

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



BASIC EMC PUBLICATION
PUBLICATION FONDAMENTALE EN CEM

**Electromagnetic compatibility (EMC) –
Part 4-7: Testing and measurement techniques – General guide on harmonics
and interharmonics measurements and instrumentation, for power supply
systems and equipment connected thereto**

**Compatibilité électromagnétique (CEM) –
Partie 4-7: Techniques d'essai et de mesure – Guide général relatif aux mesures
d'harmoniques et d'interharmoniques, ainsi qu'à l'appareillage de mesure,
applicable aux réseaux d'alimentation et aux appareils qui y sont raccordés**



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2009 IEC, Geneva, Switzerland

All rights reserved. Unless otherwise specified, no part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from either IEC or IEC's member National Committee in the country of the requester.

If you have any questions about IEC copyright or have an enquiry about obtaining additional rights to this publication, please contact the address below or your local IEC member National Committee for further information.

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de la CEI ou du Comité national de la CEI du pays du demandeur.

Si vous avez des questions sur le copyright de la CEI ou si vous désirez obtenir des droits supplémentaires sur cette publication, utilisez les coordonnées ci-après ou contactez le Comité national de la CEI de votre pays de résidence.

IEC Central Office
3, rue de Varembe
CH-1211 Geneva 20
Switzerland
Email: inmail@iec.ch
Web: www.iec.ch

About the IEC

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

About IEC publications

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

- Catalogue of IEC publications: www.iec.ch/searchpub

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

- IEC Just Published: www.iec.ch/online_news/justpub

Stay up to date on all new IEC publications. Just Published details twice a month all new publications released. Available on-line and also by email.

- Electropedia: www.electropedia.org

The world's leading online dictionary of electronic and electrical terms containing more than 20 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary online.

- Customer Service Centre: www.iec.ch/webstore/custserv

If you wish to give us your feedback on this publication or need further assistance, please visit the Customer Service Centre FAQ or contact us:

Email: csc@iec.ch
Tel.: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00

A propos de la CEI

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

A propos des publications CEI

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

- Catalogue des publications de la CEI: www.iec.ch/searchpub/cur_fut-f.htm

Le Catalogue en-ligne de la CEI vous permet d'effectuer des recherches en utilisant différents critères (numéro de référence, texte, comité d'études,...). Il donne aussi des informations sur les projets et les publications retirées ou remplacées.

- Just Published CEI: www.iec.ch/online_news/justpub

Restez informé sur les nouvelles publications de la CEI. Just Published détaille deux fois par mois les nouvelles publications parues. Disponible en-ligne et aussi par email.

- Electropedia: www.electropedia.org

Le premier dictionnaire en ligne au monde de termes électroniques et électriques. Il contient plus de 20 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans les langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International en ligne.

- Service Clients: www.iec.ch/webstore/custserv/custserv_entry-f.htm

Si vous désirez nous donner des commentaires sur cette publication ou si vous avez des questions, visitez le FAQ du Service clients ou contactez-nous:

Email: csc@iec.ch
Tél.: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



BASIC EMC PUBLICATION
PUBLICATION FONDAMENTALE EN CEM

**Electromagnetic compatibility (EMC) –
Part 4-7: Testing and measurement techniques – General guide on harmonics
and interharmonics measurements and instrumentation, for power supply
systems and equipment connected thereto**

**Compatibilité électromagnétique (CEM) –
Partie 4-7: Techniques d'essai et de mesure – Guide général relatif aux mesures
d'harmoniques et d'interharmoniques, ainsi qu'à l'appareillage de mesure,
applicable aux réseaux d'alimentation et aux appareils qui y sont raccordés**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX

CJ

ICS 33.100.10; 33.100.20

ISBN 2-8318-1062-6

CONTENTS

FOREWORD.....	4
INTRODUCTION.....	6
1 Scope.....	7
2 Normative references	7
3 Definitions, symbols and indices.....	8
3.1 Definitions related to frequency analysis	8
3.2 Definitions related to harmonics	9
3.3 Definitions related to distortion factors	10
3.4 Definitions related to interharmonics	11
3.5 Notations.....	12
3.5.1 Symbols	12
3.5.2 Subscripts	13
4 General concepts and common requirements for all types of instrumentation	14
4.1 Characteristics of the signal to be measured	14
4.2 Accuracy classes of instrumentation.....	14
4.3 Types of measurement	14
4.4 General structure of the instrument	14
4.4.1 Main instrument.....	14
4.4.2 Post-processing parts.....	16
5 Harmonic measurements	16
5.1 Current input circuit.....	16
5.2 Voltage input circuit.....	17
5.3 Accuracy requirements	17
5.4 Measurement set-up and supply voltage.....	19
5.4.1 Measurement set-up for emission assessment.....	19
5.4.2 Supply voltage for emission assessment	19
5.4.3 Equipment power.....	21
5.5 Assessment of harmonic emissions	21
5.5.1 Grouping and smoothing.....	21
5.5.2 Compliance with emission limits	23
5.6 Assessment of voltage harmonic subgroups	23
6 Other analysis principles	23
7 Transitional period.....	24
8 General	24
Annex A (informative) Measurement of interharmonics	25
Annex B (informative) Measurements above the harmonic frequency range up to 9 kHz.....	27
Annex C (informative) Technical considerations for grouping method.....	32
Bibliography.....	41

Figure 1 – General structure of the measuring instrument.....	15
Figure 2 – Measurement set-up for single-phase emission measurement.....	19
Figure 3 – Measurement set-up for three-phase emission measurements	19
Figure 4 – Illustration of harmonic and interharmonic groups (here shown for a 50-Hz supply)	21
Figure 5 – Realization of a digital low-pass filter: z^{-1} designates a window width delay, α and β are the filter coefficients (see Table 2 for values).....	22
Figure 6 – Illustration of a harmonic subgroup and an interharmonic centred subgroup (here shown for a 50 Hz supply)	23
Figure B.1 – Illustration of frequency bands for measurement in the range above the 40 th harmonic order for 50 Hz power system up to 9 kHz	28
Figure B.2 – General measurement setup	29
Figure B.3 – Artificial mains network for 16-A current and below	30
Figure B.4 – Artificial mains network impedance viewed by the EUT	31
Figure C.1 – Large 5th harmonic current fluctuation.....	35
Figure C.2 – Large 5th harmonic voltage fluctuation	35
Figure C.3 – Fluctuating 3rd harmonic current of a micro-wave appliance	36
Figure C.4 – Communication signal of 178 Hz together with 3rd and 5th harmonics	37
Figure C.5 – Interharmonic at 287 Hz, 5th and 6th harmonic.....	37
Figure C.6 – Modulated 5th harmonic and interharmonic at 287 Hz.....	39
Figure C.7 – Component vectors at frequencies of 245 Hz and 255Hz	40
Table 1 – Accuracy requirements for current, voltage and power measurements.....	18
Table 2 – Smoothing filter coefficients according to the window width	22

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY (EMC) –**Part 4-7: Testing and measurement techniques –
General guide on harmonics and interharmonics measurements and
instrumentation, for power supply systems and
equipment connected thereto**

FOREWORD

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

International Standard IEC 61000-4-7 has been prepared by subcommittee 77A: Low frequency phenomena, of IEC technical committee 77: Electromagnetic compatibility.

This consolidated version of IEC 61000-4-7 consists of the second edition (2002) [documents 77A/382/FDIS and 77A/387/RVD], its amendment 1 (2008) [documents 77A/645/FDIS and 77A/651/RVD] and its corrigendum of July 2004.

The technical content is therefore identical to the base edition and its amendment and has been prepared for user convenience.

It bears the edition number 2.1.

A vertical line in the margin shows where the base publication has been modified by amendment 1.

This standard forms part 4-7 of IEC 61000. It has the status of a basic EMC publication in accordance with IEC Guide 107.

Annexes A, B and C are for information only.

The committee has decided that the contents of the base publication and its amendments will remain unchanged until the maintenance result date indicated on the IEC web site under "<http://webstore.iec.ch>" in the data related to the specific publication. At this date, the publication will be

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

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

INTRODUCTION

IEC 61000 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 6: Generic standards

Part 9: Miscellaneous

Each part is further subdivided into several parts, published either as International Standards or as technical specifications or technical reports, some of which have already been published as sections. Other will be published with the part number followed by a dash and a second number identifying the subdivision (example: 61000-6-1).

These publications will be published in chronological order and numbered accordingly.

This part is an International Standard for the measurement of harmonic currents and voltages in power supply systems and harmonic currents emitted by equipment. It also specifies the performance of a standard measuring instrument.

ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY (EMC) –

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

1 Scope

This part of IEC 61000 is applicable to instrumentation intended for measuring spectral components in the frequency range up to 9 kHz which are superimposed on the fundamental of the power supply systems at 50 Hz and 60 Hz. For practical considerations, this standard distinguishes between harmonics, interharmonics and other components above the harmonic frequency range, up to 9 kHz.

This standard defines the measurement instrumentation intended for testing individual items of equipment in accordance with emission limits given in certain standards (for example, harmonic current limits as given in IEC 61000-3-2) as well as for the measurement of harmonic currents and voltages in actual supply systems. Instrumentation for measurements above the harmonic frequency range, up to 9 kHz is tentatively defined (see Annex B).

NOTE 1 This document deals in detail with instruments based on the discrete Fourier transform.

NOTE 2 The description of the functions and structure of the measuring instruments in this standard is very explicit and meant to be taken literally. This is due to the necessity of having reference instruments with reproducible results irrespective of the characteristics of the input signals.

NOTE 3 The instrument is defined to accommodate measurements of harmonics up to the 50th order.

2 Normative references

The following referenced documents are indispensable for the application of this document. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

IEC 60038, *IEC standard voltages*

IEC 60050-161, *International Electrotechnical Vocabulary – Chapter 161: Electromagnetic compatibility*

IEC 61000-2-2, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 2-2: Environment – Compatibility levels for low-frequency conducted disturbances and signalling in public low-voltage power supply systems*

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

IEC 61000-3-12, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 3-12: Limits – Limits for harmonic currents produced by equipment connected to public low-voltage systems with input current >16 A and ≤ 75 A per phase*

3 Definitions, symbols and indices

For the purposes of this part of IEC 61000, the definitions given in IEC 60050-161 (IEV) and the following, apply.

3.1 Definitions related to frequency analysis

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:

$$f(t) = c_0 + \sum_{k=1}^{\infty} c_k \sin\left(\frac{k}{N} \omega_1 t + \varphi_k\right) \quad (1)$$

with:

$$\left\{ \begin{array}{l} c_k = |b_k + ja_k| = \sqrt{a_k^2 + b_k^2} \\ Y_{C,k} = \frac{c_k}{\sqrt{2}} \\ \varphi_k = \pi + \arctan\left(\frac{a_k}{b_k}\right) \text{ if } b_k < 0 \\ \varphi_k = \arctan\left(\frac{a_k}{b_k}\right) \text{ if } b_k > 0 \\ \varphi_k = \frac{\pi}{2} \text{ if } b_k = 0 \text{ and } a_k > 0 \\ \varphi_k = -\frac{\pi}{2} \text{ if } b_k = 0 \text{ and } a_k < 0 \\ \varphi_k = 0 \text{ if } |b_k| \leq \varepsilon \text{ and } |a_k| \leq \varepsilon, \\ \text{with } \varepsilon = 0,05\% U_{\text{nom}} \text{ and } \varepsilon = 0,15\% I_{\text{nom}} \\ \text{or } \varepsilon = 0,15\% U_{\text{nom}} \text{ and } \varepsilon = 0,5\% I_{\text{nom}} \\ \text{respectively, see table 1 in IEC 61000-4-7} \end{array} \right. \quad (2)$$

and:

$$\left\{ \begin{array}{l} b_k = \frac{2}{T_N} \int_0^{T_N} f(t) \times \sin\left(\frac{k}{N} \omega_1 t\right) dt \\ a_k = \frac{2}{T_N} \int_0^{T_N} f(t) \times \cos\left(\frac{k}{N} \omega_1 t\right) dt \\ c_0 = \frac{1}{T_N} \int_0^{T_N} f(t) dt \end{array} \right. \quad (3)$$

NOTE 1 The above definition setting φ_k to zero for the cases where b_k and a_k have very small values provides guidance to instrument manufacturers, as phase measurements of very small amplitudes may result in very large deviations, hence there is no requirement to measure phase for such small signals.

