erreur supplémentaire produite ne dépasse pas la précision indiquée.

NOTES

1 The first range 115 V may also be used in association with external voltage transformers. Other additional ranges may also be useful for that purpose (e.g. 100 V, $100\text{ V}/\sqrt{3}$, $110\text{ V}/\sqrt{3}$).

2 Inputs with higher sensitivity (0,1; 1; 10 V) are useful for operation with external transducers (see for example 5.1.2). A crest factor of at least 2 may be necessary.

The power absorption of the input-circuit shall not exceed 3 VA. If high sensitivity inputs ($\leq 50\text{ V}$) are provided, their input resistance shall be at least $10\text{ k}\Omega/\text{V}$.

Care should be taken that the high value of the fundamental (supply frequency) as compared to the harmonics to be measured does not produce overload causing damage or harmful intermodulation error signals in the input stages of the instrument; such errors shall be well below the stated accuracy.

5.1.2 Current input circuit

The input circuit should be adapted to the currents to be analyzed. It should provide the direct measurement of the harmonic currents and, besides, should have a low-voltage high impedance voltage input which may be associated with external resistive shunts (or a combination of current transformers with resistive shunts). Appropriate input circuits range from 0,1 V to 1,0 V.

For direct current measurement it is advisable to provide input circuits, fitted for several of the following nominal input currents I_N : 0,1; 0,2; 0,5; 1; 2; 5; 16 A (and 10 A if required).

The power absorption of the current input circuit shall not exceed 3 VA for class B instrumentation. For class A instrumentation, the input voltage drop shall not exceed 0,15 V.

Every measuring input circuit shall be able to be continuously stressed by $1,2 I_N$ and a stressing by $10 I_N$ for 1 s shall not lead to any damage. A crest-factor of 3 is considered appropriate for the input current circuit and an overload indication is required.

Care should be taken that the high peak value of current related to the r.m.s. value (e.g. crest factor), or the high value of the fundamental (supply frequency) as compared to the harmonics to be measured, does not produce overload causing damage or harmful intermodulation error signals in the input stages of the instrument.

For other requirements: see clause 11.

NOTE - A d.c. component is often associated with the distorted current to be measured; such a d.c. component may produce large errors in input current transformers.

The manufacturer should indicate in the instrumentation specifications, the maximum allowed d.c. component such that the additional influence error does not exceed the stated accuracy.

5.2 Prescriptions de précision de l'instrumentation

On propose deux classes de précision pour l'instrumentation destinée à la mesure des courants et des tensions harmoniques. Les erreurs maximales tolérées sont définies dans le tableau 1 ci-après pour un signal d'amplitude fixe, de fréquence déterminée dans la gamme de fréquence de fonctionnement. Ce signal est appliqué dans les conditions de fonctionnement normales indiquées par le constructeur (conditions de température, d'humidité, de tension d'alimentation de l'appareil, etc.).

Tableau 1 - Erreurs maximales de mesures

Classe	Mesure de	Conditions	Erreur maximale permise
A	Tension	$U_m \geq 1 \% U_N$ $U_m < 1 \% U_N$	5 % $\frac{U_m}{U_N}$ 0,05 % $\frac{U_m}{U_N}$
	Courant	$I_m \geq 3 \% I_N$ $I_m < 3 \% I_N$	5 % $\frac{I_m}{I_N}$ 0,15 % $\frac{I_m}{I_N}$
B	Tension	$U_m \geq 3 \% U_N$ $U_m < 3 \% U_N$	5 % $\frac{U_m}{U_N}$ 0,15 % $\frac{U_m}{U_N}$
	Courant	$I_m \geq 10 \% I_N$ $I_m < 10 \% I_N$	5 % $\frac{I_m}{I_N}$ 0,5 % $\frac{I_m}{I_N}$

U_m, I_m sont les valeurs mesurées (voir définitions)

U_N, I_N sont les calibres nominaux d'entrée de l'appareil

NOTE - Lorsque l'on essaye des appareils selon la CEI 555-2, l'incertitude est rapportée, dans cette norme, soit aux limites tolérées (5% de ces limites) soit au courant nominal (I_r) de l'appareil à l'essai (0,15 % de I_r) la plus grande de ces deux valeurs).

Quand il faut mesurer des harmoniques de rang supérieur à 15 pour un courant nominal dont la valeur est supérieure à 5 A avec la précision maximale, il est conseillé d'employer des shunts externes ou des transducteurs de courant tels que l'étendue de mesure obtenue soit égale au courant nominal de l'appareil à l'essai (voir figure 1).

Pour l'instrumentation prévue seulement pour les mesures d'harmoniques, les erreurs ne concernent que ces fréquences harmoniques.

L'obtention de la précision indiquée au tableau 1 pourra nécessiter un réglage simple de l'appareil, que devra clairement indiquer le constructeur (au moyen d'un calibrage interne ou externe).

L'erreur du calibrateur (s'il est interne) devra être donnée séparément. Les erreurs dues aux paramètres d'influence les plus importants (température, tension d'alimentation auxiliaire, etc.) devront être indiquées par le constructeur pour l'appareil lui-même et pour le calibrateur interne s'il est fourni.

5.3 Prescriptions de précision des transformateurs de tension et de courant externes

La précision des transformateurs de tension (TT) et des transformateurs de courant (TC) doit être adaptée aux prescriptions de précision relatives aux instruments de mesure: l'erreur relative (par rapport à la valeur mesurée) ne doit pas dépasser 5 %. Lorsque l'on teste des appareils conformément à la CEI 555-2, l'erreur relative de l'appareillage complet de mesure ne doit pas dépasser 5 % (voir tableau 1).

5.2 Accuracy requirements for instruments

Two classes of accuracy are suggested for instrumentation measuring voltage and current harmonics. The maximum allowable errors in table 1 refer to single-frequency and constant signals, in the operating frequency range, applied to the instrument under rated operating conditions to be indicated by the manufacturer (temperature range, humidity range, instrument supply voltage, etc.).

Table 1 - Maximum measurement errors

Class	Measurement	Conditions	Maximum allowable error
A	Voltage	$U_m \geq 1 \% U_N$ $U_m < 1 \% U_N$	5 % $\frac{U_m}{U_N}$ 0,05 % $\frac{U_m}{U_N}$
	Current	$I_m \geq 3 \% I_N$ $I_m < 3 \% I_N$	5 % $\frac{I_m}{I_N}$ 0,15 % $\frac{I_m}{I_N}$
B	Voltage	$U_m \geq 3 \% U_N$ $U_m < 3 \% U_N$	5 % $\frac{U_m}{U_N}$ 0,15 % $\frac{U_m}{U_N}$
	Current	$I_m \geq 10 \% I_N$ $I_m < 10 \% I_N$	5 % $\frac{I_m}{I_N}$ 0,5 % $\frac{I_m}{I_N}$

U_m, I_m are the measured values (see definitions)
 U_N, I_N are the nominal input ranges of the instrument

NOTE - When testing appliances according to IEC 555-2, the uncertainty terms are respectively related in this standard to the permissible limits (5 % of the permissible limits) or to the rated current (I_r) of the tested appliance (0,15 % I_r), whichever is greater.

When it is necessary to assess harmonics with an order greater than 15 and with a rated current greater than 5 A with the maximum accuracy, it is advisable to use external shunts or current transducers matched to give a range equal to the rated current of the tested equipment (see figure 1).

For instrumentation intended only for measuring harmonics, the errors apply only to harmonics frequencies.

The achievement of the accuracy stated in table 1 may require, according to clear indications to be given by the manufacturer, some simple adjustment of the instrument by means of an internal or external calibrator.

The error of the calibrator (if internal) should be given separately. The most important influence errors (temperature, auxiliary mains supply voltage, etc.) should be indicated by the manufacturer for the instrument itself and for the internal calibrator if it is provided.

5.3 Accuracy requirements for external voltage- and current-transformers

The accuracy of voltage-transformers (VT) and current-transformers (CT) shall match the accuracy requirements for measurement instruments, i.e. the relative error (related to the measured value) shall not exceed 5 %. When testing appliances according to IEC 555-2, the relative error of the total measurement equipment shall not exceed 5 % (see table 1).

Dans le cas d'observation sur des réseaux d'alimentation où l'on mesure habituellement des valeurs relatives d'harmoniques (par rapport au fondamental) de tension ou de courant, seul le rapport de transformation en fonction de la fréquence du TT ou du TC est important, et non la précision à la fréquence nominale. En conséquence, l'écart du rapport de transformation dans la gamme harmonique par rapport à sa valeur nominale (à la fréquence fondamentale) ne doit pas dépasser la valeur de 5 % recommandée ci-dessus.

Si l'on veut de plus réaliser des mesures de déphasage, l'erreur respective des TC ou des TT ne doit pas dépasser 5°, en particulier dans le cas où il faut déterminer le sens de transit de la puissance harmonique active par exemple pour déterminer des sources d'harmoniques (voir 10.1).

Des résultats de mesure de rapports de transformation sur environ 40 TT (dans une gamme de tension de 6 kV à 400 kV) sont rassemblés en figure 2. On y voit le pourcentage p des TT dont le rapport de transformation s'écarte de 5 % au plus (ou de 5° au plus) pour une fréquence donnée. Le faible nombre de mesures réalisées jusqu'à présent sur des TC ne permet pas de fournir une figure similaire.

A partir de toutes les mesures réalisées, on peut tirer les conclusions suivantes:

- les TT et les TC sont bien adaptés pour la mesure de fréquences harmoniques en BT;
- les TT en MT, compte tenu de la précision requise en amplitude (5 %) semblent en général bien adaptés jusqu'à 1 kHz; environ 60 % de l'ensemble des TT couvrent toute la gamme des harmoniques;
- les TT en MT, compte tenu de la limite supplémentaire de 5°, semblent bien adaptés jusqu'à 700 Hz; environ 50 % de l'ensemble des TT couvrent toute la gamme des harmoniques;
- actuellement, il y a peu de mesure disponible pour les TC en MT: tous conviennent pour les mesures d'amplitude dans la gamme harmonique. Dans le cas de mesures de phases, cette gamme est réduite à environ 1,5 kHz;
- les TT en HT ne conviennent en général que jusqu'à 0,5 kHz. Si des mesures particulières sont prises pour assurer le maintien du rapport de transformation, les TT peuvent alors couvrir toute la gamme harmonique: c'est ce que l'on peut attendre des TT les plus récents;
- les TT en THT ne conviennent que jusqu'au 5° ordre; si des dispositions de mesure spéciales sont prises, les erreurs peuvent être acceptables jusqu'à 1 kHz;
- peu de mesures sont disponibles sur les TC en HT et THT, l'erreur en fonction de la fréquence des TC peut être assez grande mais elle est en général inférieure à celles des TT.

Si l'on doit faire des mesures de tension très précises, il est conseillé d'utiliser des diviseurs résistifs ($U_N < 1$ kV) ou des diviseurs capacitifs ($U_N \geq 1$ kV).

Dans certains cas, on peut trouver des TCT (c'est-à-dire une combinaison entre un diviseur capacitif en un transformateur d'isolation); ils ne conviennent pas à la mesure des harmoniques. En séparant dans le TCT la partie TT et si besoin en rajoutant un condensateur supplémentaire, on peut facilement obtenir un diviseur capacitif.