ω_1 is the angular frequency of the fundamental ($\omega_1 = 2\pi f_{H,1}$);

T_N is the width (or duration) of the time window; the time window is that time span of a time function over which the Fourier transform is performed;

c_0 is the d.c. component;

c_k is the amplitude of the component with frequency $f_{C,k} = \frac{k}{N} f_{H,1}$;

$Y_{C,k}$ is the r.m.s. value of component c_k ;

$f_{H,1}$ is the fundamental frequency of the power system;

k is the ordinal number (order of the spectral component) related to the frequency resolution $\left(f_{C,1} = \frac{1}{T_N}\right)$;

N is the number of fundamental periods within the window width;

φ_k is the phase angle of spectral line k .

NOTE 2 Strictly speaking these definitions apply to steady-state signals only. The Fourier series is actually in most cases performed digitally, i.e. as a Discrete Fourier Transform DFT, or a variant thereof, being the FFT.

The analogue signal $f(t)$ which has to be analyzed is sampled, A/D-converted and stored. Each group of M samples forms a time window on which DFT is performed. According to the principles of Fourier series expansion, the window width T_N determines the frequency resolution $f_{C,1} = 1/T_N$ (i.e. the frequency separation of the spectral components) for the analysis. Therefore the window width T_N must be an integer multiple N of the fundamental period T_1 of the system voltage: $T_N = N \times T_1$. The sampling rate is in this case $f_s = M/(NT_1)$ (where M = number of samples within T_N).

Before DFT-processing, the samples in the time window are often weighted by multiplying them with a special symmetrical function ('windowing function'). However, for periodic signals and synchronous sampling it is preferable to use a rectangular weighting window which multiplies each sample by unity.

The DFT-processor yields the orthogonal Fourier-coefficients a_k and b_k of the corresponding spectral-component frequencies $f_{C,k} = k/T_N$, $k = 0, 1, 2 \dots M-1$. However, only k values up to and including half of the maximum value are useful, the other half just duplicates them.

Under synchronized conditions, the component of harmonic order h related to the fundamental frequency $f_{H,1}$ appears as the spectral component of order k , where $k = hN$.

NOTE 3 The Fast Fourier Transform FFT is a special algorithm allowing short computation times. It requires that the number of samples M be an integer power of 2, $M = 2^i$, with $i \geq 10$ for example.

NOTE 4 The symbol Y is replaced, as required by the symbol I for currents, by the symbol U for voltages. Index C qualifies the variable as spectral component.

3.2 Definitions related to harmonics

3.2.1

harmonic frequency

$f_{H,h}$
frequency which is an integer multiple of the fundamental frequency of the power system ($f_{H,h} = h \times f_{H,1}$)

NOTE The harmonic frequency $f_{H,h}$ is identical with the component frequency $f_{C,k}$ with $k = h \times N$.

3.2.2

harmonic order

h

(integer) ratio of a harmonic frequency to the fundamental frequency of the power system. In connection with the analysis using DFT and synchronisation between $f_{H,1}$ and f_s (sampling rate), the harmonic order h corresponds to the spectral component $k = h \times N$ (k = number of the spectral component, N = number of periods of the fundamental frequency in time window T_N)

3.2.3

r.m.s. value of a harmonic component

$Y_{H,h}$

r.m.s. value of one of the components having a harmonic frequency in the analysis of a non-sinusoidal waveform

For brevity, such a component may be referred to simply as a "harmonic"

NOTE 1 The harmonic component $Y_{H,h}$ is identical with the spectral component $Y_{C,k}$ with $k = h \times N$; ($Y_{H,h} = Y_{C,h \times N}$). The symbol Y is replaced, as required by the symbol I for currents, by the symbol U for voltages. The index H qualifies the variable I or U as harmonic.

NOTE 2 For the purposes of this standard, the time window has a width of $N = 10$ (50 Hz systems) or $N = 12$ (60 Hz system) fundamental periods, i.e. approximately 200 ms (see 4.4.1). This yields $Y_{H,h} = Y_{C,10 \times h}$ (50 Hz systems) and $Y_{H,h} = Y_{C,12 \times h}$ (60 Hz systems).

3.2.4

r.m.s. value of a harmonic group

$Y_{g,h}$

square root of the sum of the squares of the r.m.s. value of a harmonic and the spectral components adjacent to it within the time window, thus summing the energy contents of the neighbouring components with that of the harmonic proper. See also equation 8 and Figure 4. The harmonic order is given by the harmonic considered.

NOTE The symbol Y is replaced, as required by the symbol I for currents, by the symbol U for voltages.

3.2.5

r.m.s. value of a harmonic subgroup

$Y_{sg,h}$

square root of the sum of the squares of the r.m.s. value of a harmonic and the two spectral components immediately adjacent to it. For the purpose of including the effect of voltage fluctuation during voltage surveys, a subgroup of output components of the DFT is obtained by summing the energy contents of the frequency components directly adjacent to a harmonic with that of the harmonic proper. (See also equation 9 and Figure 6.) The harmonic order is given by the harmonic considered

NOTE The symbol Y is replaced, as required by the symbol I for currents, by the symbol U for voltages.

3.3 Definitions related to distortion factors

3.3.1

total harmonic distortion

THD

THD_Y (symbol)

ratio of the r.m.s. value of the sum of all the harmonic components ($Y_{H,h}$) up to a specified order (h_{max}) to the r.m.s. value of the fundamental component ($Y_{H,1}$):

$$THD_Y = \sqrt{\sum_{h=2}^{h_{max}} \left(\frac{Y_{H,h}}{Y_{H,1}} \right)^2} \tag{4}$$

NOTE 1 The symbol Y is replaced, as required, by the symbol I for currents or by the symbol U for voltages.

NOTE 2 The value of h_{max} is 40 if no other value is defined in a standard concerned with limits (IEC 61000-3 series).

3.3.2

group total harmonic distortion

THDG

$THDG_Y$ (symbol)

ratio of the r.m.s. value of the harmonic groups ($Y_{g,h}$) to the r.m.s. value of the group associated with the fundamental ($Y_{g,1}$):

$$THDG_Y = \sqrt{\sum_{h=h_{min}}^{h_{max}} \left(\frac{Y_{g,h}}{Y_{g,1}} \right)^2} \quad \text{where } h_{min} \geq 2 \tag{5}$$

NOTE 1 The symbol Y is replaced, as required, by the symbol I for currents or by the symbol U for voltages.

NOTE 2 The value of h_{min} is 2 and that of h_{max} is 40 if no other values are defined in a standard concerned with limits (for example IEC 61000-3 series).

3.3.3**THDS****subgroup total harmonic distortion****THDS_Y** (symbol)

ratio of the r.m.s. value of the harmonic sub-groups ($Y_{sg,h}$) to the r.m.s. value of the sub-group associated with the fundamental ($Y_{sg,1}$):

$$THDS_Y = \sqrt{\sum_{h=h_{\min}}^{h_{\max}} \left(\frac{Y_{sg,h}}{Y_{sg,1}} \right)^2} \quad \text{where } h_{\min} \geq 2 \quad (6)$$

NOTE 1 The symbol Y is replaced, as required, by the symbol I for currents or by the symbol U for voltages.

NOTE 2 The value of h_{\min} is 2 and that of h_{\max} is 40 if no other values are defined in a standard concerned with limits (for example IEC 61000-3 series).

3.3.4**partial weighted harmonic distortion****PWHD****PWHD_{H,Y}** (symbol)

ratio of the r.m.s. value, weighted with the harmonic order h , of a selected group of higher order harmonics (from the order h_{\min} to h_{\max}) to the r.m.s. value of the fundamental:

$$PWHD_{H,Y} = \sqrt{\sum_{h=h_{\min}}^{h_{\max}} h \left(\frac{Y_{H,h}}{Y_{H,1}} \right)^2} \quad (7)$$

NOTE 1 The symbol Y is replaced, as required, by the symbol I for currents or by the symbol U for voltages.

NOTE 2 The concept of partial weighted harmonic distortion is introduced to allow for the possibility of specifying a single limit for the aggregation of higher order harmonic components. The partial weighted group harmonic distortion $PWHD_{g,Y}$ can be evaluated by replacing the quantity $Y_{H,h}$ by the quantity $Y_{g,h}$. The partial weighted subgroup harmonic distortion $PWHD_{sg,Y}$ can be evaluated by replacing the quantity $Y_{H,h}$ by the quantity $Y_{sg,h}$. The type of $PWHD$ ($PWHD_{H,Y}$, $PWHD_{g,Y}$ or $PWHD_{sg,Y}$) is defined in each standard which uses the $PWHD$, for example in standards concerned with limits (IEC 61000-3 series).

NOTE 3 The values of h_{\min} and h_{\max} are defined in each standard which uses the $PWHD_Y$, for example in a standard concerned with limits (IEC 61000-3 series).

3.4 Definitions related to interharmonics**3.4.1****r.m.s. value of a spectral component** **$Y_{C,k}$**

in the analysis of a waveform, the r.m.s. value of a component whose frequency is a multiple of the inverse of the duration of the time window

NOTE 1 If the duration of the time window is multiple of the fundamental period, only some of the spectral components have frequencies which are integer multiples of the fundamental frequency.

NOTE 2 The frequency interval between two consecutive spectral components is the inverse of the width of the time window, approximately 5 Hz for the purposes of this standard.

NOTE 3 The symbol Y is replaced, as required, by the symbol I for currents or by the symbol U for voltages.

3.4.2**r.m.s. value of an interharmonic component** **$Y_{C,i}$**

r.m.s. value of a spectral component, $Y_{C,k} \neq h \times N$, with a frequency between two consecutive harmonic frequencies (see Figure 4). For brevity, such a component may be referred to simply as an "interharmonic".

NOTE 1 The frequency of the interharmonic component is given by the frequency of the spectral line. This frequency is not an integer multiple of the fundamental frequency.

NOTE 2 A difference is made between an "interharmonic component" produced as a physical component by an equipment, for example at 183,333 Hz, and a "spectral component" calculated by the instrument as the result of the waveform analysis e.g. for a 50 Hz system at 185 Hz (the frequency of the FFT bin). The "spectral component" is also the "harmonic component" for $h \times N$ where h is an integer.

3.4.3

r.m.s. value of an interharmonic group

$Y_{ig,h}$

r.m.s. value of all spectral components in the interval between two consecutive harmonic frequencies (see Figure 4).

NOTE 1 For the purpose of this standard, the r.m.s. value of the interharmonic group between the harmonic orders h and $h + 1$ is designated as $Y_{ig,h}$, for example the group between $h = 5$ and $h = 6$ is designated as $Y_{ig,5}$.

NOTE 2 The symbol Y is replaced, as required, by the symbol I for currents or by the symbol U for voltages.

3.4.4

r.m.s. value of an interharmonic centred subgroup

$Y_{isg,h}$

r.m.s. value of all spectral components in the interval between two consecutive harmonic frequencies, excluding spectral components directly adjacent to the harmonic frequencies (see Figure 6)

NOTE 1 For the purpose of this standard, the r.m.s. value of the centred subgroup between the harmonic orders h and $h + 1$ is designated as $Y_{isg,h}$, for example the centred subgroup between $h = 5$ and $h = 6$ is designated as $Y_{isg,5}$.

NOTE 2 The symbol Y is replaced, as required, by the symbol I for currents or by the symbol U for voltages.

3.4.5

interharmonic group frequency

$f_{ig,h}$

mean of the two harmonic frequencies between which the group is situated, i.e. $f_{ig,h} = (f_{H,h} + f_{H,h+1})/2$.

3.4.6

interharmonic centred subgroup frequency

$f_{isg,h}$

mean of the two harmonic frequencies between which the subgroup is situated, i.e. $f_{isg,h} = (f_{H,h} + f_{H,h+1})/2$.

3.5 Notations

3.5.1 Symbols

In this standard, voltage and current values are r.m.s. unless otherwise stated.

a	amplitude coefficient of a cosine component in a Fourier series
b	amplitude coefficient of a sine component in a Fourier series
c	amplitude coefficient in a Fourier series
f	frequency; function
$f_{C,k}$	spectral component frequency of order k
$f_{C,1}$	the frequency of the spectral component of order 1. The frequency resolution is equal to this frequency
$f_{g,h}$	harmonic-group frequency of order h
$f_{sg,h}$	harmonic-subgroup frequency of order h
$f_{ig,h}$	interharmonic-group frequency of order h
$f_{isg,h}$	interharmonic centred subgroup frequency of order h
$f_{H,h}$	harmonic component frequency of order h
$f_{H,1}$	fundamental frequency of the power system
f_s	sampling rate
h_{\max}	the order of the highest harmonic that is taken into account
h_{\min}	the order of the lowest harmonic that is taken into account
j	$\sqrt{-1}$

t	running time
B	bandwidth
I	current (r.m.s. value)
M	integer number; number of samples within the window width
N	number of power supply periods within the window width
P	power
T	time interval
T_1	fundamental period of the power supply system
T_N	window width comprising N fundamental periods
U	voltage (r.m.s. value)
Y	Variable replaceable by I, U
$Y_{C,k}$	r.m.s. value of the spectral component of order k
$Y_{g,h}$	r.m.s. value of harmonic group
$Y_{H,h}$	r.m.s. value of the harmonic component of order h
$Y_{ig,h}$	r.m.s. value of interharmonic group
$Y_{isg,h}$	r.m.s. value of interharmonic centred subgroup
$Y_{sg,h}$	r.m.s. value of harmonic subgroup
ω	angular frequency
ω_1	angular frequency of the power supply
φ	phase angle

3.5.2 Subscripts

b	centre-band frequency
h	running-integer number for harmonic orders
k	running-integer number for spectral components
m	measured value
max	maximum value
min	minimum value
o	smoothed value
g	grouped value
sg	sub-grouped value
i	interharmonic value
g,h	harmonic group associated with harmonic order h
sg,h	harmonic subgroup associated with harmonic order h
ig,h	interharmonic group above harmonic order h
isg,h	interharmonic centred sub-group above harmonic order h
og,h	smoothed harmonic group of order h
nom	nominal value
s	sampled
C	value related to spectral component
H	harmonic
f	frequency
0	d.c. related

4 General concepts and common requirements for all types of instrumentation

4.1 Characteristics of the signal to be measured

Instruments for the following types of measurement are considered:

- a) harmonic emission measurement,
- b) interharmonic emission measurement,
- c) measurements above harmonic frequency range up to 9 kHz.

Strictly speaking the (Fast) Fourier Transform produces accurate results for steady state signals only. Signals whose amplitudes vary with time cannot be described correctly by their harmonic components only. In order to obtain reproducible harmonic emission analysis results when measuring products with fluctuating power, and thus fluctuating fundamental current and possibly fluctuating harmonic current levels, a combination of averaging techniques and sufficiently long measurement cycles can be used. This standard therefore provides a simplified method employing specific averaging methods (see 5.5.1). Furthermore, a test observation period, long enough to obtain successive measurement results that are within acceptable tolerance levels is specified in the harmonic emission standards referring to this standard.

4.2 Accuracy classes of instrumentation

Two classes of accuracy (I and II) are considered, to permit the use of simple and low-cost instruments, consistent with the requirements of the application. For emission tests, the upper class I is required if the emissions are near to the limit values (see also note 2 of table 1).

4.3 Types of measurement

Requirements for harmonic and interharmonic measurements are given. Measurements in the frequency range up to 9 kHz are also considered.

4.4 General structure of the instrument

New designs of instrument are likely to use the discrete Fourier transform (DFT), normally using a fast algorithm called fast Fourier transform (FFT). Therefore this standard considers only this architecture but does not exclude other analysis principles (see clause 6).

The general structure is represented in figure 1. An instrument may or may not comprise all the blocks and outputs given.

4.4.1 Main instrument

The main instrument comprises

- input circuits with anti-aliasing filter,
- A/D-converter including sample-and-hold unit,
- synchronisation and window-shaping unit if necessary,
- DFT-processor providing the Fourier coefficients a_k and b_k ("OUT 1").

It is complemented by the special parts devoted to current assessment and/or voltage assessment.

NOTE 1 For further details, see 5.5.

NOTE 2 For the analysis of harmonics and interharmonics, the signal $f(t)$ which has to be analysed is pre-treated to eliminate frequencies higher than the operating range of the instrument.

The window width shall be 10 (50 Hz systems) or 12 (60 Hz systems) fundamental periods ($T_N = [10 \text{ or } 12] \times T_1 \approx 200\text{ms}$) with rectangular weighting, synchronized to the fundamental frequency of the power system. Hanning weighting is allowed only in the case of loss of synchronisation. The loss of synchronisation shall be indicated on the instrument display and the data so acquired shall be flagged and shall not be used for the purpose of determining compliance, but may be used for other purposes.

The time window shall be synchronised with each group of 10 or 12 cycles according to the power system frequency of 50 Hz or 60 Hz. The time between the leading edge of the first sampling pulse and the leading edge of the $(M+1)$ th sampling pulse (where M is the number of samples; see 3.5.1) shall be equal to the duration of the specified number of cycles of the power system, with a maximum permissible error of $\pm 0,03\%$. Instruments including a phase-locked loop or other synchronisation means shall meet the requirements for accuracy and synchronisation for measuring at any signal frequency within a range of at least $\pm 5\%$ of the nominal system frequency. However, for instruments having integrated supply sources, so that the source and measurement systems are inherently synchronised, the requirement for a working input frequency range does not apply, provided the requirements for synchronisation and frequency accuracy are met.

The output OUT 1 (see Figure 1) shall provide the individual coefficients a_k and b_k of the DFT as well as $Y_{C,k}$, for the current or voltage, i.e. the value of each frequency component calculated.

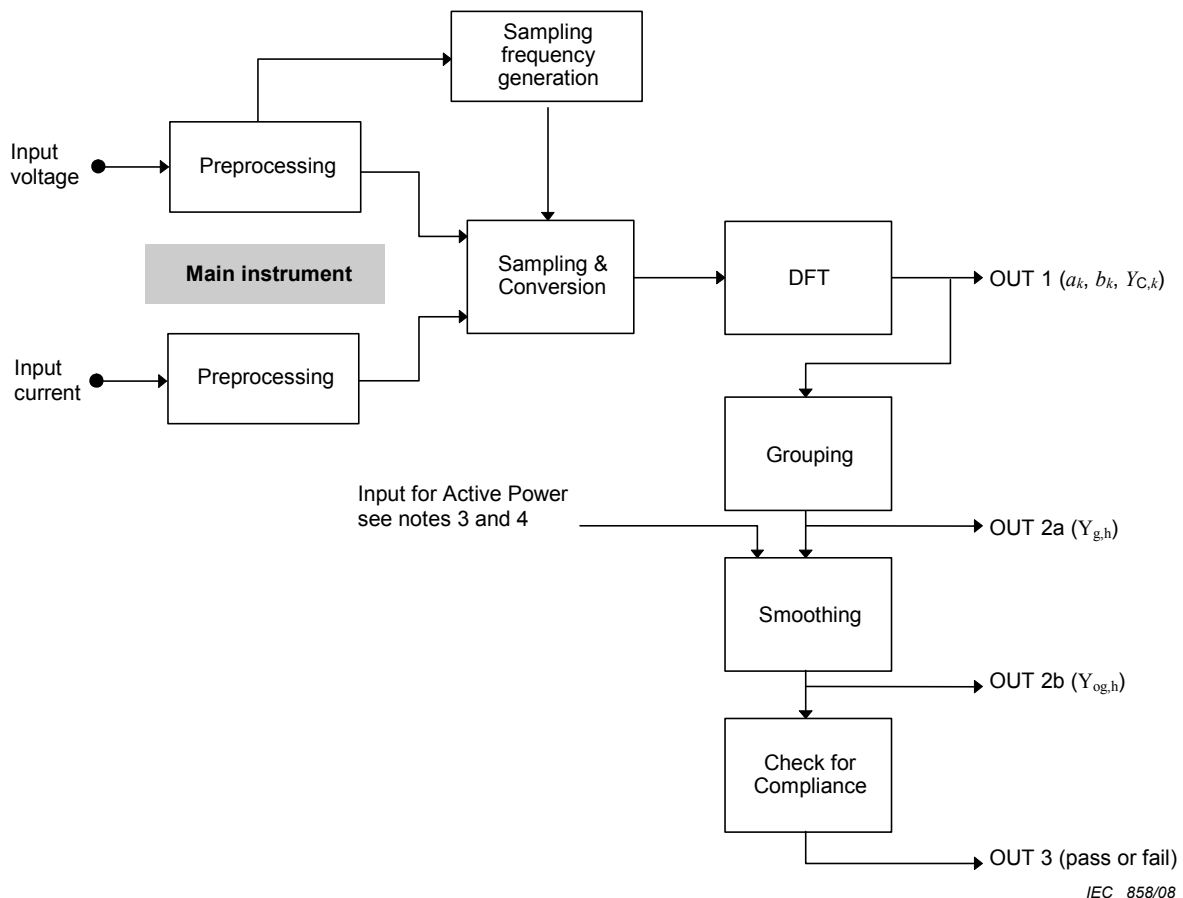


Figure 1 – General structure of the measuring instrument

A further output, not necessarily from the DFT, shall provide the active power P evaluated over the same time window used for the harmonics. For the harmonic emission measurements according to IEC 61000-3-2, this power shall not include the d.c. component.

NOTE 3 The active power P is provided as input to the smoothing process, not to the grouping process.

NOTE 4 Measurement of the d.c. components and of the power associated with them may be included as an option but is not required by this standard.

4.4.2 Post-processing parts

As required by emission standards, additional operations on the raw data like smoothing and weighing of the raw results are performed in successive parts of the instrument.

If output values are to be related to a corresponding value (fundamental, declared or nominal values), this normalization shall be performed only after these additional smoothing procedures.

5 Harmonic measurements

5.1 Current input circuit

The input circuit shall be suitable for the currents to be analysed. It shall provide a direct measurement of the harmonic currents and, in addition, 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 circuit sensitivities range from 0,1 V to 10 V, with 0,1 V being the preferred value, provided they comply with the requirements given in 5.3.

NOTE For current measurements directly in the circuit, it may be advisable, but is not required, to provide the following nominal r.m.s. input current measurement ranges I_{nom} : 0,1 A ; 0,2 A ; 0,5 A ; 1 A ; 2 A ; 5 A ; 10 A ; 20 A ; 50 A ; 100 A.

The power absorption of the current input circuit shall not exceed 3 VA for class II instrumentation. For class I instrumentation, the r.m.s. input voltage drop shall not exceed 0,15 V.

Each current input circuit shall be able to be continuously stressed by $1,2 I_{nom}$ and a stressing by $10 I_{nom}$ for 1 s shall not lead to any damage.

The instrument shall be able to accept input signals with a crest factor up to 4 for the ranges up to 5 A r.m.s., 3,5 for the 10 A r.m.s. range and 2,5 for higher ranges.

An overload indication is required.

The overall accuracy requirements are stated in table 1.

For other requirements, see clause 8.

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 so that the additional influence error does not exceed the stated accuracy.

5.2 Voltage input circuit

The input circuit of the measuring instrument shall be suitable for the maximum voltage and the frequency of the supply voltage to be analysed and shall keep its characteristics and accuracy unchanged up to 1,2 times the maximum voltage. A crest factor of at least 1,5 is sufficient for measurements, except for highly distorted voltages in industrial networks, for which a crest factor of at least 2 may be necessary. An overload indication is required in any case.

Stressing the input for 1 s by an a.c. voltage of four times the input voltage setting or 1 kV r.m.s., whichever is less, shall not lead to any damage in the instrument.