Le rapport de transformation des pinces de courant électroniques couvre toute la gamme harmonique mais leur niveau d'isolation réduit en général leur usage à des circuits basse tension, par exemple le secondaire d'un TC. Les faibles courants d'offset de ces transducteurs peuvent fausser la mesure de la composante continue.

In case of surveys on supply systems, where relative harmonic quantities (related to the fundamental) of voltage or current have normally to be measured, only the frequency dependent transfer ratio of the CT or VT is important, and not the accuracy at nominal frequency. Therefore, the deviation of the transfer ratio in the harmonic range from the nominal value (at fundamental frequency) shall not exceed the above recommended value of 5 %.

If measurements of phase angles have to be performed additionally, the respective error of the CT or VT shall not exceed 5°, especially in the case where the direction of the active harmonic power flow has to be established, for example to detect harmonic sources (see 10.1).

The results of transfer ratio measurements on about 40 VT's (voltage range from 6 kV to 400 kV) are gathered in figure 2. It shows the percentage p of VT's, the transfer ratio of which has a maximum deviation of 5 % (or 5°) up to a given frequency. The small number of measurement of CT's up to now does not yet allow a similar representation.

From all measurements, the following conclusions may be drawn:

- VT's and CT's for LV are well suited for the harmonic frequency-range;
- considering only the required amplitude accuracy of 5 %, VT's for MV seem generally appropriate up to 1 kHz; about 60 % of all VT's cover the full harmonic range;
- with the additional requirement of 5° accuracy, VT's for MV seem to be apt up to 700 Hz; about 50 % of all VT's cover the full harmonic range;
- only a few actual measurements are available for MV-CT's; all are well suited for measurements of amplitudes in the harmonic range. In the case of phase angle measurement this range is reduced to about 1,5 kHz;
- VT's for HV, generally are well suited only up to 0,5 kHz. If special measures for a good transfer-ratio are taken, then the VT's may cover the total harmonic range; this may be expected with "younger" VT's;
- VT's for EHV seem not to be suited for harmonic measurements above the 5th order; if special design measures are taken, the errors may be acceptable at least up to 1 kHz;
- only a few measurements are available for HV- and EHV-CT's; the frequency dependent error can be very large, but the error of CT's is usually less than that of VT's.

If very precise voltage measurements have to be performed, the use of ohmic dividers ($U_N < 1$ kV) or capacitive dividers ($U_N \geq 1$ kV) is recommended.

In many cases, a capacitive voltage transformer (CVT) (i.e. a combination of capacitive divider and inductive isolation transformer) is available: this is not always suited for harmonic measurements especially high order harmonics. By segregating the VT from the circuit and if necessary inserting an additional capacitor, a capacitive divider may be obtained.

The transfer ratio of electronic clip-on current transducers covers the full harmonic range, but their insulation level normally restricts their use to low voltage circuits, for example in the secondary of CT's. Small offset currents of these transducers may falsify the d.c. component if measured.

6 Prescriptions particulières pour l'instrumentation travaillant dans le domaine fréquentiel

6.1 Généralités

Tout type d'appareil travaillant dans le domaine fréquentiel peut, en principe, être utilisé dans la mesure où il satisfait aux prescriptions. Cette instrumentation peut par exemple utiliser des amplificateurs sélectifs, des récepteurs à hétérodynage, des filtres multiples passifs, etc.

Un schéma général est donné en figure 3:

NOTE - On ne recommande pas d'utiliser un balayage automatique en fréquence pour les essais d'émission car ce balayage devrait être très lent pour mesurer correctement les valeurs stationnaires.

6.2 Harmoniques quasi stationnaires

Réjection du fondamental et des autres composantes harmoniques.

Ces prescriptions définissent l'atténuation minimale rapportée à f_n ($f_n = nf_1$ où f_1 est la fréquence du fondamental de la tension d'alimentation) qui est la fréquence de l'harmonique de rang n à mesurer et sur laquelle l'instrument est commuté.

L'atténuation est mesurée sur la sortie indicatrice ou enregistreuse de l'appareil. Elle est ramenée à la valeur de la fréquence f_n quand on injecte un signal unique d'une fréquence différente de f_n à l'entrée de l'appareil.

Les valeurs du tableau 2 s'appliquent à des mesures de courants et de tensions.

Tableau 2 - Prescriptions d'atténuation

Signal injecté de fréquence unique	Valeur de f_n	Atténuation minimale dB
Harmoniques proches $f_n - f_1$ et $f_n + f_1$	$2f_1 \leq f_n \leq 12f_1$	30
	$12f_1 < f_n \leq 20f_1$	20
	$20f_1 < f_n \leq 50f_1$	15
Fréquence $\leq 0,5 f_n$	Toute valeur de f_n	50
Fondamental (de la tension d'alimentation) f_1	Toute valeur de f_n	60* 70**
* Pour toutes les mesures de courant et pour les mesures de tension de classe B. ** Pour les mesures de tension avec de l'instrumentation de classe A.		

NOTE - Ces valeurs d'atténuation tiennent compte du fait que l'erreur est nettement moins que proportionnelle à l'amplitude relative des harmoniques latéraux pour les appareils travaillant dans le domaine fréquentiel et ayant en sortie un circuit redresseur en valeur efficace ou valeur moyenne.

6 Special requirements for frequency-domain instrumentation

6.1 General

Any type of frequency-domain instrumentation may in principle be used provided it meets the specifications. Instrumentation may for example use selective amplifier, heterodyne, multiple passive filters, etc.

The overall schematic diagram is given in figure 3.

NOTE - Automatic frequency sweeping is not recommended for emission tests as the sweep should be extremely slow to measure correctly the steady-state value.

6.2 Quasi-stationary harmonics

Rejection of fundamental and other harmonic components.

These requirements define the minimum attenuation with reference to f_n ($f_n = nf_1$; f_1 : fundamental supply frequency) which is the frequency of the harmonic of order n to be measured and for which the instrument is set.

The attenuation is measured at the indicating or recording output with reference to the value at frequency f_n , when a single frequency signal, at a harmonic frequency different from f_n , is applied to the input of the instrument.

The values of table 2 are applicable for voltage and current measurements.

Table 2 - Attenuation requirements

Single frequency injected signal	Value of f_n	Minimum attenuation dB
Neighbouring harmonic $f_n - f_1$ and $f_n + f_1$	$2f_1 \leq f_n \leq 12f_1$	30
	$12f_1 < f_n \leq 20f_1$	20
	$20f_1 < f_n \leq 50f_1$	15
Frequency $\leq 0,5 f_n$	Any value of f_n	50
Fundamental (supply) frequency f_1	Any value of f_n	60* 70**
* For all current measurements and class B voltage measurements. ** For voltage measurement with class A instrumentation.		

NOTE - These attenuation values take into consideration the fact that the error is far less than proportional to the relative amplitude of the sideband harmonics in the case of frequency-domain instrumentation having a mean value or r.m.s. rectifier circuit at the output of the instrument.

6.3 Harmoniques fluctuants

La prescription d'atténuation indiquée en 6.2 doit être satisfaite, f_n étant la fréquence à laquelle la mesure est effectuée.

De plus, la bande passante à –3 dB doit être comprise entre 3 Hz et 10 Hz.

Si l'on doit mesurer des valeurs proches des limites définies selon la CEI 555-2 et que l'on ait des doutes sur les résultats, l'appareil de mesure de référence selon cette norme doit avoir une bande passante de $3 \text{ Hz} \pm 0,5 \text{ Hz}$ entre les points à –3 dB et présenter une atténuation minimale de 25 dB pour des signaux de fréquence unique égale à $f_n - 15 \text{ Hz}$ ou $f_n + 15 \text{ Hz}$.

6.4 Harmoniques rapidement variables

Il n'est pas envisagé de mesurer des phénomènes rapidement variables avec des appareils travaillant dans le domaine fréquentiel.

6.5 Prescriptions relatives à la sortie

La sortie de la partie de filtrage analogique de l'appareil doit être redressée (redressement donnant une valeur moyenne ou une valeur efficace) et préliée selon le 6.3 pour fournir une sortie correspondant à c_n sur la figure 3. A des fins d'évaluation, voir l'article 8, un lissage ultérieur peut être nécessaire.

L'enregistreur et/ou l'indicateur (même s'il est externe par rapport à l'analyseur d'onde) est considéré comme une partie de l'appareil de mesure pour les spécifications données dans ce guide (par exemple pour la détermination de la réponse à un échelon et pour la sélectivité).

7 Prescriptions particulières pour l'instrumentation travaillant dans le domaine temporel

7.1 Instrumentation utilisant la transformée de Fourier rapide (FFT) - Concepts généraux

La transformée de Fourier discrète (TFD), fondée sur les séries de Fourier, est définie comme suit:

$$a_n = \frac{2}{M} \sum_{k=0}^{M-1} x_k \cos \left(n \frac{2\pi k}{M} \right)$$

$$b_n = \frac{2}{M} \sum_{k=0}^{M-1} x_k \sin \left(n \frac{2\pi k}{M} \right)$$

Les appareils qui réalisent la transformée de Fourier discrète en utilisant des algorithmes rapides, ([1] à [4])¹⁾ appelés transformées de Fourier rapides sont principalement constitués, comme on peut le voir illustré sur la figure 3, de:

1) Les références entre crochets se rapportent à l'annexe A.

6.3 Fluctuating harmonics

The attenuation requirements of 6.2 shall be fulfilled, f_n being the frequency at which measurement is performed.

In addition, the bandwidth at -3 dB shall be included between 3 Hz and 10 Hz.

In case of doubt when in emission tests according to IEC 555-2 measured values are close to the limit values, a reference measurement instrument according to this standard shall be used. It shall have a bandwidth of 3 Hz $\pm$ 0,5 Hz between points at -3 dB and have a minimum attenuation of 25 dB for a single frequency signal at a frequency equal to $f_n - 15$ Hz or $f_n + 15$ Hz.

6.4 Rapidly changing harmonics

It is not recommended to measure rapidly changing phenomena with frequency-domain instruments.

6.5 Output requirements

The output of the analogue filtering section of the instrument has to be rectified (simple averaging rectifier or with an r.m.s. characteristic) and pre-smoothed according to 6.3 to provide the output corresponding to c_n in figure 3. For evaluation purposes (see clause 8) a further smoothing may be required.

The recorder and/or indicator (even if external with regard to the wave analyzer) is considered as part of the measurement equipment for the specifications given in this guide (for the assessment of the step-response and selectivity, for example).

7 Special requirements for time-domain instrumentation

7.1 Fast Fourier Transform (FFT) instrumentation - General concepts

The discrete Fourier transform (DFT) based on the fundamental Fourier series is defined as follows:

$$a_n = \frac{2}{M} \sum_{k=0}^{M-1} x_k \cos \left(n \frac{2\pi k}{M} \right)$$

$$b_n = \frac{2}{M} \sum_{k=0}^{M-1} x_k \sin \left(n \frac{2\pi k}{M} \right)$$

Instruments which realize the DFT by using fast algorithms ([1] to [4])¹⁾, so called Fast Fourier Transforms (FFT), consist according to figure 3 mainly of:

¹⁾ Figures in square brackets refer to annex A.

- un filtre anti-repliement,
- un convertisseur analogique-numérique comprenant un échantillonneur bloqueur,
- un système de synchronisation et une fenêtre de pondération si nécessaire,
- un processeur de FFT donnant les coefficients de Fourier a_n et b_n ,
- un processeur arithmétique donnant les quantités c_n des raies spectrales (harmoniques) et parfois leur déphasage φ_n .

Le signal $f(t)$ qui doit être analysé passe par un filtre passe bas qui élimine ses composantes spectrales supérieures à la gamme de fonctionnement de l'appareil ([1], [2]). Cette gamme comprend de préférence les rangs harmoniques $n = 1, \dots, 50$ et de façon optionnelle la composante continue ($n = 0$). Le signal filtré est échantillonné, chaque échantillon est transformé en une grandeur numérique puis stocké. $M = 2^i$ échantillons constituent une fenêtre temporelle de durée T_w (largeur de la fenêtre) sur laquelle la FFT sera réalisée ($i = 7, 8, \dots$). La période T_w doit être un multiple N de la période T_1 du fondamental de la tension du réseau d'alimentation: $T_w = NT_1$. La fréquence d'échantillonnage est $f_s = 2^i / (NT_1)$.

Avant le traitement proprement dit par la FFT, les échantillons de la fenêtre temporelle T_w peuvent être pondérés par une fonction symétrique particulière (fenêtre de pondération). Il est préférable d'utiliser une fenêtre rectangulaire qui pondère chaque échantillon de la même façon mais la pondération de Hanning qui correspond à une fonction $\sin^2$ est aussi communément utilisée. D'autres formes existent également [1].

Si l'on utilise une fenêtre rectangulaire, la fréquence d'échantillonnage et par suite la fenêtre temporelle T_w doit être très précisément asservie sur la fréquence fondamentale f_1 . Cela n'est pas absolument nécessaire avec une fenêtre de Hanning mais, si l'on doit mesurer le déphasage absolu par rapport au fondamental, alors l'asservissement en fréquence doit être utilisé.

Le processeur de FFT fournit les coefficients orthogonaux de Fourier a_k et b_k aux fréquences correspondantes $f_k = k \times 1/T_w$, $k = 0, 1, 2, \dots, 2^{i-1}$. Si la synchronisation est suffisante, le rang harmonique relatif n par rapport au fondamental f_1 est donné par $n = k/N$.

Le processeur arithmétique calcule les amplitudes harmoniques $c_n = \sqrt{a_n^2 + b_n^2}$ et de façon optionnelle les déphasages $\varphi_n = \arctan(a_n / b_n)$.

NOTE - La FFT décrite ci-avant est la méthode la plus commune utilisée pour l'analyse fréquentielle. Elle nécessite le traitement de $N = 512, \dots, 2048$ échantillons par fenêtre temporelle (en supposant une fréquence d'échantillonnage de l'ordre de 5 kHz) ce qui conduit au calcul de $256, \dots, 1024$ raies spectrales. Dans notre contexte (mesure des harmoniques en réseau), seules les 40 raies spectrales correspondantes nous sont vraiment nécessaires si l'on ne s'intéresse pas aux interharmoniques. On peut considérer qu'il suffit de calculer les 40 raies spectrales intéressantes. Dans ce cas, un échantillonnage synchronisé et une fenêtre rectangulaire doivent être utilisés.

D'autres approches pourraient consister en un filtrage passe-bas et une réduction en fréquence avant de réaliser le calcul de la série de Fourier.

Afin de rendre comparable les mesures effectuées par des instruments de mesure travaillant dans les domaines fréquentiel et temporel, les recommandations suivantes sont données.

- anti-aliasing filter,
- A/D-converter including sample and hold-unit,
- synchronization and window-shaping-unit if necessary,
- FFT-processor providing the Fourier coefficients a_n and b_n ,
- arithmetic-processor providing the amounts c_n of the spectral lines (harmonics) and possibly their phase-lag ϕ_n .

The signal $f(t)$ which has to be analyzed is low-pass filtered to eliminate frequencies higher than the operating range of the instrument ([1], [2]). This range shall preferably comprise the harmonic orders $n = 1 \dots 50$ and optionally the d.c.-component ($n = 0$). The filtered signal is sampled, A/D-converted and stored. $M = 2^i$ samples form a window of time T_w ("window width") on which FFT is performed ($i = 7, 8, \dots$). The period T_w shall be a multiple N of the fundamental-period T_1 of the system voltage: $T_w = NT_1$. The sampling rate is $f_s = 2^i / (NT_1)$.

Before FFT-processing, the samples in the time-window T_w possibly could be weighted by multiplying them with a special symmetrical function ("window shape"). It is preferable to use a rectangular window which weights all samples equally; the "Hanning" window corresponding to a $\sin^2$ -function is commonly used, too; some other shapes exist [1].

If a rectangular window is used, the sampling rate and thus the time-window T_w shall be very strictly synchronized to the fundamental frequency f_1 . This may not be necessary with a Hanning-window, but if the absolute phase lag related to the fundamental is to be measured, then synchronization shall be used.

The FFT-processor yields the orthogonal Fourier-coefficients a_k and b_k of the corresponding frequencies $f_k = k \times 1/T_w$, $k = 0, 1, 2 \dots 2^{i-1}$. When there is sufficient synchronization the harmonic order n related to the fundamental frequency f_1 is given by $n = k/N$.

The arithmetic-processor calculates the harmonic amplitudes $c_n = \sqrt{a_n^2 + b_n^2}$ and optionally the phase-lag $\phi_n = \arctan(a_n / b_n)$.

NOTE - The FFT as described above is the commonly used method for frequency analysis. It will require the treatment of $N = 512 \dots 2048$ samples per time window (assuming a sampling rate of approximately 5 kHz), leading to $256 \dots 1024$ calculated frequency lines. In view of the general aim (measurement of harmonics of the supply), an option to measure only those 40 lines which correspond to the harmonic orders $n = 1 \dots 40$ could be included as the full resolution will only be required when dealing with interharmonics. A direct calculation of these 40 lines only, according to the definition of the Fourier series can be considered appropriate. In this case, synchronous sampling and a rectangular window shall be used.

Other approaches might include a low-pass filtering and frequency reduction before performing the Fourier series.

To allow for an intercomparison between measurements performed with frequency domain instrumentation and time domain instrumentation, the following recommendations are given.

7.1.1 Harmoniques quasi stationnaires

Les harmoniques quasi stationnaires peuvent être mesurés point par point et de façon non continue. En conséquence, la largeur de la fenêtre n'est limitée que par la contrainte de sélectivité. La bande passante équivalente B à 3 dB, par analogie avec les appareils travaillant dans le domaine fréquentiel, est approximativement de $B = 0,9/T_w$ dans le cas de la fenêtre rectangulaire et de $B = 1,4/T_w$ dans le cas d'une fenêtre de Hanning. Ainsi, pour une bande passante équivalente B comprise entre 10 et 3 Hz, la largeur de la fenêtre est comprise entre 0,1 et 0,3 s pour la fenêtre rectangulaire et 0,15 et 0,5 s pour la fenêtre de Hanning.

Si, dans le cas d'une fenêtre rectangulaire, la fréquence d'échantillonnage $f_s = 2^i \times f_{\text{syn}}/N$ est exactement asservie en fréquence sur la fréquence du fondamental ($f_{\text{syn}} = f_1$) alors la mesure à la fréquence f_m n'est pas du tout entachée d'erreur par la présence des fréquences adjacentes $f_m \pm f_k$; la fonction de transfert a ses racines à f_k . Par contre, un écart d'asservissement déplace ces racines. Pour une valeur limite de $|f_{\text{syn}} - f_1| / f_1 = 3 \cdot 10^{-4}$, les mêmes prescriptions que pour l'instrumentation travaillant dans le domaine fréquentiel (voir 5.1, tableau 2) ne sont satisfaites que si l'on rejette les fréquences adjacentes. D'autres fréquences f , par exemple des interharmoniques sont atténuées d'environ 30 dB à 40 dB si $|f - f_m| > f_1$.

Un asservissement en fréquence aussi strict n'est pas nécessaire pour une fenêtre de Hanning car l'atténuation des fréquences voisines est meilleure. Par contre la pondération par une fonction $\sin^2$ - outre d'autres inconvénients - introduit de nouvelles raies spectrales dans le signal d'origine $f(t)$.

Les raies spectrales contenues dans le signal $f(t)$ et dont les fréquences sont supérieures à $f_s/2$ sont "repliées" dans la gamme de mesure sans atténuation apportée par la FFT. En conséquence, elle doivent être supprimées par un filtre additionnel (anti-repliement) dont l'atténuation doit être au moins de 50 dB.

7.1.2 Harmoniques fluctuants et très rapidement variables

Ils doivent être mesurés de façon continue en particulier durant les essais d'émission.

Pour une évaluation en temps différé, un système d'enregistrement numérique ayant une capacité de stockage suffisante est satisfaisant. Cependant si un traitement en temps réel est nécessaire, l'observation du signal $f(t)$ doit être effectuée sans interruption.

D'autre part, tous les échantillons de la fonction $f(t)$ doivent avoir le même poids. La même pondération demande un arrangement convenable des fenêtres selon leur forme: ni interruption ni recouvrement avec les fenêtres rectangulaires; recouvrement par moitié pour les fenêtres de Hanning car leur somme est égale à 1.

Les harmoniques fluctuants peuvent être mesurés à l'aide d'une fenêtre rectangulaire de durée $T_w = 16 \times T_1$ pour obtenir une sélectivité équivalente de 3 Hz à -3dB. La durée maximale pour obtenir la valeur de régime de la lecture de sortie après un changement dans les valeurs d'entrée est $2 T_w$, c'est-à-dire 0,64 s avec un réseau à 50 Hz. Cette réponse semble être acceptable. Pour une fenêtre de Hanning, une fenêtre de largeur de 0,4 s à 0,5 s est convenable. Ces caractéristiques permettant de comparer les mesures entre les appareils des domaines fréquentiel et temporel pour les harmoniques fluctuants.

7.1.1 Quasi-stationary harmonics

Quasi-stationary harmonics may be measured point by point and not continuously. Therefore, the window width is only restricted by the desired selectivity. The 3 dB equivalent bandwidth B , compared with instrumentation operating in the frequency-domain, is in the case of a rectangular window approximately $B = 0,9/T_w$, and in the case of a Hanning-window $B = 1,4/T_w$. For example, for $B = 10$ Hz to 3 Hz, the window width is $T_w = 0,1 \dots 0,3$ s (rectangular) and $T_w = 0,15 \dots 0,5$ s (Hanning).

If in the case of a rectangular window the sampling rate $f_s = 2^i \times f_{\text{syn}}/N$ is synchronized exactly to the fundamental frequency ($f_{\text{syn}} = f_1$), the measurement at frequency f_m is not falsified by adjacent frequencies $f_m \pm f_k$ at all; the transfer-function has roots at f_k . But a deviation from synchronization displaces these roots. At the limit value $|f_{\text{syn}} - f_1| / f_1 = 3 \cdot 10^{-4}$ the same selectivity-demands as for frequency-domain instrumentation (see 6.1, table 2) are fulfilled if only adjacent frequencies have to be rejected. Other frequencies f , for example interharmonics, are attenuated by about 30 dB to 40 dB, if $|f - f_m| > f_1$.

Such a strict synchronization may not be necessary with a Hanning-window because the attenuation of neighbouring frequencies is better. But the weighting by a $\sin^2$ -function induces - besides other disadvantages - new spectral lines into the original signal $f(t)$.