Many nominal supply voltages between 60 V and 690 V exist, depending on local practice. 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_{nom} : 66 V, 115 V, 230 V, 400 V, 690 V for 50 Hz systems

U_{nom} : 69 V, 120 V, 240 V, 277 V, 347 V, 480 V, 600 V for 60 Hz systems.

NOTE 1 In association with external voltage transformers, additional ranges may also be useful (100 V, $100/\sqrt{3}$ V, $110/\sqrt{3}$ V)

NOTE 2 Inputs with higher sensitivity (0,1 V; 1 V; 10 V) are useful for operation with external sensors. The input circuit should be capable of accepting an input signal with a crest factor of at least 2.

The power absorption of the input circuit shall not exceed 0,5 VA at 230 V. If high-sensitivity inputs (less than 50 V) are provided, their input resistance shall be at least 10 k Ω /V.

Care should be taken that the high value of the fundamental (supply frequency) voltage as compared to the other voltage components to be measured does not produce overload causing damage or intermodulation signals in the input stages of the instrument. Errors so caused shall be below the stated accuracy. An overload indication shall be provided.

5.3 Accuracy requirements

Two classes of accuracy are suggested for instrumentation measuring harmonic components. The maximum allowable errors given in table 1 refer to single-frequency and steady-state 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.).

NOTE When testing appliances according to IEC 61000-3-2, the uncertainty terms are related 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. This should be considered when choosing the proper input current range of the measuring instrument.

Table 1 – Accuracy requirements for current, voltage and power measurements

Class	Measurement	Conditions	Maximum error
I	Voltage	$U_m \geq 1\% U_{nom}$ $U_m < 1\% U_{nom}$	$\pm 5\% U_m$ $\pm 0,05\% U_{nom}$
	Current	$I_m \geq 3\% I_{nom}$ $I_m < 3\% I_{nom}$	$\pm 5\% I_m$ $\pm 0,15\% I_{nom}$
	Power	$P_m \geq 150 \text{ W}$ $P_m < 150 \text{ W}$	$\pm 1\% P_m$ $\pm 1,5 \text{ W}$
II	Voltage	$U_m \geq 3\% U_{nom}$ $U_m < 3\% U_{nom}$	$\pm 5\% U_m$ $\pm 0,15\% U_{nom}$
	Current	$I_m \geq 10\% I_{nom}$ $I_m < 10\% I_{nom}$	$\pm 5\% I_m$ $\pm 0,5\% I_{nom}$
<p>I_{nom}: Nominal current range of the measurement instrument U_{nom}: Nominal voltage range of the measurement instrument U_m, I_m and P_m: Measured values.</p>			
<p>NOTE 1 Class I instruments are recommended where precise measurements are necessary, such as for verifying compliance with standards, resolving disputes, etc. Any two instruments that comply with the requirements of Class I, when connected to the same signals, produce matching results within the specified accuracy (or indicate an overload condition).</p> <p>NOTE 2 Class I instruments are recommended for emission measurements, Class II is recommended for general surveys, but can also be used for emission measurements if the values are such that, even allowing for the increased uncertainty, it is clear that the limits are not exceeded. In practice, this means that the measured values of harmonics should be <90 % of the allowed limits.</p> <p>NOTE 3 Additionally, for Class I instruments, the phase shift between individual channels should be smaller than $h \times 1^\circ$.</p>			

Frequencies outside the measuring range of the instrument shall be attenuated so as not to affect the results. To obtain the appropriate attenuation, the instrument may sample the input signal at a frequency much higher than the measuring range. For example, the analysed signal may have components exceeding 25 kHz, but only components up to 2 kHz are taken into account. An anti-aliasing low-pass filter, with a -3 dB frequency above the measuring range shall be provided. The attenuation in the stop-band shall exceed 50 dB.

NOTE For example, a 5th order Butterworth filter achieves 50 dB attenuation at approximately three times the -3 dB frequency.

When it is necessary to assess harmonics with an order greater than 15 and with a rated current greater than 5 A with the minimum uncertainty, it is advisable to use external shunts or current sensors matched to give a range equal to the rated current of the tested equipment.

For instrumentation intended for measuring harmonics only, the accuracy requirements apply to harmonic components only.

To achieve the accuracy stated in table 1 some simple adjustment of the instrument, according to clear indications to be given by the manufacturer, by means of an internal or external calibrator may be required. The uncertainty of the calibrator (if internal) shall be specified.

The errors due to the most important influence factors (temperature, auxiliary mains supply voltage, etc.) shall be indicated by the manufacturer for the instrument itself and for the internal calibrator if it is provided.

5.4 Measurement set-up and supply voltage

5.4.1 Measurement set-up for emission assessment

The measurement set-up is given in Figures 2 and 3.

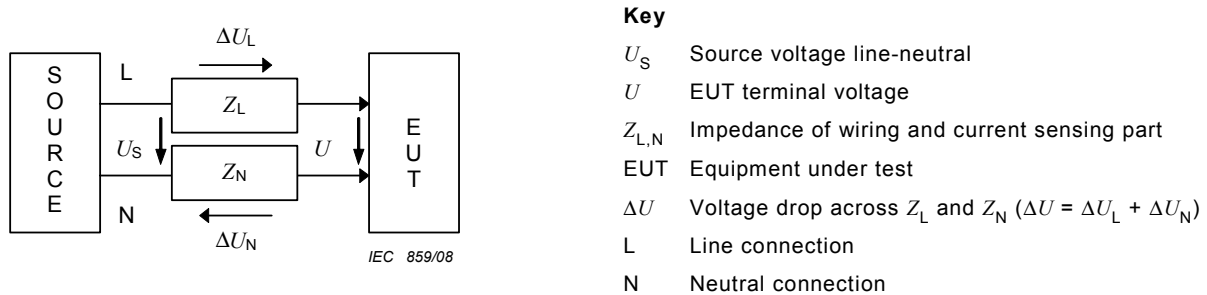


Figure 2 – Measurement set-up for single-phase emission measurement

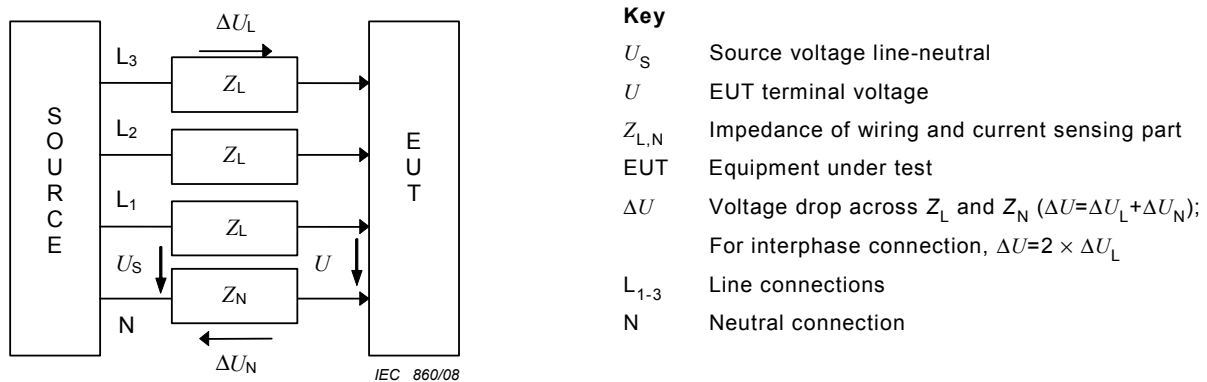


Figure 3 – Measurement set-up for three-phase emission measurements

5.4.2 Supply voltage for emission assessment

5.4.2.1 General

While measurements for assessing harmonics up to the 40th harmonic of the mains frequency are being made, the test voltage U at the terminals of the EUT shall meet the following requirements:

5.4.2.2 Requirements for equipment with input current less than or equal to 16 A per phase

The following requirements for equipment with input current ≤ 16 A per phase shall be met:

- a) The stability of the test voltage shall be maintained within ± 2 % of the selected value and the frequency shall be maintained within $\pm 0,5$ % of the selected value during the test. If the EUT has a specified supply voltage range, the test voltage shall correspond to the nominal voltage of the power system expected to supply the equipment (for example, 230 V line-neutral, corresponding to 400 V line-line). In order to facilitate ease of measurements, for three-wire, three-phase delta connections, an artificial neutral point realized with three resistors matched within 1 % may be used if the neutral conductor is not available from the source. The purpose of the artificial neutral point is to permit voltage and power-per-phase measurements to be made in a line-to-neutral configuration as well as line-to-line. The errors introduced into measurements of EUT currents, during emission tests by the loading effect of the voltmeter part of the instrument and any installed artificial neutral network shall not exceed 0,05 %.

NOTE In many cases the artificial neutral is not required, but if it is, several approaches can be used. It may be provided by the three input impedances of the voltmeters in the measuring instrument. Alternatively, the artificial neutral may effectively consist of the combined effect of an explicit network plus the input impedances of the voltmeters in the measuring instrument. It is also possible that the artificial neutral network, if it is present, and the input impedances of the voltmeters may be so connected as not to introduce any errors in current measurements (because the loading occurs on the source side of the current transducer). In still other cases, errors introduced by the loading effect of the artificial neutral network and the input impedances of the voltmeters in the instrument may be adequately compensated by regulating feedback loops in the source such that errors that otherwise might be introduced do not, in fact, occur. Many other configurations may be satisfactory, provided the required uncertainty is not exceeded.

- b) For a three-phase supply, the three line voltages shall have a phase relationship of 0° , $120^\circ \pm 1,5^\circ$, $240^\circ \pm 1,5^\circ$.
- c) The voltage harmonic distortion of the EUT test voltage U shall not exceed the following values with the EUT connected and operating under the specified test conditions:
 - 0,9 % for harmonic of order 3;
 - 0,4 % for harmonic of order 5;
 - 0,3 % for harmonic of order 7;
 - 0,2 % for harmonic of order 9;
 - 0,2 % for even harmonics of order from 2 to 10;
 - 0,1 % for harmonics of order from 11 to 40.
- d) The peak value of the test voltage shall be within a range of 1,404 to 1,424 times its r.m.s. value and shall be reached between 87° and 93° after the zero crossing.
- e) The voltage drop ΔU across the impedance of the current sensing part and the wiring shall not exceed a peak voltage of 0,5 V.

5.4.2.3 Requirements for equipment with input current above 16 A and less than or equal to 75 A per phase

The following requirements for equipment with input current >16 A and ≤ 75 A per phase shall be met:

- a) The output voltage U shall be the rated voltage of the equipment. In the case of a voltage range, the output voltage shall be a nominal system voltage according to IEC 60038 (for example: 120 V or 230 V for single-phase or 400 V line-line for three-phase). In order to facilitate ease of measurements, for three-wire, three-phase delta connections, an artificial neutral point realized with three resistors matched within 1 % may be used if the neutral conductor is not available from the source. The purpose of the artificial neutral point is to permit voltage and power-per-phase measurements to be made in a line-to-neutral configuration as well as line-to-line. The errors introduced into measurements of EUT currents, during emission tests by the loading effect of the voltmeter part of the instrument and any installed artificial neutral network shall not exceed 0,05 %.
- b) The output voltage shall be maintained within $\pm 2,0$ % and the frequency within $\pm 0,5$ % of the nominal value.
- c) In the case of a three-phase supply, the voltage unbalance shall be less than 50 % of the voltage unbalance compatibility level given in IEC 61000-2-2.
- d) The harmonic ratios of the output voltage U in no-load condition shall not exceed:
 - 1,5 % for harmonic of order 5;
 - 1,25 % for harmonics of order 3 and 7;
 - 0,7 % for harmonic of order 11;
 - 0,6 % for harmonics of order 9 and 13;
 - 0,4 % for even harmonics of order 2 to 10;
 - 0,3 % for harmonics of order 12 and 14 to 40.

- e) For the application of Tables 2 and 3 in IEC 61000-3-12, the impedance of the supply source is such that the short-circuit ratio R_{sce} (as defined in IEC 61000-3-12) is equal to or higher than the minimum R_{sce} value ($R_{sce\ min}$) allowing the compliance of the equipment, with possible insertion of reactors. For the application of Table 4 in IEC 61000-3-12, the impedance of the supply source is such that the R_{sce} is equal to or higher than 1,6 times the minimum R_{sce} value allowing the compliance of the equipment, with possible insertion of reactors.