Spectral lines contained in the signal $f(t)$ with frequencies higher than $f_s/2$ are folded back (aliased) into the measuring range without attenuation by the transfer-function of the FFT. Therefore, they have to be blocked by an additional (antialiasing) filter with an attenuation of 50 dB at minimum.

7.1.2 Fluctuating and rapidly changing harmonics

Fluctuating and rapidly changing harmonics ought to be measured continuously especially in emission-tests.

With off-line evaluation, a digital recording system with sufficient storage capacity is satisfactory. However if real-time processing is used there shall be no gaps during observation of the signal $f(t)$.

On the other hand, all sections of the function $f(t)$ shall have the same weight. The "equal-weighting" requires a proper arrangement of windows according to their shapes: no gap and no overlapping with rectangular window and overlapping half by half with Hanning-window because their sum adds up to 1.

Fluctuating harmonics may be measured using a rectangular window of $T_w = 16 \times T_1$ to get an equivalent selectivity of 3 Hz at -3 dB. The maximum time to active the steady-state output reading after a change in the input values is $2 \times T_w$, i.e. 0,64 s with a system frequency $f_1 = 50$ Hz. This response time seems to be acceptable. For Hanning shape a window width of 0,4 s to 0,5 s is appropriate. These characteristics allow the equivalence of measurements between frequency-domain and time-domain instrumentation to be compared for fluctuating harmonics.

Afin d'effectuer des mesures représentatives d'harmoniques rapidement variables et fugitifs (convertisseurs de puissance pendant des variations rapides de l'angle d'allumage) une largeur de fenêtre faible d'environ huit fois la période fondamentale semble un compromis raisonnable entre la sélectivité, le temps de réponse (réponse à un échelon; 2 échelons au plus, soit un temps de réponse $T_{\text{resp}} = 2 \times T_w$) et le lissage des autres phénomènes transitoires, en particulier pendant les périodes de commutation. Si l'on souhaite réaliser un lissage plus marqué pour des mesures fluctuant de façon considérable, il est encore possible, plutôt que d'agrandir la largeur de la fenêtre temporelle, de moyenner des fenêtres successives dans le domaine temporel ou de moyenner les coefficients du domaine fréquentiel. On déconseille l'usage de fenêtres temporelles de durée $T_w < 4 \times T_1$: les changements rapides de la fonction à mesurer, par exemple pendant les commutations, donneraient des "harmoniques" additionnels pendant des périodes ne durant qu'une ou deux fenêtres. Ces "harmoniques" additionnels peuvent être interprétés comme des harmoniques réels alors qu'ils n'existent que si la forme de la fonction $f(t)$ pendant les commutations peut être extrapolée sur quelques fenêtres T_w . Ces "harmoniques" de très courte durée sont sans signification mais ils altèrent les résultats.

7.2 Filtres numériques

Plutôt que de réaliser une FFT, le filtre analogique passe-bande défini par le tableau 2 peut être réalisé en utilisant des filtres numériques, en prenant soin que les facteurs de qualité élevés requis soit obtenus. On peut envisager différentes façon de transformer les filtres analogiques en leur équivalent numérique ([4], [5]). Les 40 harmoniques requis peuvent être calculés en parallèle et le résultat c_n peut être transféré pour un traitement ultérieur d'évaluation et de classification (voir figure 4). Bien que les 40 harmoniques soient les plus importants, il convient de mettre en oeuvre des aménagements pour calculer le spectre complet incluant les interharmoniques du réseau (voir 10.4).

7.3 Modes opératoires et prescriptions relatives à la sortie

L'instrumentation travaillant dans le domaine temporel peut proposer les modes opératoires suivants, selon le cas:

- mono coup (la FFT est réalisée à partir des échantillons d'une seule fenêtre déclenchée par un trigger externe; les résultats sont stockés de façon interne);
- fonctionnement continu (le taux de répétition est choisi par exemple entre 1/min et un fonctionnement en temps réel sans interruption; un stockage interne des résultats est fourni, par exemple 5 000 fenêtres);
- fonctionnement continu et stockage sur dépassement de seuil (les résultats sont seulement conservés si un ou plusieurs harmoniques dépassent des valeurs limites préselectionnées).

L'appareil doit fournir les types de sorties suivantes pour au moins les amplitudes harmoniques

c_n ou les valeurs efficaces $c_n / \sqrt{2}$ et de façon optionnelle pour le déphasage φ_n de même que pour les coefficients a_n et b_n :

- affichage numérique (en échelle linéaire ou logarithmique) de coefficients sélectionnables (a_n), (b_n), c_n , φ_n de rangs n choisis, après un fonctionnement mono coup ou de l'un des coefficients par exemple c_n de rang n préselectionnés pendant le fonctionnement en continu;
- affichage graphique (spectre linéaire ou logarithmique) de toutes les raies préselectionnées de rang n après un fonctionnement mono coup ou en fonctionnement continu);

In order to make representative measurements of rapidly changing and transitory harmonics (power converters during rapid changes of the firing angle) a small window width of about eight times the fundamental period seems to be a sound compromise between selectivity, time response (step response: 2 steps at maximum during $t_{\text{resp}} = 2 \times T_w$) and smoothing of other transient phenomena, especially during switching operations. If a better smoothing of considerably fluctuating measurements is desired, the averaging of succeeding windows in the time-domain or the averaging of the coefficients in the frequency-domain remains possible instead of choosing a wider window. A window $T_w < 4 \times T_1$ is not recommended; rapid changes of the measured function, for example during switching operations, would result in additional harmonic portions lasting only one or two "windows". These portions may be misinterpreted as actual harmonics but they would only exist if the shape of the function $f(t)$ during switching operation were extrapolated to some windows T_w . These short "harmonics" are meaningless but they falsify the results.

7.2 Digital filters

Instead of performing the FFT, the analogue band-pass defined according to table 2 can be reproduced using digital filters, taking care that the high quality factors required are met. For the transformation of the analogue filter to an equivalent digital filter, different methods can be considered ([4], [5]). Different approaches have shown that the requested 40 harmonics can be calculated in parallel and the resulting c_n transferred for further processing to the evaluating and classifying part of figure 4. Whilst the 40 harmonics are of primary importance, facilities should be provided to obtain the full spectral content of the power supply including interharmonics (see 10.4).

7.3 Operation-mode and output requirements

Time-domain instrumentation could provide the following operating modes if applicable:

- single shot (the FFT is performed from the samples of one window which is started by external trigger; the results are internally stored);
- continuous operation (the repetition rate is selectable between for example 1/min and real-time operation without gap; an internal storage for the results of, for example, 5 000 windows is provided);
- continuous operation and triggered storage (the results are only stored if one or more harmonic amplitudes exceed preselected limit-values).

The instrument shall provide the following outputs for, at minimum, the harmonic amplitudes c_n or r.m.s.-values $c_n/\sqrt{2}$ and optionally the phase-angle φ_n as well as the coefficients a_n and b_n ;

- numeric display (reading lin, log) of selectable coefficients (a_n), (b_n), c_n , φ_n of selectable orders n after single-shot, or of one coefficient, for example c_n , of preselected order n during continuous operation;
- graphic display (spectrum lin, log) of all preselected lines of order n after single shot or during continuous operation;

- imprimante ou traceur (mode d'utilisation similaire à l'écran);
- interface parallèle et/ou série pour le raccordement, par exemple, à un ordinateur, une unité de disquette ou un enregistreur.

8 Méthodes d'évaluation

Pour réaliser des essais d'émission sur des appareils qui produisent des courants harmoniques fluctuants (comme ceux qui sont définis par exemple en 4.1) dans le réseau d'alimentation, un procédé d'évaluation est ajouté au procédé de mesure. Le procédé d'évaluation est en principe distinct du procédé de mesure lui-même. C'est la méthode grâce à laquelle les valeurs c_n sont traitées pour pouvoir les comparer avec des limites établies, des valeurs d'acceptation ou de référence (voir figures 3 et 4).

8.1 Filtrage des signaux de sortie

Le lissage du signal de sortie c_n par un filtre donnant la valeur $\bar{c}_n$ est considéré comme partie intégrante du procédé d'évaluation.

Cette méthode est nécessaire pour pouvoir évaluer les courants harmoniques fluctuants dans les essais d'émission (voir CEI 555-2). Elle est aussi appropriée quand les effets des harmoniques rapidement variables, s'ils existent, sont considérés comme négligeables.

En plus du lissage initial par filtrage, des critères complémentaires d'évaluation utilisant les valeurs de $\bar{c}_n$ peuvent être utilisés pour comparer les résultats avec les valeurs limites.

D'autres méthodes d'évaluation sont possibles avec l'instrumentation travaillant dans le domaine temporel.

8.1.1 Filtre passe-bas pour les appareils travaillant dans le domaine fréquentiel

Pour l'instrumentation travaillant dans le domaine fréquentiel, l'évaluation est fondée sur un procédé initial de lissage par un filtre passe-bas de sorte que la réponse globale, y compris l'indicateur ou l'enregistreur, à un train soudain (échelon) de l'harmonique mesuré correspond à une constante de temps de 1,5 s d'un filtre passe-bas du premier ordre. La meilleure façon de le réaliser est d'utiliser un filtre passif ou actif placé avant l'enregistreur.

NOTE La distinction entre procédé de mesure et évaluation n'est pas aussi nette avec l'instrumentation travaillant dans le domaine fréquentiel, car la réponse globale de l'équipement de mesure est l'élément le plus important. En pratique toutefois, la distinction peut généralement être faite car la réponse des analyseurs d'onde est habituellement telle que l'on atteint 90 % de la valeur de régime en 0,2 s au plus et un filtre spécial est ajouté à l'entrée de l'enregistreur pour réaliser la caractéristique désirée (voir figure 3).

8.1.2 Filtre pour les appareils travaillant dans le domaine temporel

Pour l'instrumentation utilisant la FFT, les données de mesure sont les valeurs obtenues pour c_n pour chaque fenêtre temporelle successive (voir figure 1). Un logiciel de traitement en temps réel des mesures effectuées (valeur c_n sous forme numérique) permet de réaliser une caractéristique équivalente à celle d'une constante de temps analogique de 1,5 s. Pour obtenir une meilleure approximation d'une véritable exponentielle, ce filtre numérique d'évaluation peut présenter une cadence de traitement interne plus élevée que la fréquence $1/T_w$ donné par la largeur de la fenêtre.

- printer or plotter (mode of use similar to the display);
- parallel and/or serial interface for the connection of, for example, a computer, floppy-disc or recorder.

8 Evaluation methods

To perform emission tests on equipment which injects fluctuating harmonic currents (as classified for example in 4.1) into the supply-system, an evaluating process is added to the measuring process. The evaluating process is in principle distinguished from the measuring process itself and gives the method by which the measured values c_n are handled to compare them with stated limits, acceptance or reference values (see figures 3 and 4).

8.1 Output signal filtering

The smoothing of the output signal c_n by a filter giving the value $\bar{c}_n$ is considered to be part of the evaluation process.

This method is required for assessing fluctuating current harmonics in emission tests of devices covered by IEC 555-2. It is also appropriate, when the effects of rapidly changing harmonics, if present, are considered unimportant.

In addition to the initial smoothing by a filter, complementary evaluation criteria making use of $\bar{c}_n$ -values may be used to compare the results with limit values.

Other evaluation methods are possible with time-domain instrumentation.

8.1.1 Low-pass filter for frequency-domain instruments

For frequency-domain instrumentation, the evaluation is based on an initial smoothing process with a low-pass filter in such a way that the overall response including the indicator or recorder to a sudden (step) burst of the measured harmonic corresponds to the time constant of 1,5 s of a first-order low-pass filter. This is usually best achieved by a passive or active filter just ahead of the recorder.

NOTE - The distinction between measurement process and evaluation is not so clear-cut with frequency-domain instrumentation as the overall response of the measurement equipment is paramount. In practice however the distinction can usually be made as the response of wave analyzers is usually such that it reaches 90 % of the steady-state value within 0,2 s, and a special filter is inserted ahead of the recorder to achieve the needed characteristic (see figure 3).

8.1.2 Filter for time-domain instruments

For FFT-instrumentation the measurement data are the values obtained for c_n for each successive time window (see figure 1). A real-time software handling of the successive window measurements (c_n values in digital form) permits the achievement of a characteristic equivalent to an analogue time constant of 1,5 s. To have a better approximation to a true exponential, this evaluating digital filter may have a higher internal cycle-rate than the frequency $1/T_w$ given by the window width.

8.2 Méthodes futures

On dispose, avec les appareils numériques travaillant dans le domaine temporel, de moyens plus judicieux pour l'évaluation des mesures durant les essais d'émission que le lissage exponentiel de 1,5 s. On pourrait faire un stockage supplémentaire des valeurs qui dépassent les limites par exemple leur amplitude, leur rang, leur fréquence et leur durée de même que la durée des périodes entre ces événements (voir figure 4). Des projets de propositions adaptés à ces nouveaux appareils d'essai sont à l'étude.

Si les harmoniques rapidement variables doivent être estimés plus précisément, l'utilisation d'un filtre passe-bas avec une constante de temps de 1,5 s n'est, bien sûr, pas admissible. Pour l'estimation des harmoniques rapidement variables, la méthode d'évaluation à définir à l'avenir devra être fondée sur l'instrumentation défini en 7.1.2.

9 Observation de tensions harmoniques en réseau

9.1 Types d'appareils de mesure

L'instrumentation travaillant dans le domaine fréquentiel n'a aucune chance d'être utilisée largement à l'avenir pour des analyses statistiques. Toutefois, des enregistrements sur de longues périodes d'harmoniques spécifiques notables (le 5^e ou le 7^e par exemple) peuvent être réalisés avec leur aide.

L'introduction d'une constante de temps bien définie de 1,5 s est recommandée dans ce but (voir 8.1.1). Dans ce cas, les harmoniques rapidement variables, s'il sont présents, ne peuvent pas être mesurés.

Pour traiter ces phénomènes, l'instrumentation travaillant dans le domaine temporel, par exemple l'instrumentation utilisant la FFT, sera le plus généralement utilisée. Aussi, les recommandations qui suivent pour les mesures et leur traitement statistique se rapportent tout particulièrement à ce type d'instrumentation.

9.2 Fenêtre temporelle et prescriptions de base pour l'instrumentation utilisant la FFT

Les caractéristiques d'une instrumentation appropriée ont été définies dans les articles précédents de ce guide afin de couvrir les besoins suivants:

- a) harmoniques quasi stationnaires;
- b) harmoniques fluctuants;
- c) harmoniques rapidement variables.

Lorsque l'on considère l'observation d'harmoniques de tension, l'utilisation d'une instrumentation du type a) ne convient que si l'on s'intéresse à leur effet thermique (longue durée) des harmoniques. L'utilisation d'appareils du type b) convient pour les cas où des appareils sont sensible à des effets instantanés, mais ils présentent une réponse assez lente aux harmoniques. Enfin, les appareils du type c) conviennent pour la détermination d'effets instantanés sur des appareils à réponse rapide (par exemple les commandes électroniques ou les récepteurs de télécommande).

8.2 *Future methods*

The digital time domain instruments will provide better ways than the 1,5 s exponential smoothing to evaluate the emission-tests by additional storage of values which exceed the limits namely their amplitude, orders, frequencies of occurrence and durations as well as the time between these events (see figure 4). Draft proposals adapted to these new test-instruments are under consideration.

If rapidly changing harmonics are to be assessed relatively correctly, a low-pass filter of 1,5 s is obviously not permissible. For rapidly changing harmonics assessment, the evaluation method to be defined in the future has to be based on the instrument defined in 7.1.2.

9 *Voltage harmonic surveys in supply systems*

9.1 *Types of measurement equipment*

Frequency-domain instrumentation is not likely to be used extensively in the future for statistical analysis. However, long-term recording of important specific harmonics (5th or 7th for example) may be achieved by these means.

The introduction of a well-defined time constant of 1,5 s is recommended for that purpose (see 8.1.1). In this case, rapidly changing harmonics, if present, cannot be measured.

To assess the phenomena, time-domain instrumentation, for example FFT-instruments, will most likely be used. Hence, for measurement and statistical handling of results, the following recommendations refer especially to this kind of instrumentation.

9.2 *Window-width and basic requirements for FFT-instrumentation*

The characteristics of appropriate instrumentation have been defined in earlier clauses of this guide to cover the following needs:

- a) quasi-stationary harmonics;
- b) fluctuating harmonics;
- c) rapidly changing harmonics.

The use of type a) instrumentation is only appropriate when a voltage harmonic survey of the thermal (long-term) effects of harmonics is considered. The use of type b) is appropriate when instantaneous effects of harmonics are considered on equipment with a relatively slow response to harmonics, and finally type c) should be considered for the assessment of instantaneous effects on fast-responding equipment (such as electronic controls or ripple control receivers for example).

Les caractéristiques requises pour l'instrumentation définies en 7.1 sont résumées dans le tableau ci-dessous:

Tableau 3 - Spécifications fondamentales pour l'instrumentation FFT

Type d'harmoniques	Largeur de fenêtre recommandée	Spécifications supplémentaires
Quasi stationnaires	$T_w = 0,1 \text{ s} - 0,5 \text{ s}$	Il peut y avoir des intervalles entre les fenêtres
Fluctuants (selon la CEI 555-2)	$T_w = 0,32 \text{ s}$ (rectangulaire) $T_w = 0,4 - 0,5 \text{ s}$ (Hanning)	Pas d'intervalle Recouvrement moitié par moitié
Rapidement variables	$T_w = 0,08 \text{ s} - 0,16 \text{ s}$ (rectangulaire)	Pas d'intervalle

9.3 Gammes de temps pour le traitement statistique des valeurs mesurées

Il faut être conscient du fait que les gammes de temps concernées dans le traitement statistique des mesures harmoniques s'étendent de moins de 1 s à une semaine ou plus. Partant d'une seule mesure élémentaire (qui correspond à une fenêtre temporelle T_w), il faut introduire des temps d'intégration intermédiaires sur la base desquels les données sont agglomérées pour être utilisées et présentées. Cela permet aussi de limiter la taille de la mémoire nécessaire pour stocker les données.

Pour les besoins de ce guide, on fait la distinction entre le temps d'observation et le temps réel de mesure:

- le temps réel de la mesure correspond à la durée effective de mesure des harmoniques (par exemple: sommation successive de fenêtres qui ne se recouvrent pas) c'est-à-dire que les intervalles entre les fenêtres, s'ils existent, ne sont pas pris en compte;
- le temps d'observation est le temps total réel correspondant au temps réel de la mesure additionné aux intervalles pendant le temps d'observation.

On recommande d'utiliser les intervalles de temps suivants pour réaliser la comparaison des données:

intervalle très court	(T_{tc}) :	3 s
intervalle court	(T_c) :	10 min
intervalle long	(T_L) :	1 h
intervalle journalier	(T_j) :	24 h
intervalle hebdomadaire	(T_s) :	7 jours

NOTE - Jusqu'à l'intervalle de temps très court (T_{tc}), les moyens nécessaire peuvent être inclus dans l'instrumentation FFT elle-même. A partir de l'intervalle court (T_c), ils feront en général partie du système de calcul associé. On peut considérer que le traitement à partir de l'intervalle très court (T_{tc}) fait partie du processus d'évaluation.

The required characteristics of instrumentation as defined in 7.1 are summarized in table 3:

Table 3 - Basic requirements for FFT-instrumentation

Category of harmonics	Recommended window width	Additional requirements
Quasi-stationary	$T_w = 0,1 \text{ s} - 0,5 \text{ s}$	Gaps between windows may exist
Fluctuating (according to IEC 555-2)	$T_w = 0,32 \text{ s}$ (rectangular) $T_w = 0,4 - 0,5 \text{ s}$ (Hanning)	No gap Overlapping half by half
Rapidly changing	$T_w = 0,08 \text{ s} - 0,16 \text{ s}$ (rectangular)	No gap

9.3 Time ranges for statistical handling of measured values

It should be recognized that the time ranges involved in the statistical handling of harmonics measurements extend from less than 1 s to one week or more. Starting from an elementary single measurement (corresponding to one window interval T_w), intermediate integrating times have to be introduced on which basis data are synthesized for use and presentation; this helps also to limit the size of memory needed for data.

For the purpose of this guide a difference is made between "observation-time" and "effective measuring time":

- the effective measuring time corresponds to the effective duration within which harmonics are measured (e.g. summation of successive non-overlapping window times), i.e. gaps between window times, if existing, are not accounted for;
- the observation time is the total real time lapse corresponding to the effective measuring time plus time of gaps during this observation time.

For data compression, it is recommended to use the following time intervals;

very short interval	(T_{VS})	: 3 s,
short interval	(T_{Sh})	: 10 min
long interval	(T_L)	: 1 h
one day interval	(T_D)	: 24 h
one week interval	(T_{Wk})	: 7 days

NOTE - Up to the very-short-time interval (T_{VS}), the necessary facilities may be included in the FFT-instrument itself; from the short-time interval (T_{Sh}) onwards they are generally part of the associated computer system. The process from T_{VS} onwards may be regarded as part of the evaluation process.

9.3.1 Intervalle de temps très court (premier niveau d'intégration)

Par T_{tc} , on entend le temps réel de mesure. On recommande de le choisir égal à 3 s. Le temps d'observation à $T_{tc} = 3$ s correspondant peut être bien supérieur à 3 s, si des intervalles entre fenêtres sont autorisés (cas a) de 9.2, mais, il ne devrait pas dépasser 10 s de préférence. Les fenêtres temporelles devront être régulièrement espacées durant le temps d'observation.

Pour les harmoniques individuels choisis de rang n , la valeur maximale $c_{n \max}$ de chacune des valeurs FFT calculées (correspondant à une fenêtre temporelle) dans l'intervalle T_{tc} devra être déterminée si l'on veut mettre en évidence des effets instantanés (cas b) et c) de 9.2).

Pour les effets à long terme des harmoniques (effet thermique), on calculera la valeur efficace:

$$C_{ntc} = \sqrt{\left(\sum_{k=1}^M C_{n,k}^2 \right) / M}$$

de l'ensemble de M valeurs c_n calculées sur le temps T_{tc} pour les harmoniques choisis (on prendra de préférence n jusqu'au rang 50). On pourra aussi calculer le taux de distorsion normal d et les autres taux de distorsion définis au 10.2. Ces valeurs seront stockées dans le calculateur pour usage ultérieur.