NOTE 1 The factor 1,6 is intended to take into account the fact that if an equipment is connected to a supply that gives a higher R_{sce} value than $R_{sce\ min}$, the harmonic emission currents increase. An allowance for this is already included in Tables 2 and 3 in IEC 61000-3-12, so that no further allowance in terms of the value of R_{sce} to be used for testing is considered necessary.

- f) The impedance of the current-sensing part and the wiring is included in the impedance of the supply source.

NOTE 2 The values of impedance and distortion given above have been chosen as a compromise, considering that high quality supplies of very high current capacity are extremely rare. The repeatability of results, using different supplies, can be very poor with the above-mentioned values of distortion and impedance. The repeatability using the same supply is not so poor. If at all possible, a supply with lower distortion and impedance should be used.

5.4.3 Equipment power

Equipment power, if required, shall be measured using the EUT terminal voltage U in Figure 2 or Figure 3 and the current into the EUT. For sources that include the current sensing part, equipment power shall be measured using the voltage at the source output terminals and the current into the EUT. In this case, the voltage shall be measured on the EUT side of the current sensing part on the presumption that the source is regulated at its output terminals.

5.5 Assessment of harmonic emissions

The following relates to the post-processing parts of figure 1.

5.5.1 Grouping and smoothing

For assessment of harmonics, the output OUT 1 (see figure 1) of the DFT is first grouped to be the sum of squared intermediate components between two adjacent harmonics according to equation 8, visualized in figure 4. Only intermediate components above the second order harmonic shall be used. The resulting harmonic group of order h (corresponding to the centre component in the hatched area) has the magnitude $Y_{g,h}$ (for 50 Hz this magnitude equals the square root of the sum of the integer harmonic bin value squared plus the squared values of the adjacent bins from $n - 4$ through $n + 4$ plus half of the squared values of the $n - 5$ bin and $n + 5$ bin).

$$Y_{g,h}^2 = \frac{1}{2} \cdot Y_{C,(N \times h) - N/2}^2 + \sum_{k=(-N/2)+1}^{(N/2)-1} Y_{C,(N \times h)+k}^2 + \frac{1}{2} \cdot Y_{C,(N \times h) + N/2}^2 \quad (8)$$

NOTE In this equation, only intermediate components above the second order harmonic are taken into account.

In this equation, $Y_{C,(N \times h)+k}$ is the r.m.s. value of the spectral component corresponding to an output bin (spectral component) of the DFT, $(N \times h) + k$ is the order of the spectral components, and $Y_{g,h}$ is the resulting r.m.s. value of the harmonic group.

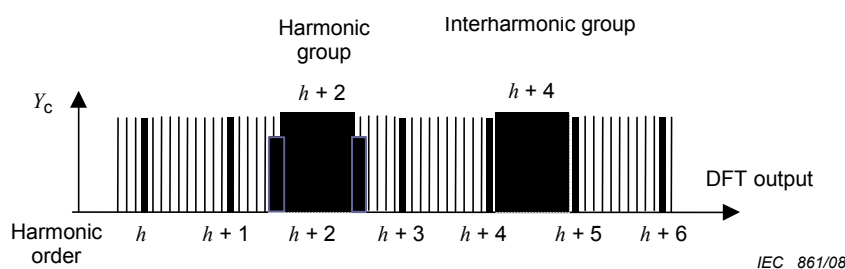


Figure 4 – Illustration of harmonic and interharmonic groups (here shown for a 50-Hz supply)

NOTE The grouping of interharmonics is illustrated in Figure 4 only to clarify the definitions (see Annex A for interharmonic current assessment).

A smoothing of the signal shall be performed over the r.m.s. value $Y_{g,h}$ of each harmonic order, according to equation 8 (OUT 2a of Figure 1), using a digital equivalent of a first order low-pass filter with a time constant of 1,5 s, as shown in Figure 5.

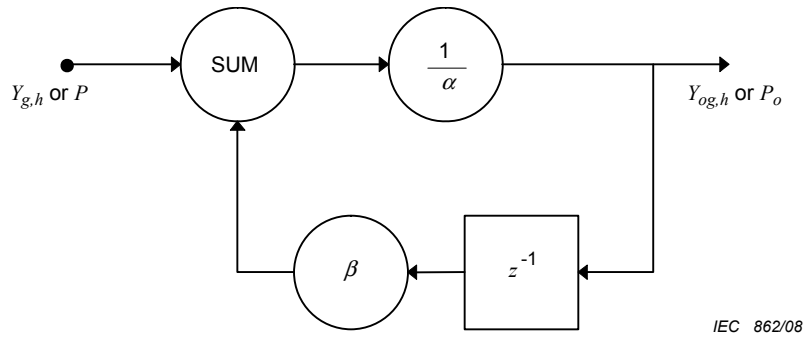


Figure 5 – Realization of a digital low-pass filter: z^{-1} designates a window width delay, α and β are the filter coefficients (see Table 2 for values)

Table 2 – Smoothing filter coefficients according to the window width

Frequency	Cycles N in Window	Sampling Rate (of the digital low-pass filter) ms	α	β
50	10	$\approx 1/200$	8,012	7,012
60	12	$\approx 1/200$	8,012	7,012
50	16	$\approx 1/320$	5,206	4,206
60	16	$\approx 1/267$	6,14	5,14

For the fundamental component $Y_{H,1}$ (if required, as, for example, for Class C in IEC 61000-3-2 and possibly for distortion factors), the same smoothing of the r.m.s value $Y_{H,1}$ from OUT 1 shall be performed.

If emission limits include the distortion factors THD_Y or $PWHD_{H,Y}$ derived from the harmonic components $Y_{H,h}$ according to 3.3, they shall be calculated using the values of OUT 1.

If emission limits include the distortion factors $THDG_Y$, $THDS_Y$, $PWHD_{g,Y}$ or $PWHD_{sg,Y}$ derived from the grouped values $Y_{g,h}$ or $Y_{sg,h}$ according to 3.3, they shall be calculated using the values of OUT 2a.

If a smoothing is required for the above distortion factors in the relevant standards, a digital equivalent of a first-order low-pass filter with a time constant of 1,5 s, as shown in Figure 5 with the coefficients in Table 2, shall be used.

For the active power P and the power factor (if required as, for example, for Classes C and D in IEC 61000-3-2), a similar smoothing of the modulus of the active power value and the power factor value shall be performed.

NOTE An external power meter may be used provided that the power P is measured with a time resolution of ≈ 200 ms. Therefore, an input for an external power meter may be foreseen at the smoothing block, see Figure 1.

To co-ordinate with surveys of harmonic voltages (see IEC 61000-4-30), it is highly recommended to provide a further type of smoothing, where the output is derived from the components according to equation 8 as an r.m.s. value over 15 contiguous time windows, updated either every time window (about each 200 ms) or every 15 time windows (about each 3 s).

5.5.2 Compliance with emission limits

Assessment of compliance with emission limits shall be performed by statistical handling of the data according to the conditions given in the relevant standards, such as IEC 61000-3-2, IEC 61000-3-6, IEC 61000-3-12 and IEC 61000-4-30.

5.6 Assessment of voltage harmonic subgroups

The Fourier transform analysis assumes that the signal is stationary. However, the voltage magnitude of the power system may fluctuate, spreading out the energy of harmonic components to adjacent spectral-component frequencies. To improve the assessment accuracy of the voltage, the output components $U_{C,k}$ for each 5 Hz of the DFT shall be grouped according to Figure 6 and equation 9:

$$Y_{sg,h}^2 = \sum_{k=-1}^1 Y_{C,(N \times h) + k}^2 \quad (9)$$

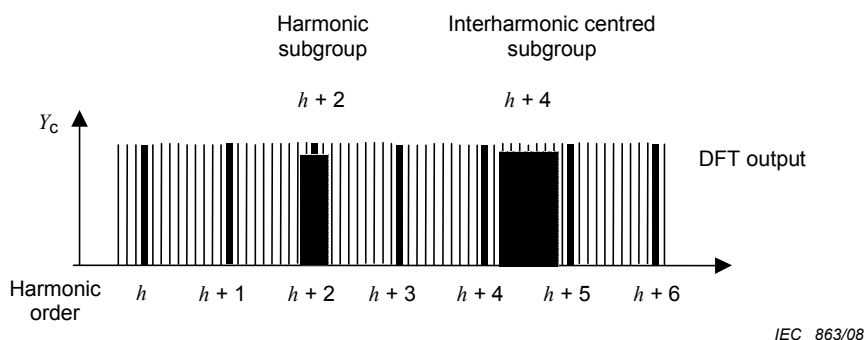


Figure 6 – Illustration of a harmonic subgroup and an interharmonic centred subgroup (here shown for a 50 Hz supply)

NOTE Further smoothing procedures to assess voltage subgroups are specified in IEC 61000-4-30.

6 Other analysis principles

The fact that this standard specifies a DFT instrument as the reference instrument does not preclude the application of other analysis principles, such as (digital) filter banks or even other analysis principles such as wavelet analysis.

Also, especially for low-cost instruments, a shorter time window, possibly only one period long, can be considered. However, such instrumentation should not be used for assessing the compliance of non-stationary signals with emission limits, as such signals cannot be assessed in this way.

Specifications of instruments based on an alternative analysis principle shall state the range of uncertainty caused by all influence factors including the non-stationary characteristic of the signal, the aliasing phenomenon and the failure of synchronisation. The uncertainty shall be such that the requirements of clause 5 are met.

7 Transitional period

The use of the grouping method, particularly with fluctuating loads, is recommended, but for a transitional period the use of existing measuring instruments based upon the requirements given in IEC 61000-4-7 (1991)¹ continues to be permitted. However, measurements performed with such instruments shall be marked in the test report with "Measuring instrumentation according to IEC 61000-4-7, 1991".

NOTE A transitional period is necessary, because changes in IEC 61000-3-2 and IEC 61000-3-12 are necessary for a number of equipments (for example those using symmetrical multi-cycle controls) before applying the grouping approach as explained in 5.5.1.

For measurements performed with instrumentation using 16-cycle windows according to IEC 61000-4-7 1991, the procedure of the smoothing (OUT 2b of figure 1) shall be modified according to the entries in table 2. The filter shall be realised as shown in figure 5.

8 General

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 61010-1 for safety and insulating requirements, it should be taken into account that the input circuits (voltage as well as current) may be directly connected to the mains supply voltages.

¹ IEC 61000-4-7:1991, 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

Annex A (informative)

Measurement of interharmonics

Spectral components in the interval between two consecutive harmonic frequencies result from a signal containing interharmonic components. Interharmonic components are caused primarily by two sources:

- variations of the amplitude and/or phase angle of the fundamental component and/or of the harmonic components, e.g. inverter drives;
- power electronics circuits with switching frequencies not synchronized to the power supply frequency, for example, a.c./d.c. supplies and power factor correctors.

Possible effects are, for example:

- noise in audio amplifiers;
- additional torques on motors and generators;
- disturbed zero crossing detectors e.g. in dimmers;
- additional noise in inductive coils (magnetostriction);
- blocking or unintended operation of ripple control receivers.

The measurement set-up is based on the general description given in 5.4.

Spectral components associated with interharmonic components usually vary not only in magnitude but also in frequency. A grouping of the spectral components in the interval between two consecutive harmonic components forms an interharmonic group. This grouping provides an overall value for the spectral components between two discrete harmonics, which includes the effects of fluctuations of the harmonic components. Equation A.1, depending on the supply frequency, permits the calculation of the value of the interharmonic group:

$$Y_{ig,h}^2 = \sum_{k=1}^{N-1} Y_{C,(N \times h)+k}^2 \quad (\text{A.1})$$

NOTE In this context, ig,h is the interharmonic group of order h (See Figure 4 and 3.4.3). For the purpose of this standard, the r.m.s. value of the interharmonic group between the harmonic orders h and $h + 1$ is designated as $Y_{ig,h}$, for example the group between $h = 5$ and $h = 6$ is designated as $Y_{ig,5}$.