9.3.2 Intervalle court (second niveau d'intégration)

Pour permettre de calculer des fonctions de probabilité cumulée* d'harmoniques, l'appareil devra fournir des classificateurs, pour les harmoniques individuels choisis (de préférence jusqu'au rang 50), chaque classificateur ayant au moins 32 classes. On devra calculer et stocker dans un calculateur externe les valeurs des harmoniques qui ne dépassent pas un pourcentage donné p ($p = 1, (10), 50, (90), 95, 99$ %) de chaque période de temps d'observation. Par intervalle T_c , on entend le temps d'observation. On recommande de le choisir égal à 10 min. Il est souhaitable que, au moins, cent valeurs c_n soient fournies pendant ce temps d'observation.

En outre, pour les harmoniques individuels choisis, le contenu de chaque classe (déterminé à partir des valeurs "instantanées" c_n) pourra être conservé pour chaque intervalle de temps court afin de permettre des calculs spécifiques ultérieurs.

Dans le cas où l'on ne dispose pas d'assez de mémoire pour le contenu de toutes les classes, il faudra au moins calculer la valeur efficace C_{nc} , sur chaque période d'observation de 10 min, à partir de toutes les valeurs C_{ntc} (définie en 9.3.1) sur cet intervalle de 10 min.

9.3.3 Intervalle long (troisième niveau d'intégration)

Le choix d'un intervalle long T_L est optionnel. Dans le cas où il est retenu, on recommande de choisir 1 h comme période d'observation.

* Probabilité de ne pas dépasser un niveau donné.

9.3.1 Very-short-time interval (first integrating time range)

This interval T_{VS} is understood as effective measuring time and is recommended to be chosen equal to 3 s. The observation time corresponding to $T_{VS} = 3$ s may be longer than 3 s, if gaps between windows are allowed (case a) of 9.2), but should preferably not exceed 10 s. Time windows should be equally spaced within the observation time.

For selectable individual harmonics of order n , the maximum value $c_{n\max}$ of all the single calculated FFT-values (corresponding to one T_w) within the interval T_{VS} should be determined if instantaneous effects are looked for (cases b) and c) of 9.2).

For long-term effects (thermal) assessments of harmonics, the r.m.s. value:

$$C_{nVs} = \sqrt{\left(\sum_{k=1}^M C_{n,k}^2 \right) / M}$$

of all the M single calculated FFT-values c_n shall be determined over the time interval T_{VS} for selectable individual harmonics (preferably up to $n = 50$). Additionally, the total distortion factor d and the other distortion factors defined in 10.2 can be calculated. These values shall be stored in the computer for further use.

9.3.2 Short-time interval (second integrating time range)

To assess the cumulated probability function* of harmonics, for selectable individual harmonics (preferably up to $n = 50$), the instrumentation should preferably provide classifiers, each having at least 32 classes. Harmonic values not exceeding a given percentage p ($p = 1, (10), 50, (90), 95, 99 \%$) of each successive observation-time, should be calculated and stored by the external computer. The short-time interval T_{Sh} is understood as observation time and is recommended to be chosen equal to 10 min. It is expected that at least 100 c_n -values are provided during this observation time.

Additionally, for the selected individual harmonics, the content of all classes (based on "instantaneous" window-time values c_n) may be stored for each short-time interval to allow further more specific calculations.

In the case where a memory for all class-contents is not available, at least the r.m.s.-value C_{nSh} over each successive observation time interval of 10 min should be calculated from all the corresponding C_{nVs} values defined in 9.3.1 which occurred during this interval of 10 min.

9.3.3 Long-time interval (third integrating time range)

The selection of the long-time interval T_L is optional. If used it is recommended to be chosen equal to 1 h observation time.

* Probability of not exceeding the corresponding value.

La fonction de probabilité cumulée (déterminée à partir des pourcentages calculés sur les périodes T_c ou, mieux, à partir des informations mémorisées du contenu des classes) pourra être calculée sur l'intervalle T_L pour $p = 1, (10), 50, (90), 95, 99, 99,9 \%$.

9.3.4 Intervalle journalier (24 h)

Le choix de cet intervalle est essentiel pour pouvoir présenter des données statistiques sous une forme utilisable quand on réalise l'observation d'harmoniques en réseau. On pourra, par exemple, donner l'évolution au cours du temps sur une journée des valeurs de probabilité à 50 %, 95 % et 99 % des harmoniques de rangs choisis, déterminés sur des périodes T_c .

Si une compression ultérieure des données est nécessaire, on recommande la procédure suivante:

a) si ce sont les effets instantanés qui sont essentiels, il faudra retenir, sur la période de la journée, la valeur maximale de chaque maximum observé pendant les intervalles T_{tc} (voir 9.3.1).

De plus, il faudra calculer la courbe de probabilité cumulée de l'ensemble de ces valeurs maximales T_{tc} (au moins les valeurs à 95 % et 99 %);

b) si ce sont les effets à long terme (thermiques) qui sont essentiels, il faudra retenir sur la période de la journée la valeur maximale des valeurs efficaces observées pendant les intervalles T_{tc} (paragraphe 8.3.1).

En outre, il faudra calculer la probabilité cumulée de toutes ces valeurs efficaces calculées sur des périodes T_{tc} (au moins les valeurs à 95 % et 99 %). De plus, il pourra être utile de calculer la valeur maximale C_{nmaxc} de l'ensemble des valeurs C_{nc} (valeurs efficaces calculées sur des périodes $T_c = 10$ min).

NOTES

1 Les différents intervalles T_c de 10 min ne se recouvrent pas et ne sont pas des intervalles glissants.

2 Il a semblé utile d'introduire une valeur C_{nmaxc} car la valeur à 95 % de la courbe de probabilité cumulée correspond à une valeur qui est dépassée pendant 1 h par jour (respectivement 15 min par jour pour 99 %). Par contre, on ignore si cette valeur a été dépassée pendant 1 h sur une seule période ou sur un grand nombre de périodes séparées sur une durée totale de 24 h.

3 Il serait très utile de disposer de représentations graphiques pour une période d'un jour (fondées de préférence sur les intervalles T_c) montrant les évolutions d'un harmonique particulier ou du facteur de distorsion total.

9.3.5 Intervalle hebdomadaire ou plus

On ne donne pas de recommandation particulière. Une analyse devrait être réalisée sur la base de données agglomérées obtenues chaque jour. Il ne faut pas oublier que des différences notables peuvent apparaître entre les jours ouvrables et les fins de semaine.

Il pourrait être utile de déterminer au moins les valeurs des courbes de probabilité cumulée à 95 % et 99 % sur des périodes d'une semaine ou plus.

10 Cas particuliers de mesures

Les essais d'émission ne requièrent que la mesure des valeurs efficaces des courants harmoniques. Pour surveiller les niveaux de tension harmonique en réseau, cela peut être aussi suffisant. En l'absence d'information sur les transits d'harmoniques, on ne peut normalement pas détecter l'origine d'éventuelles perturbations en réseau. Pour obtenir un

The cumulated probability function (using the percentages from the periods T_{Sh} or preferably the memory for the class-contents) may be calculated over the long-time interval T_L for $p = 1, (10), 50, (90), 95, 99, 99,9 \%$.

9.3.4 Day interval (24 h)

This interval is considered essential to present the statistical data in a usable form in harmonics surveys of supply voltage. For example, the values of 50 %, 95 % and 99 % probability of selected harmonic orders, assessed over the T_{Sh} -periods, could be given as time functions during one day.

Where a further compression of data is necessary, the following procedure is recommended:

- a) if instantaneous effects are considered essential, the maximum value of all the maxima recorded for the T_{VS} interval (see 9.3.1) is to be retained for the day interval.

Moreover, the cumulative probability of all these T_{VS} maximum values should be calculated (at least the CP 95 % and the CP 99 % value);

- b) when long-term (thermal) effects are considered, the maximum value of all the recorded r.m.s. values for the T_{VS} intervals (see 9.3.1) is to be retained for the day interval.

Moreover, the cumulative probability of all these T_{VS} -integrated r.m.s. values should be calculated (at least the CP 95 % and the CP 99 % value). In addition the maximum value C_{nmaxSh} of all the C_{nsh} values (r.m.s. integrated over $T_{Sh} = 10$ min) may be useful.

NOTES

- 1 The successive 10 min intervals for T_{Sh} determinations are non-sliding and non-overlapping.
- 2 It was thought useful to add this C_{nmaxSh} value, as the CP 95 % gives a value which is exceeded during 1 h per day (CP 99 % is exceeded during about 15 min per day), but gives no indication whether this occurred during a continuous period of 1 h or during a large number of separate intervals spaced on the total duration of 24 h.
- 3 Graphical representations summarizing the data (based preferably on the T_{Sh} interval) over a one day interval are very helpful, showing the evolution of an individual selectable harmonic or of the total distortion factor.

9.3.5 Week or longer interval

No specific recommendations are given. Analysis should be carried out on the basis of the day-to-day summarized data. It should be kept in mind that large differences may appear between normal working days and week-end days.

At least the 95 % and 99 % cumulative values over a week time interval or longer may be useful.

10 Special cases of measurement

Emission tests only require the measurement of amplitudes, that is, r.m.s. values of harmonic currents. For a survey of harmonic voltages on a supply system this may also be sufficient. Due to the lack of information about harmonic power flow, the origin of possible disturbances is normally not detectable. To set up a true equivalent circuit containing

véritable circuit équivalent incluant les sources d'harmoniques et les impédances de l'équipement du réseau et des charges, il convient de mesurer à la fois l'amplitude et le déphasage de tous les harmoniques. L'instrumentation de mesure d'impédance harmonique est utilisée pour aider à prédire les effets des charges perturbatrices à l'étude et l'évolution future des niveaux d'harmoniques en réseau.

Pour évaluer les pertes thermiques additionnelles dans les moteurs, les condensateurs, etc. une information condensée sur le niveau global de tension harmonique est utile.

Des écarts par rapport à la symétrie triphasée d'un appareil électrique peuvent indiquer la présence d'un défaut. En particulier, dans le domaine harmonique, la symétrie est fortement affectée par des petits défauts par exemple, un élément hors service d'une batterie de condensateurs; en conséquence, leur examen peut aider à détecter ces défauts.

Les tensions interharmoniques sur le réseau d'alimentation sont susceptibles d'augmenter à l'avenir par suite de l'usage plus répandu de convertisseurs de fréquence dans les ateliers ou les petites industries.

Des informations additionnelles sur les cas de mesures spéciales indiquées ci-avant sont fournies dans les paragraphes suivants.

10.1 Mesure du déphasage

La mesure de l'amplitude et en plus des déphasages entre courants et tensions harmoniques de même rang (déphasage relatif) est nécessaire:

- a) pour déterminer le transit d'harmoniques sur les réseaux d'alimentation,
- b) pour détecter et localiser des sources harmoniques (perturbatrices),
- c) pour estimer le foisonnement de courants harmoniques de différentes charges perturbatrices si elles sont électriquement raccordées au même noeud,
- d) pour établir des circuits équivalents pour prédéterminer les effets de nouvelles charges perturbatrices ou les contre-mesures, par exemple des filtres.

La raison de la présence d'un courant harmonique élevé sur un conducteur d'un réseau d'alimentation publique alimentant une usine (exemple pour le cas b) peut être à la fois:

- un convertisseur de puissance dans l'usine produisant de forts courants harmoniques, ou
- un circuit de filtrage ou une batterie de condensateurs dans l'usine qui absorbe le courant harmonique provenant du réseau d'alimentation.