The effects of fluctuations of harmonic amplitudes and phase angles are partially reduced by excluding from equation A1 the components immediately adjacent to the harmonic frequencies. Also, to determine the r.m.s. values $Y_{isg,h}$ of interharmonic centred sub-groups the components, that is, the output data at OUT1 of the DFT in Figure 1, are regrouped as follows (see 3.4.4):

$$Y_{isg,h}^2 = \sum_{k=2}^{N-2} Y_{C,(N \times h)+k}^2 \quad (\text{A.2})$$

In this equation, $Y_{C,(N \times h)+k}$ is the r.m.s. value of the corresponding spectral components obtained from the DFT that exceed the frequency of the harmonic order h , $Y_{isg,h}$ is the r.m.s. value of the interharmonic centred subgroup of order h . For example, the centred subgroup between $h = 5$ and $h = 6$ is designated as $Y_{isg,5}$. See Figure 6 and 3.4.4.

NOTE 1 Since non-stationary harmonics cause sidebands close to the harmonics, the spectral components (for $k = 1$ and 9 or 11) directly adjacent to the considered harmonics may represent amplitude or phase angle variations. They are, therefore, excluded from the interharmonic group in order to give the interharmonic centred sub-group. See also Figure 6.

NOTE 2 If only harmonics are evaluated, the grouping equation 8 applies. If harmonics and interharmonics are evaluated separately (such as for the assessment of equipment prone to produce interharmonics), the spectral components (for $k = -1$ and $+1$) directly adjacent to a harmonic are grouped together with this harmonic to form a harmonic subgroup of order h , whereas the remaining spectral components (for $k = 2$ to 8 or 10) form the interharmonic centred subgroup of order h according to equation A2. See also Figure 6.

The smoothing of the interharmonic groups and the interharmonic centred subgroups is performed in the same manner as that used for the harmonic measurement, see 5.5.1. A smoothing of the single interharmonic components is not recommended.

NOTE Further smoothing procedures are described in IEC 61000-4-30.

The accuracy requirements are identical to those given for measuring harmonics, see Table 1.

Annex B (informative)

Measurements above the harmonic frequency range up to 9 kHz

B.1 General

Components in signals (currents or voltages) with frequencies from the 40th harmonic (approximately 2 kHz) but below the upper limit of the low frequency range (9 kHz) are due to several phenomena:

- pulse-width modulated control of power supplies at the mains side connection (synchronous or asynchronous with the frequency of the mains supply), for example as used in (active) power factor correction systems;
- emissions, such as mains signalling;
- feed-through from the load side or generator side of power converters to the mains system side;
- oscillations due to commutation notches.

These components can be single frequency type or broadband.

The measurement of these components does not require a high resolution in the frequency domain. Instead, it is customary to group the energy of the signal to be analyzed into predefined frequency bands.

For the frequency analysis, the DFT method linked to the methods described in Clause 4 is recommended.

Since one of the objectives is emission analysis in the 2 kHz to 9 kHz range, generally with small amplitudes, a suitable network impedance may be utilized (see Figure B.3) to filter out the more dominant lower order harmonics. Given the use of this filter, the EUT test voltage for these 2 kHz to 9 kHz measurements can be derived directly from the low voltage network, provided the voltage is stable and within required tolerance levels and at the applicable frequency. Alternatively, a suitable power source may be used in cases where the appropriate line frequency, or correct voltage, is not available from the public low voltage network.

Also, in some cases where the measuring instrument has a combination of internal filters and a sufficiently large dynamic range, the analysis in the 2 kHz to 9 kHz range might be possible without the use of the above filter.

B.2 Basic instrument

For measurements in this higher frequency range, a discrete Fourier transform can be performed according to 4.4.1, modified by the information in this Annex.

The frequency range of external voltage and current sensors should be appropriate for measurements in the range 2 kHz to 9 kHz.

In view of the low level of the signals to be measured, a band pass filter can considerably decrease the uncertainty of the measurement by attenuating the amplitudes of the fundamental and of components above 9 kHz. The attenuation for the fundamental frequency should exceed 560 times (55 dB).

NOTE 1 Compared to the magnitude of the fundamental current or voltage, the components to be measured are expected to be in the range of 2×10^{-5} to 5×10^{-2} .

The sampling frequency should be chosen in accordance with the established rules of signal analysis such that frequency components up to 9 kHz inclusive can be measured. A rectangular data acquisition window with a width of 200 ms should be used, corresponding to approximately 10 (12) fundamental periods of 50 Hz (60 Hz) systems. In consequence, the frequency separation between consecutive measured components $Y_{C,f}$ is 5 Hz.

NOTE 2 There is no requirement for the sampling frequency to be synchronized with the supply frequency.

The r.m.s. value of the component at the frequency f is $Y_{C,f}$, for example $Y_{C,3160}$ is the r.m.s. value of the component at 3 160 Hz.

For the current and voltage input circuits the requirements in 5.1 and 5.2 respectively should apply.

B.3 Grouping

The output of the raw DFT (OUT 1 in Figure 1) should be grouped in bands of 200 Hz (see Figure B.1), beginning at the first centre band above the harmonic range. The centre frequency of the first group should then be 2,1 kHz for 50 Hz systems and 2,5 kHz for 60 Hz systems. The output $Y_{B,b}$ of each band is the r.m.s. value according to:

$$Y_{B,b} = \sqrt{\sum_{f=b-95\text{Hz}}^{b+100\text{Hz}} Y_{C,f}^2} \tag{B.1}$$

NOTE 1 The 200 Hz grouping has been chosen such that it is in accordance with the bandwidth used in CISPR 16-1-2 for frequencies above 9 kHz.

NOTE 2 The centre frequency b , for example 2 100 Hz, 2 300 Hz, 2 500 kHz designates the band. The highest centre frequency is 8 900 Hz, see Figure B.1.

NOTE 3 For 60 Hz power systems, the components above the harmonic range are those with a frequency greater than 2 400 Hz.

NOTE 4 When the 50th harmonic order represents the end of harmonic range, equation B.1 is valid for $b \geq 2 500$ Hz for 50 Hz power system and $b \geq 3 100$ Hz for 60 Hz power system.

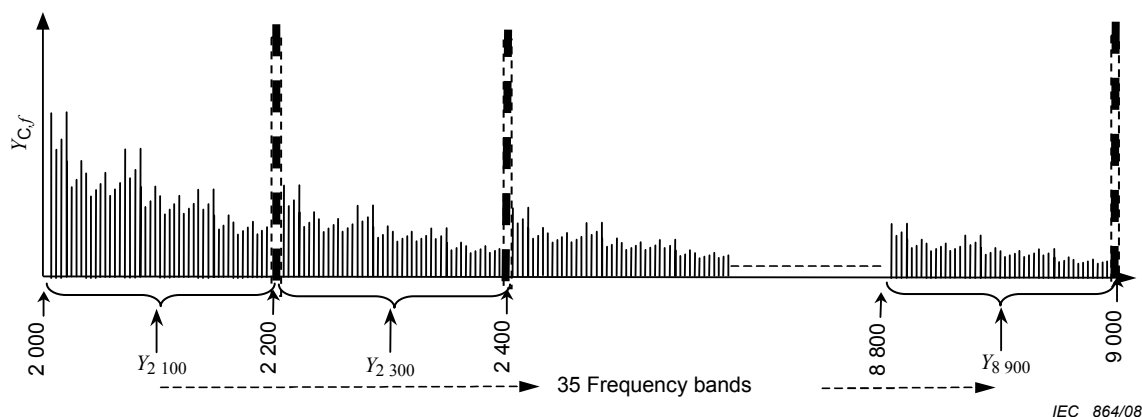


Figure B.1 – Illustration of frequency bands for measurement in the range above the 40th harmonic order for 50 Hz power system up to 9 kHz

B.4 Measurement setup for emission assessment

In order to improve the repeatability of the measurement results for emission assessment, the supply side impedance needs to be well defined. Therefore, an Artificial Mains Network (AMN), which standardizes the impedance characteristics over the 2 kHz to 9 kHz range, should be inserted between the supply terminals and the EUT terminals, see the measurement setup in Figure B.2.

NOTE The approach used in CISPR 16-1-2 was adapted for frequencies below 9 kHz.

The internal circuit of the AMN (for single phase application) is shown in Figure B.3.

For emission measurements the current(s) on the line conductor(s) between the AMN and the EUT should be measured, for example point B in Figure B.3.

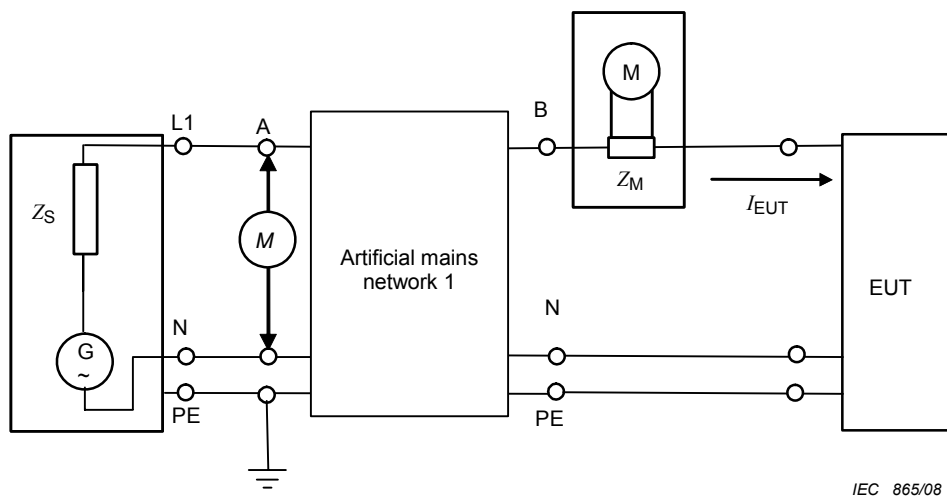


Figure B.2a – Single-phase measurement setup

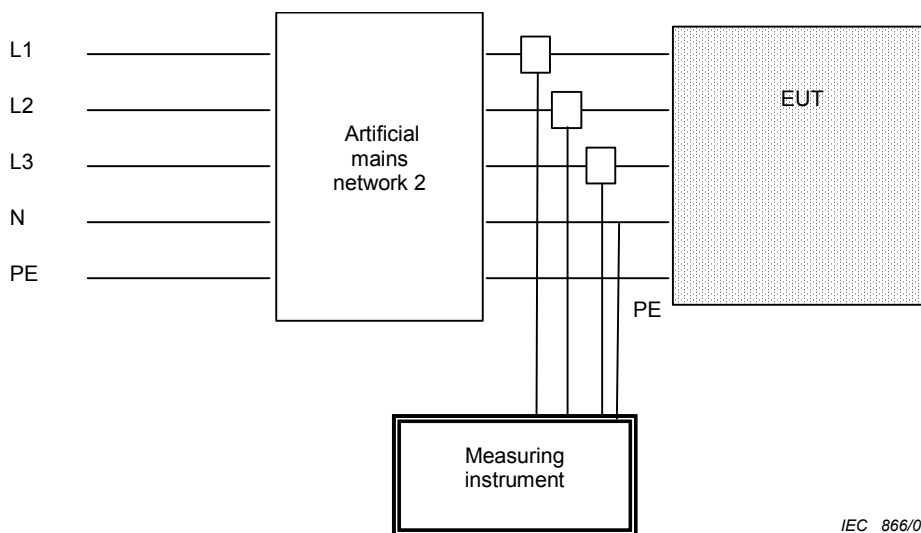


Figure B.2b – 3-phase measurement setup

Figure B.2 – General measurement setup

Network 2 is made with 3 Network 1 units, connecting all neutral conductors together.

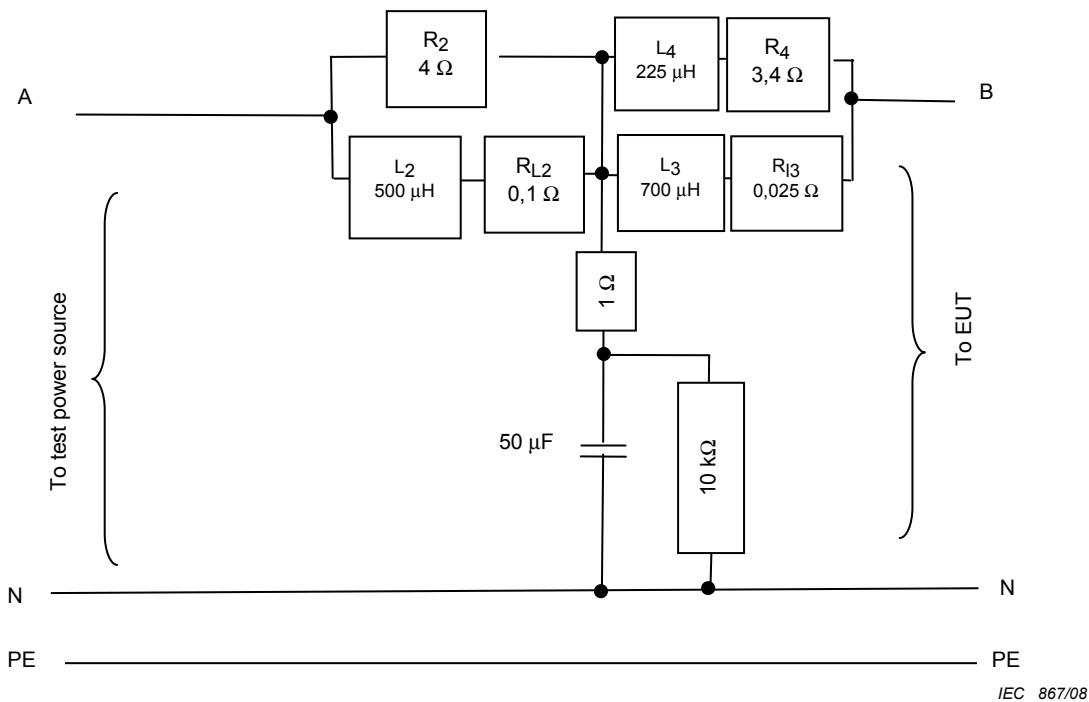


Figure B.3 – Artificial mains network for 16-A current and below

NOTE If an AC power source is used, its inductance and resistance should not exceed 160 μH and 0,1 Ω.

B.5 Performance requirements

The uncertainty of the whole measurement (measuring instrument including shunt or CT) shall not exceed ±10 % of the measured current when tested with a single-frequency signal. The instrument manufacturer shall specify the measuring range over which this ±10 % uncertainty applies.

The total uncertainty of the measurement including the AMN should not exceed ±15 % of the applicable group value $Y_{B,b}$.

NOTE The power source should fulfil the operating requirement of the EUT. Provided the applicable frequency, voltage, and adequate power rating are available, the low voltage public supply voltage may be used as the test voltage source. Alternatively, a suitable power source may be used.

If a current shunt is used at point B, it should have a value of a maximum of 0,02 Ω.

The AMN should present to the EUT an impedance characteristic measured between B and N, with A connected directly to N, within ±5 % of the characteristic shown in Figure B.4 in the range 2 kHz to 9 kHz. Component tolerances should therefore be selected so as not to exceed this tolerance when subjected to EUT current, temperature and frequencies under operating conditions. Physical layout, packaging, and temperature control of the AMN should be designed with these tolerance requirements in mind.

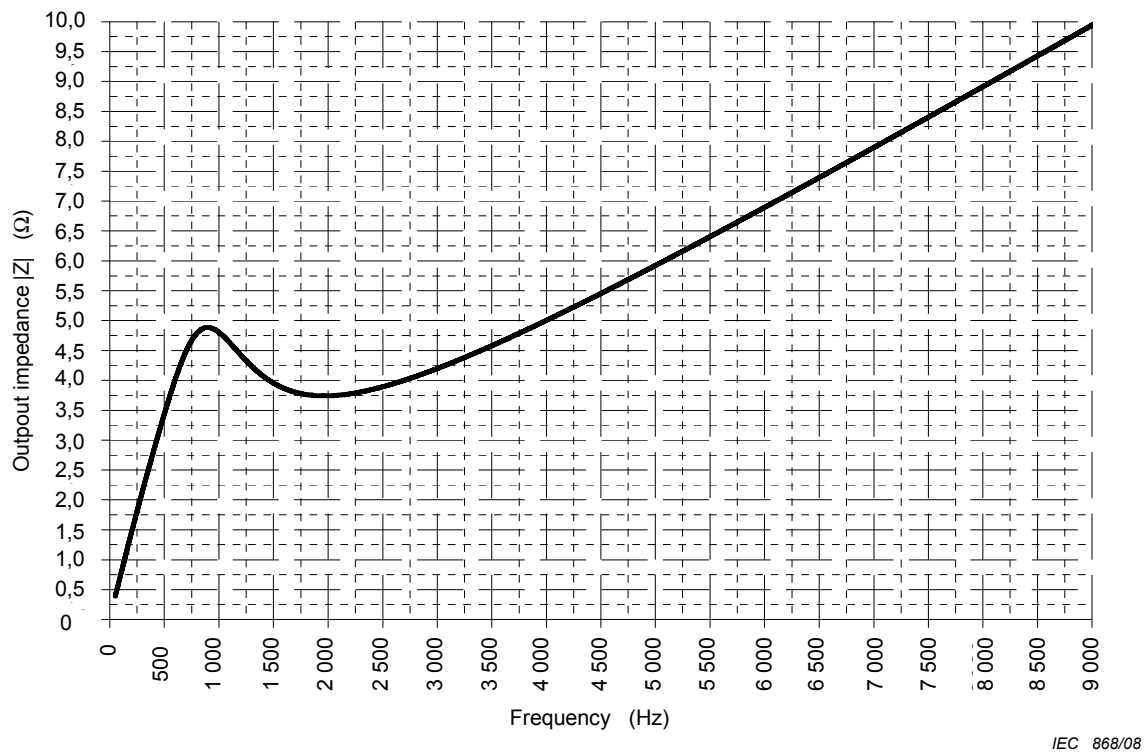


Figure B.4 – Artificial mains network impedance viewed by the EUT

At 2 050 Hz and 2 450 Hz, the output impedance are respectively 3,745 051 and 3,868 689. Output impedance for frequencies f above 3 kHz is obtained by the following equation.

$$|Z| = \sqrt{8,819 + 1,23 \times 10^{-7} \times f^2 \ln(f)}$$

Annex C
(informative)

Technical considerations for grouping method

Measurement methods defined in this standard follow from careful consideration and balancing of competing objectives (for example, measurement bandwidth and frequency resolution). In certain cases, the need for defining a practical measurement results in compromises rather than the achievement of the ultimate in precision in characterising the signal in question. Considerations for resolution of several particularly difficult issues are documented in this annex.

NOTE In this standard, voltage and current values are r.m.s. unless otherwise stated.

C.1 Power equivalence of time and frequency domain representations of signals

Parseval’s relation, also known as the Rayleigh energy theorem, defines the equivalence of signal power (or energy) expressed in the time domain to signal power (or energy) expressed in the frequency domain.

$$\int_{-\infty}^{+\infty} [g(t)]^2 dt = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} |G(j\omega)|^2 d\omega \tag{C1}$$

where

$g(t)$ is a time function;

$G(j\omega)$ is the complex Fourier transform of the function; and

$$\omega = 2\pi f.$$

NOTE Since the power is proportional to the square of a voltage or current the squared signal is understood to be the “power” of the signal. For example, if $g(t)$ is assumed to be the time function of a voltage, the physical dimension of the left-hand side of the equation (time domain) would be $V^2 s$ (“energy”). The Fourier transform presents the spectral density of the voltage and, in the example, $G(j\omega)$ would have the dimension V/Hz or $V s$, i.e. the right-hand side yields also the dimension $V^2 s$ (“energy”).

If the function is not periodic, its spectrum is continuous, but if it is periodic it can be represented in a time window T_w , i.e. the infinite repetition of the time window would yield the total function $g(t)$. The Fourier transform of this now time-limited signal is no longer continuous but consists of spectral lines at a frequency distance of $f_w = 1/T_w$. The product of the window time T_w and the squared r.m.s. value, G_k^2 , of the (complex) line at the frequency $f = k \times f_w$ represents approximately the “energy” of the continuous spectral density integrated over $f - f_w/2$ to $f + f_w/2$. The “energy” sum contributed by all spectral lines is equivalent to the “energy” of the time function within the window. Dividing the “energy” by the window time T_w yields equation (C2):

$$\frac{1}{T_w} \int_{-T_w/2}^{+T_w/2} [g(t)]^2 dt = \sum_{k=-\infty}^{\infty} |G_k|^2 \tag{C2}$$

where

the left-hand side corresponds to the average “power” of the time function within the window; and

the right-hand side to the total “power” of all lines within the spectrum.

A characteristic of the Fourier transform is that the spectral lines at negative frequencies are conjugate complex to the lines at the same positive frequencies, i. e. the “power” spectrum is symmetrical about the frequency $f = 0$. By folding the negative part of the spectrum over the positive one, equation (C2) is simplified:

$$\frac{1}{T_w} \int_{-T_w/2}^{+T_w/2} [g(t)]^2 dt = G_0^2 + 2 \sum_{k=1}^{\infty} |G_k|^2 \quad (C3)$$

The definition of the amplitude c_k of the Fourier components according to equation (3) of the standard is related to $T_w/2$, not to T_w (except c_0 which is related to T_w), i.e. $c_k = 2 \times G_k$ or $C_k = \sqrt{2} \times G_k$. Equation (C3) can therefore be rewritten:

$$\frac{1}{T_w} \int_{-T_w/2}^{+T_w/2} [g(t)]^2 dt = c_0^2 + \sum_{k=1}^{\infty} |C_k|^2 = \sum_{k=0}^{\infty} |C_k|^2 \quad (C4)$$

In practice, the number of coefficients in the sum has to be limited: $k = 1 \dots K$. If the signal is “band-limited” to frequencies $f_K \leq K \times f_w$, no “power” is associated with coefficients of order $k > K$, and they can be left out of the sum in equation (C4). The frequency f_K should be well beyond the operating frequency range of the instrument.

C.2 Characteristics of digital realisation

Digital instrumentation is considered in this standard. In order to fulfil the Shannon theorem, the time signal should be sampled with a sampling frequency $f_s > 2 \times f_K$ so that – in principle – all coefficients up to C_K can be calculated. The number of samples within a time window is $N = f_s \times T_w$.

Under the above-mentioned ideal conditions, i.e. the digitized signal is real, periodic and band-limited, and the time window is synchronised to the signal period, equation (C4) can be written:

$$\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [g(t_i)]^2} = \sqrt{\sum_{k=0}^{N/2} |C_k|^2} \quad (C5)$$

where

$g(t_i)$ are the values of the time function at the sampling points; and

$$t_i = i \times T_w/N.$$

Equation (C5) states that the r.m.s. content of the frequency domain components equals the r.m.s. content of the time domain representation of the signal, in this case a sampled and digitised form of the signal. Parseval’s relation may be usefully employed to ascertain whether the power spectrum accurately represents the time domain signal under certain specific circumstances.

Under the ideal conditions defined above, the power spectrum calculated by the methods defined in this standard, returns the average power of spectral components present in the measured signal during a defined time window. The power spectrum exactly represents the total power of the signal, the power of the individual frequency components, and the frequencies of these components. For practical situations, ideal conditions exist when all components of the measured signal are exact harmonics of the “basic” frequency $f_w = 1/T_w$. Because of the strict requirements defined in this standard for synchronisation, these nearly ideal conditions occur by definition for the fundamental component of the power system and for any components with frequencies which are integer multiples of the “basic” frequency; this includes, of course, the harmonics of the fundamental frequency.

NOTE The “basic” frequency is the reciprocal of the window width. The “fundamental” frequency is the reciprocal of the system cycle.