La direction du transit de puissance active de l'harmonique du rang concerné peut aider à trouver l'origine des perturbations: si la puissance active transite vers le réseau d'alimentation, l'usine produit le courant, dans le cas contraire, c'est le réseau lui-même. Pour évaluer la puissance active, le déphasage entre tensions harmoniques, au PCC et courant sur le conducteur d'alimentation doit être mesuré. Le déphasage entre tension harmonique et courant par rapport au fondamental (déphasage absolu ϕ_n) n'a pas besoin d'être connu dans ce cas.

Il est nécessaire de prêter une attention particulière à l'interprétation des mesures d'angles particulièrement dans le cas de transformateurs triangle-étoile qui introduisent un déphasage.

harmonic sources and impedances of system-equipment and loads, both the amplitudes and the phase-lags of all considered harmonic orders should be measured. Unless harmonic impedance measuring equipment is used to help predict the effects of proposed distorting loads it may not be possible to forecast future changes in harmonic levels on the system.

To assess the additional thermal losses of motors, capacitors etc. a condensed description of the overall harmonic voltage level is helpful.

Deviation from symmetry in three-phase electrical equipment may be an indication that a fault has occurred. Symmetry is strongly affected by small failures, for example one failed element of a capacitor-bank, particularly in the harmonic frequency range; therefore, its supervision may help to detect these failures.

Interharmonic voltages on the supply-system may arise in future due to the more widespread use of frequency converters in workshops and small industries.

More information about the above-mentioned special measurement cases is dealt with in the following subclauses.

10.1 *Phase-angle measurement*

The measurement of amplitude and, in addition, of phase-angles between harmonic currents and voltages of the same order (relative phase-lag) is required:

- a) to evaluate the load-flow of harmonics in supply systems,
- b) to detect and localize (disturbing) harmonic sources,
- c) to assess summation factors of harmonic currents from different disturbing loads if they are electrically connected to the same node,
- d) to establish system equivalent circuits to precalculate the effects of new disturbing loads or countermeasures for example filters.

The reason for a high harmonic current on a feeder from the public power supply to an industrial plant - as an example for case b) - could be both:

- a power converter in the plant producing high harmonic currents, or
- a filter circuit or capacitor battery in the plant absorbing the harmonic current from the mains system.

The direction of the active power flow of the harmonic order of interest may help in finding the origin of the disturbances: if the active power flows into the public system, the plant "causes" the current, otherwise it is the mains system itself. To evaluate the active power the phase-angle between harmonic voltage at the PCC and the feeder-current has to be measured. The phase-lag of harmonic voltage and current in relation to the fundamental (absolute phase-angle φ_n) need not be known in this case.

Care is needed in the interpretation of phase angle measurements particularly when there are delta-star transformers causing phase shifts.

Comme la synchronisation par rapport au fondamental n'est pas nécessaire, des filtres analogiques peuvent être utilisés si la sortie avant la partie redressement est accessible et si les deux voies de mesures sont identiques. Cela demande à être vérifié.

L'instrumentation numérique fournit normalement les déphasages. Avec des appareils utilisant la FFT, le déphasage peut être calculé à partir des coefficients a_n et b_n (voir 3.3) s'il n'est pas directement accessible. Une instrumentation non synchronisée avec le fondamental peut être utilisée dans la mesure où les échantillons sont pris simultanément sur les deux voies.

La mesure de déphasages absolus qui sont rapportés au fondamental (voir 3.3) demande une synchronisation précise de préférence par rapport au passage par zéro du fondamental de la tension du réseau. L'utilisation d'instrumentation travaillant dans le domaine fréquentiel est exclue: seule la corrélation orthogonale (analogique ou numérique) ou la FFT fournit les coefficients de Fourier fondamentaux nécessaires a_n et b_n .

Les avantages de la mesure des déphasages absolus en plus des cas mentionnés précédemment a) à d) sont:

- e) les mesures à différents noeuds du même réseau ou à des noeuds de différents réseaux sont comparables,
- f) possibilité de déterminer si le raccordement ou le réarrangement de différents réseaux ou des charges perturbatrices localement réparties augmentera le niveau harmonique par superposition (avec des déphasages identiques) ou diminuera le niveau par une compensation (due à des déphasages opposés),
- g) les déphasages "préférentiels" de charges perturbatrices, en particulier de circuits redresseurs sans contrôle de phase, peuvent être détectés de façon à évaluer leur effet global ou de trouver des contre-mesures.

L'erreur maximale des déphasages absolus des harmoniques ne doit pas dépasser la plus grande des deux valeurs $\pm(5^\circ$ ou $n \times 1^\circ$ pour permettre, par exemple, de déterminer clairement la direction de la puissance active harmonique; cette valeur convient à la classe de précision A de l'amplitude normalement requise pour les mesures selon CEI 555-2 car les angles, de même que les amplitudes, découlent des mêmes coefficients de Fourier.

10.2 Mesure de la distorsion

Les appareils de mesure pourront disposer, en option, de sorties particulières donnant les facteurs de distorsion et les fonctions de pondération suivants.

10.2.1 Facteurs de distorsion

Trois facteurs de distorsion qui caractérisent la qualité globale de la tension d'alimentation sont habituellement utilisés pour évaluer les contraintes thermiques sur des appareils fonctionnant dans un réseau perturbé.

- 1) Le facteur de distorsion normal

$$d = \sqrt{\left(\sum_{n=2}^{40} u_n^2 \right)} / u_1$$

Since a synchronization to the fundamental is not necessary, analogue filters may be used if an output before the rectifying section is accessible and if the two measurement channels are identical. This should be checked.

Digital instrumentation normally provides phase-angles. With FFT instruments, the phase-lag may be calculated from the coefficients a_n and b_n (see 3.3) if it is not directly available. Instrumentation not synchronized to the fundamental may be used provided that the samples are taken simultaneously on both channels.

The measurement of absolute phase-angles which are related to the fundamental (see 3.3) needs a precise synchronization preferably to the zero-crossing of the fundamental system-voltage. The use of frequency-domain instrumentation is excluded; only the (analogue or digital) orthogonal correlation or the FFT provides the basically needed Fourier coefficient a_n and b_n .

The advantages of the measurement of absolute phase-angles in addition to the above-mentioned cases a) to d) are:

- e) measurements at different nodes of the same system or at nodes of different systems are comparable;
- f) a decision can be taken whether the connection or rearrangement of different systems or locally spread disturbing loads will increase the harmonic level by superposition with similar phase-angles or decrease the level by compensation due to opposite phase-angles;
- g) "preferred" phase-angles of disturbing loads especially from rectifier circuits without firing-control can be detected in order to evaluate their overall disturbing effect or to find countermeasures.

The maximum measurement-error of absolute harmonic phase-angles shall not exceed $\pm(5^\circ \text{ or } n \times 1^\circ)$, whichever is greater, in order to enable for example a clear decision about the direction of active harmonic power; this value fits the accuracy-class A of amplitude normally required for measurements according to IEC 555-2, because the angles as well as the amplitude are derived from the same Fourier coefficients.

10.2 Distortion measurements

Measuring instruments may provide optionally at special outputs the following distortion-factors and weighting functions.

10.2.1 Distortion factors

To evaluate the thermal stress of electrical equipment operating in a disturbed system three distortion-factors which characterize the overall quality of the system-voltage are commonly used:

- 1) The normal distortion-factor

$$d = \sqrt{\left(\sum_{n=2}^{40} U_n^2 \right)} / U_1$$

Ce facteur d est proportionnel à la contrainte thermique et aux pertes additionnelles dans les résistances comme dans les lignes aériennes, les câbles et les enroulements de transformateurs. Il peut s'exprimer aussi bien en tension qu'en courant; l'équation pour les courants a la même forme que pour les tensions. Pour de nombreuses applications, on peut considérer les rangs d'harmoniques entre $n = 2$ et $n = 25$.

2) Le facteur de distorsion pondéré adapté aux inductances

$$D_{\text{ind}} = \sqrt{\frac{40}{\sum_{n=2} \left(\frac{U_n^2}{n^\alpha} \right)} / U_1}$$

où $\alpha = 1 \dots 2$

Le facteur D_{ind} n'est utilisé que pour les tensions. C'est une mesure approximative des contraintes thermiques additionnelles dans des inductances comme les bobines, les moteurs asynchrones et en partie les génératrices synchrones.

Pour de nombreuses applications, on peut considérer les rangs d'harmoniques entre $n = 2$ et $n = 20$.

3) Le facteur de distorsion pondéré adapté aux condensateurs

$$D_{\text{cap}} = \sqrt{\frac{40}{\sum_{n=2} (n \times U_n)^2} / U_1}$$

Le facteur D_{cap} n'est utilisé que pour les tensions. C'est une mesure approximative des contraintes thermiques additionnelles dans des condensateurs directement raccordés au réseau (sans inductance série).

10.2.2 Pondération psophométrique

Il pourrait être utile de proposer une sortie réalisant une pondération psophométrique définie selon le CCITT pour évaluer l'influence du couplage électromagnétique sur les lignes de télécommunication.

10.3 Mesure des composantes symétriques

Tout système triphasé déséquilibré de tension (ou de courant) à une fréquence donnée f_n (c.à.d. le système original), peut être remplacé par la somme de trois systèmes équilibrés à la même fréquence:

- un système direct $U_{n,\text{dir}} (I_{n,\text{dir}})$, ordre de succession des phases L_1, L_2, L_3 ;
- un système inverse $U_{n,\text{inv}} (I_{n,\text{inv}})$, ordre de succession des phases L_1, L_3, L_2 ;
- un système homopolaire $U_{n,\text{hom}} (I_{n,\text{hom}})$.

Si les trois tensions (ou courants) du système original ont la même forme d'onde c'est-à-dire s'ils sont identiques après décalage de $\pm 1/3$ de la période du fondamental, seuls des systèmes "caractéristiques" existent pour tous les harmoniques: seuls les harmoniques de rang $n = 3 \times m$ ($m = 1, 2, 3$) forment un système homopolaire, seuls ceux de rang $n = 3 \times m - 2$ forment un système direct et seuls ceux de rang $n = 3 \times m - 1$ forment un système inverse.

This factor d is related to the thermal stress and additional losses in resistors as in overhead-lines, cables and transformer-windings. It can be related to both voltages and currents; the equation for currents is the same as given for voltages. For most applications, it is sufficient to consider the harmonic range from 2 to 25.

2) The weighted distortion-factor adapted to inductances

$$D_{\text{ind}} = \sqrt{\frac{40}{\sum_{n=2} \left(\frac{U_n^2}{n^\alpha} \right)}} / U_1$$

where $\alpha = 1 \dots 2$

The factor D_{ind} is only used for voltages. It is an approximate measure for the additional thermal stress of inductances such as coils, induction motors and partly for synchronous generators.

For most applications it is sufficient to consider the harmonic range from 2 to 20.

3) The weighted distortion-factor adapted to capacitors

$$D_{\text{cap}} = \sqrt{\frac{40}{\sum_{n=2} (n \times U_n)^2}} / U_1$$

The factor D_{cap} is only used for voltages. It is an approximate measure for the additional thermal stress of capacitors directly connected to the system (without series-inductances).

10.2.2 Psophometric weighting

To evaluate the influence of electromagnetic coupling on audio lines, an output with psophometric weighting of the disturbances according to CCITT may also be useful.

10.3 Symmetrical components measurement

Any unbalanced three-phase voltage (or current) system of a given frequency f_n (i.e. the "original system") may be replaced by the sum of three "symmetrical systems" of the same frequency:

- the positive-sequence system $U_{n,\text{pos}}$ ($I_{n,\text{pos}}$) (phase-sequence L_1, L_2, L_3);
- the negative-sequence system $U_{n,\text{neg}}$ ($I_{n,\text{neg}}$) (phase-sequence L_1, L_3, L_2);
- the zero-sequence system $U_{n,0}$ ($I_{n,0}$).

If the three voltages (or currents) of the original system have the same wave-shape, i.e. if they are identical after shifting by $\pm 1/3$ of the fundamental period, only "characteristic" systems exist for all harmonics: harmonics of order $n = 3 \times m$ ($m = 1, 2, 3, \dots$) only form a zero sequence system, harmonics of order $n = 3 \times m - 2$ only a positive-sequence system and harmonics of order $n = 3 \times m - 1$ only a negative-sequence system.

En réalité, il existe toujours des dissymétries qui provoquent des harmoniques "non caractéristiques"; ceux-ci indiquent très précisément l'existence de dissymétries même petites qui peuvent être dues par exemple à la présence de charges monophasées réparties non également entre phases, à des appareils non parfaitement équilibrés comme les lignes, les câbles, les transformateurs, etc. Les tensions harmoniques non caractéristiques sur les réseaux basse tension peuvent atteindre jusqu'à 20 % pour les rangs $n \neq 3 \times m$ et jusqu'à 50 % pour les rangs $n = 3 \times m$ des valeurs correspondantes des harmoniques caractéristiques.

Les raisons suivantes plaident pour l'utilisation des composantes symétriques avec les harmoniques:

- les impédances directes (ou inverses) diffèrent des impédances homopolaires pour pratiquement toutes les charges et les matériels de réseau (lignes, câbles, transformateurs); en conséquence, pour estimer les tensions harmoniques produites par l'injection de courant, un traitement séparé des systèmes est nécessaire;
- les courants et les tensions homopolaires ne sont pas transférées par les transformateurs habituellement utilisés (triangle - étoile ou étoile - zig-zag);
- les charges raccordées en triangle (moteurs, batterie de condensateurs, etc.) ne sont pas affectées par les tensions homopolaires: par exemple, seules les composantes non caractéristiques de la tension harmonique de rang trois provoquent des pertes additionnelles dans ces moteurs;
- les petits défauts qui perturbent la symétrie des appareils triphasés (par exemple la fusion d'un fusible ou le défaut d'un condensateur d'un appareil de compensation) peuvent être facilement détectés en mesurant leur courant non caractéristique.

Les composantes symétriques peuvent être calculées à partir des valeurs triphasées en utilisant la méthode de décomposition matricielle modale bien connue ou mesurées directement avec des appareils spéciaux.

10.4 Mesure d'interharmoniques

Les sources de courants interharmoniques et les effets des tensions interharmoniques sont traités en [6]. Les interharmoniques peuvent être quasi stationnaires mais, souvent, ils varient en amplitude et/ou en fréquence.

- a) Les interharmoniques quasi stationnaires ayant au moins des fréquences fixes peuvent être mesurés avec l'instrumentation spécifiée pour les harmoniques quasi stationnaires. Les appareils travaillant dans le domaine temporel ou fréquentiel peuvent être utilisés s'ils peuvent être synchronisés ou ajustés sur n'importe quelle fréquence, comme, par exemple, l'instrumentation hétérodyne.

Comme l'un des effets principaux des interharmoniques est la possibilité de perturber les récepteurs de télécommande, on recommande le choix d'une bande passante de 5 Hz à 3 dB (soit une fenêtre temporelle $T_w = 0,16$ s) qui correspond à celle des récepteurs de télécommande usuels.

En conséquence, le contenu interharmonique autour de chaque fréquence centrée sur f_m peut être mesurée et, si elle correspond à la fréquence de télécommande, le niveau de perturbation d'un interharmonique peut être correctement estimé.

- b) Les appareils travaillant dans le domaine fréquentiel ne sont généralement pas appropriés à la mesure de fréquences interharmoniques fluctuantes ou rapidement variables. En effet, il est difficile de synchroniser les appareils de mesure sur des fréquences qui varient rapidement.

In reality, unsymmetries always exist and cause also "non-characteristic" harmonics; these are sensitive to the existence even of small unsymmetries which may be, for example, due to unequally distributed single-phase loads, not perfectly balanced equipment such as lines, cables, transformers etc. Non-characteristic harmonic voltages on LV-mains may reach, in relation to their characteristic ones, up to 20 % for orders $n \neq 3 \times m$, respectively up to 50 % for orders $n = 3 \times m$.

Reasons for the use of symmetrical components with harmonics may be:

- positive-sequence (or negative-sequence) impedances differ from zero-sequence impedances for nearly all loads and network-equipment (lines, cables, transformers); therefore, to assess harmonic voltages caused by injected currents a separate treatment of the systems is necessary;
- zero-sequence currents and voltages are not transferred by commonly used transformers (delta-star or star-zigzag);
- delta-connected loads (motors, capacitors-banks etc.) are not affected by zero-sequence voltages; for example, only the non-characteristic components of the 3rd harmonic voltage cause additional losses in those motors;
- small failures which disturb the symmetry on a three-phase appliance (for example a blown fuse or one capacitor in a compensating equipment) may be easily detected by measuring its relative non-characteristic currents.

Symmetrical components may be calculated from measured 3-phase values using the well known modal decomposition-matrix or measured directly with special instruments.

10.4 Interharmonics measurement

Sources of interharmonic currents and effects of interharmonic voltages are dealt with in [6]. Interharmonics may be quasi-stationary, but usually they vary in amplitude and/or frequency.

- a) Quasi-stationary interharmonics having at least fixed frequencies may be measured with instrumentation specified for quasi-stationary harmonics. Time-domain or frequency-domain instruments may be used if they can be synchronized or adjusted to any frequency, for example heterodyne instruments.

As one main effect of interharmonics is the possible perturbation of ripple control receivers, a bandwidth of about 5 Hz at -3 dB, corresponding to that of usual ripple control receivers, i.e. a window width $T_w = 0,16$ s, is recommended.

As a result, the interharmonic content around each frequency centred on f_m can be measured and, if it corresponds to the ripple control frequency, the disturbance level of an interharmonic may be correctly estimated.

- b) Frequency-domain instruments normally are not appropriate for the measurement of fluctuating or rapidly changing interharmonic frequencies as the synchronization of the measuring instrument to those fast changing frequencies is difficult.

On peut utiliser des appareils travaillant dans le domaine temporel. Ils ne sont pas nécessairement synchronisés avec la fréquence interharmonique à mesurer mais ils fournissent des résultats à toutes les fréquences $f_m = m/T_w$ où T_w est la fenêtre temporelle et $m = 0, 1, 2, \dots$. En conséquence, le contenu interharmonique autour de chaque fréquence centrale f_m peut être mesuré et, s'il correspond à la fréquence de télécommande, le niveau perturbateur de l'interharmonique peut être correctement évalué. La largeur de fenêtre de 0,16 s précédemment mentionnée donne des raies spectrales tous les 6,25 Hz: c'est un bon compromis entre la bande passante souhaitée et la possibilité de suivre des phénomènes dont l'amplitude et/ou la fréquence changent rapidement.

De plus, s'il n'y a que quelques raies interharmoniques présentes (une fréquence interharmonique au maximum dans une fenêtre fréquentielle de par exemple 6,25 Hz), elles peuvent être considérées comme des vecteurs tournants de différence fréquentielle $\Delta f = f_{int} - f_m$ dans le plan complexe, f_{int} étant la vraie fréquence interharmonique et f_m étant la fréquence centrale de mesure. La vraie fréquence f_{int} peut être recalculée et son atténuation par la fonction de transfert de la FFT peut être corrigée par un traitement logiciel.

S'il est nécessaire de faire une évaluation statistique des interharmoniques, les recommandations de l'article 9 peuvent être suivies. Dans le cas d'interharmoniques, des gammes de fréquences doivent être considérées au lieu de fréquences harmoniques fixes. Le centre et la largeur de ces gammes doivent être choisis en fonction du phénomène étudié (par exemple l'influence sur les récepteurs de télécommande ou l'effet de flicker).

11 Effets de l'environnement - Essais d'immunité

Le constructeur doit définir les conditions de fonctionnement nominales et les erreurs d'influence dues aux paramètres d'influence les plus notables comme:

- la température;
- l'humidité;
- la tension d'alimentation de l'appareil et les perturbations série correspondantes;
- la tension perturbatrice de mode commun entre la liaison de terre de l'appareil, ses circuits d'entrée et la tension auxiliaire d'alimentation;
- les décharges d'électricité statique;
- les champs électromagnétiques rayonnés.

NOTE - Pour l'application de la CEI 348 concernant les prescriptions relatives à la sécurité et à l'isolement, il convient de tenir compte du fait que les circuits d'entrée (tension de même que courant) peuvent être directement raccordés au réseau d'alimentation.

11.1 Température et humidité

Gammes de température et d'humidité préférentielles:

- gamme de température de fonctionnement: +5 °C à +40 °C;
- gamme de température de stockage: -10 °C à +55 °C;
- gamme d'humidité relative de fonctionnement: 40 % à 95 %.

Time-domain instruments can be used. They are likewise not necessarily synchronised with the interharmonic frequency to be measured, but they provide measuring results at all frequencies $f_m = m/T_w$, T_w being the width of time window and $m = 0, 1, 2, \dots$. Consequently, the interharmonic content around each centre frequency f_m can be measured and, if it is matched to the ripple-control frequency, the disturbance level of an interharmonic may be correctly assessed. The above mentioned window width of 0,16 s provides frequency lines all 6,25 Hz; this is a sound compromise between the desired bandwidth and the ability to follow rapidly changing amplitudes and/or frequencies.

Moreover, if only a few interharmonic lines are predominant (one interharmonic frequency at maximum within a frequency window of e.g. 6,25 Hz), they can be interpreted as vectors rotating with the difference $\Delta f = f_{\text{int}} - f_m$ in the complex plane, f_{int} being the actual interharmonic frequency and f_m being the measured centre frequency. The actual frequency f_{int} may be recalculated, and its attenuation by the transfer-function of the FFT-transform may be corrected by software handling.

If a statistical evaluation of interharmonics is necessary the recommendations of clause 9 may be followed. Instead of fixed harmonic frequencies, in the case of interharmonics, frequency ranges have to be considered. The centre and the width of these ranges shall be chosen in accordance with the studied phenomenon (for example, the influence on ripple control receivers or on flicker effects).

11 Effect of environment - Immunity tests

The manufacturer shall specify the rated operating conditions and possibly the magnitude of error introduced by changes in:

- temperature;
- humidity;
- instrument supply voltage and related series interferences;
- common mode interference voltage between the earth connection of the instrument, its input circuits and the auxiliary supply voltage;
- static electricity discharges;
- radiated electromagnetic fields.

NOTE - In applying IEC 348 for safety and insulating requirements it should be taken into account that the inputs circuits (voltage as well as current) may be directly connected to the mains supply voltages.

11.1 Temperature and humidity

Preferred temperature and humidity ranges:

- operating temperature range: +5 °C to +40 °C;
- storage temperature range: -10 °C to +55 °C;
- relative humidity operating range: 40 % to 95 %.