The width of the time window, $T_w \approx 200$ ms, is defined as 10 or 12 fundamental cycles for 50 Hz or 60 Hz systems respectively for future designs, and 16 cycles (≈ 320 ms or ≈ 267 ms) for instruments designed to comply with requirements given in the first edition of IEC 61000-4-7. The frequency distance of the spectral lines (“basic” frequency f_w) is therefore ≈ 5 Hz or $\approx 3,125$ Hz or $\approx 3,75$ Hz, respectively. The grouping method according to equation (8) of this standard ensures that the total power is accurately evaluated. It takes account of all spectral lines and not only the lines (“harmonics”) at integer multiples of the fundamental frequency. Equation (8) relates only to lines with a distance of ≈ 5 Hz and has therefore to be modified if other “basic” frequencies are used. By proper application of equation (8) – modified if necessary – under ideal conditions, the power spectrum exactly represents the average power of the measured signal as defined by Parseval’s relation.

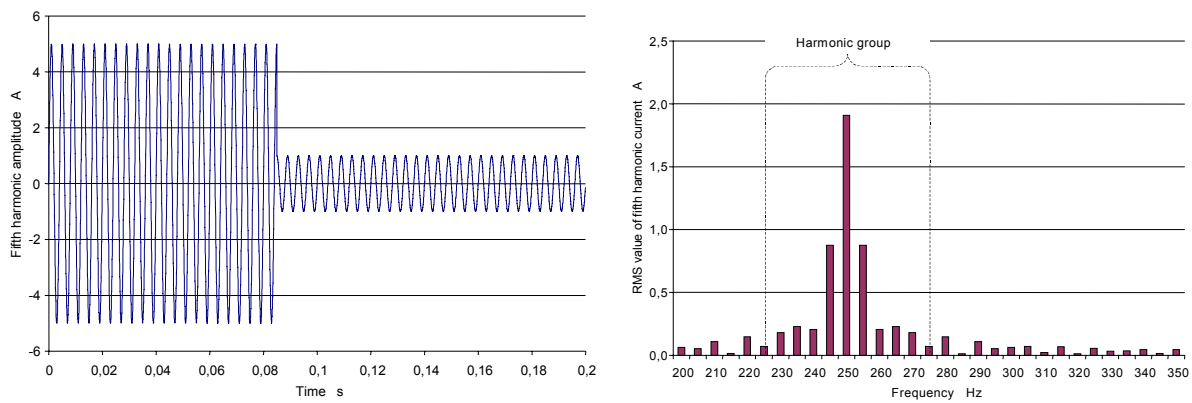
Under less than ideal conditions, for example, where non-harmonic signal content with frequencies $f \neq k \times f_w$ (k : integer number) is present, the phenomenon of spectral leakage acts to cause a loss of information about frequency content, but signal power generally remains accurately represented. Considering the case of a time window equal to 200 ms, non-harmonic signal content is present whenever there are inter-harmonic signals at frequencies which are not integer multiples of 5 Hz, for example 287 Hz, or when amplitude fluctuation occurs within the analysed time window. The grouping methods defined in this standard assist in ensuring that the total power is for the most part accurately evaluated. Allocation of power to a specific signal group depends upon the nature of the signals involved.

A few examples will help to illustrate the point. The examples in C.3 show the effect of voltage and current amplitude fluctuation. The interharmonic effects are illustrated in C.4. The fundamental component which predominates in practice by far in voltage and current signals is left away in the examples in order to use the full scale of the figures for a more clear presentation of the interesting spectral lines and the grouping effect.

C.3 Fluctuating harmonics

EXAMPLE 1

Figure C.1 illustrates the case of the r.m.s. 5th harmonic current fluctuating from 3,536 A to 0,7071 A. The step in the current occurs after 21,25 periods of the 5th harmonic. The expected calculated r.m.s. current for this case is 2,367 A. The measured 5th harmonic (single line) results in only 1,909 A, i.e. neglecting the other lines produces an error of 19,3 %. The measured harmonic subgroup value in this case results in 2,276 A and would already reduce the error to 3,84%, but the harmonic group of the measured lines yields a value of 2,332 A which corresponds to the small remaining error of only 1,47%.

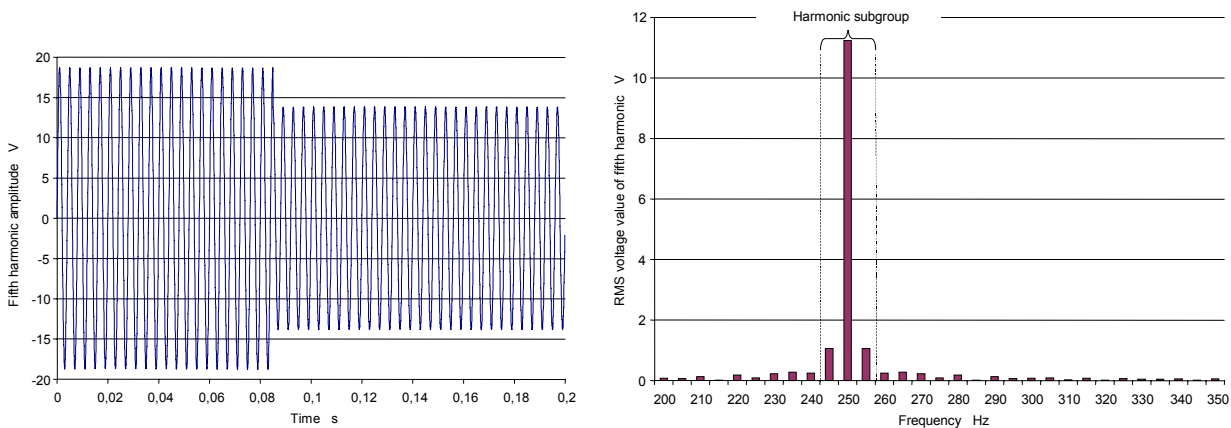


IEC 1957/02

Figure C.1 – Large 5th harmonic current fluctuation

EXAMPLE 2

Power-system harmonic voltages normally result from the combination of emitted harmonic currents produced by several non-linear loads. These loads are generally not fluctuating with significant correlation. Furthermore, quasi-stationary loads are also connected to the power system. Therefore, fast fluctuating harmonic voltage levels with a high fluctuation magnitude are an exception and seldom occur on the power system. For example, figure C.2 shows a fifth harmonic r.m.s. voltage that reduces from 13,225 V to 9,775 V. In this case, the expected total r.m.s. value is 11,37 V, but the single harmonic line is only 11,24 V. The proposed algorithms in this standard yield 11,33 V for the subgroup and 11,34 V for the group which results in errors of only 0,35 % or 0,24 % respectively. These errors are well below the uncertainty of the instrument itself.

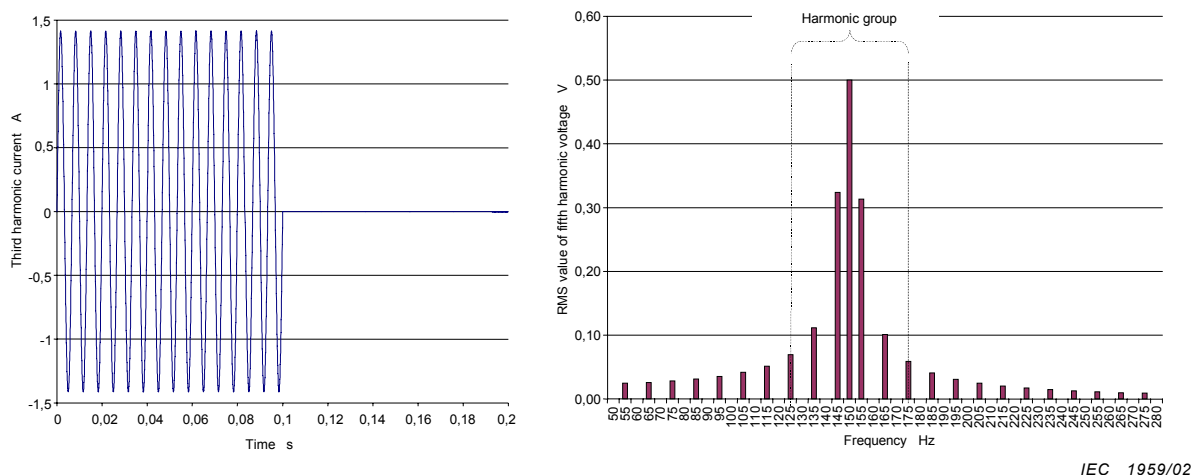


IEC 1958/02

Figure C.2 – Large 5th harmonic voltage fluctuation

EXAMPLE 3

A microwave appliance produces (amongst others) a 3rd harmonic current, for example, 1 A during continuous operation. Its average power is controlled by the zero-crossing multi-cycle method with, for example, a repetition rate of 5 Hz and a duty-cycle of 50%. Figure C.3 illustrates the time function of the 3rd harmonic current and the corresponding spectrum. The total r.m.s current is 0,707 A. The r.m.s. value of the 3rd harmonic spectral line is 0,5 A which results in an error of 29,3 %. The harmonic subgroup yields, however, 0,673 A, and the error is only 4,8 %. The harmonic group value is 0,692 A, reducing the error down to 2,0 %.



IEC 1959/02

Figure C.3 – Fluctuating 3rd harmonic current of a micro-wave appliance

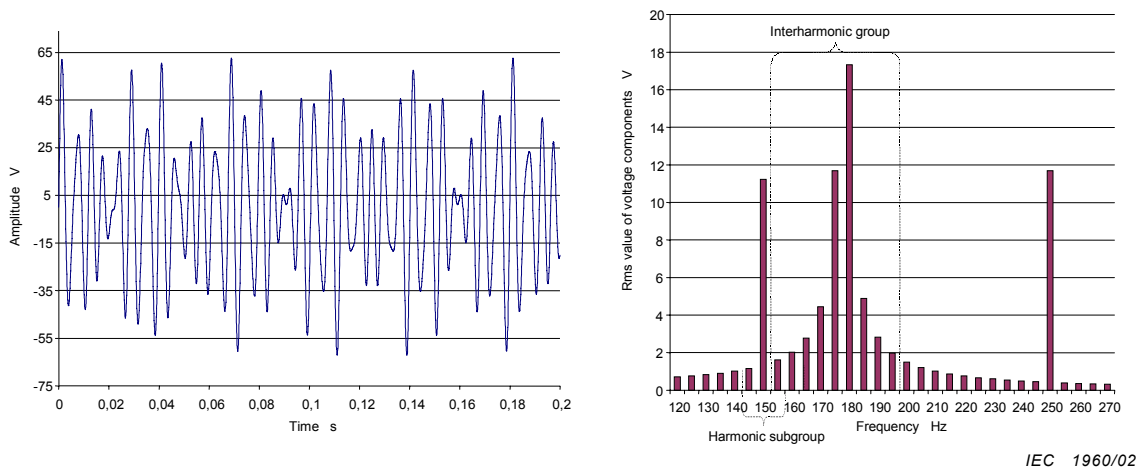
It is evident from these examples that the grouping procedure is well suited to give results which are in good conformity with Parseval’s equation.

C.4 Interharmonics

EXAMPLE 1

Communication (signalling) systems may also be connected to the power system. To prevent them being disturbed by harmonics, the frequencies used are generally between two harmonic frequencies, i.e. interharmonic frequencies. If they are integer multiples of the “basic” frequency f_w and have a constant magnitude within the time window, then the spectrum shows one additional line just at this frequency, and an additional grouping may not be necessary. But in order to transmit information the signal is modulated. The effect on the spectrum is similar to the previous examples, the only difference being that the lines due to the modulation are now centred on the signalling frequency. The “interharmonic grouping” according to annex A reduces the error in the same manner as the harmonic grouping shown in C.3.

In many cases, signalling frequencies which are not integer multiples of f_w are used. For example, figure C.4 shows a communication signal at 178 Hz with constant magnitude of 23 V r.m.s. superposed on a third and fifth harmonic of 11,5 V each, which might already exist on the system. The discrete Fourier transform, which cannot resolve the line at 178 Hz, spreads the energy to the neighbouring lines (“leakage”). In this case, the interharmonic group of order 3,5 (see annex A) collects the major part of the spread “energy” of the communication signal, with a resulting value of 22,51 V, and the error is only 2,15 %.



IEC 1960/02

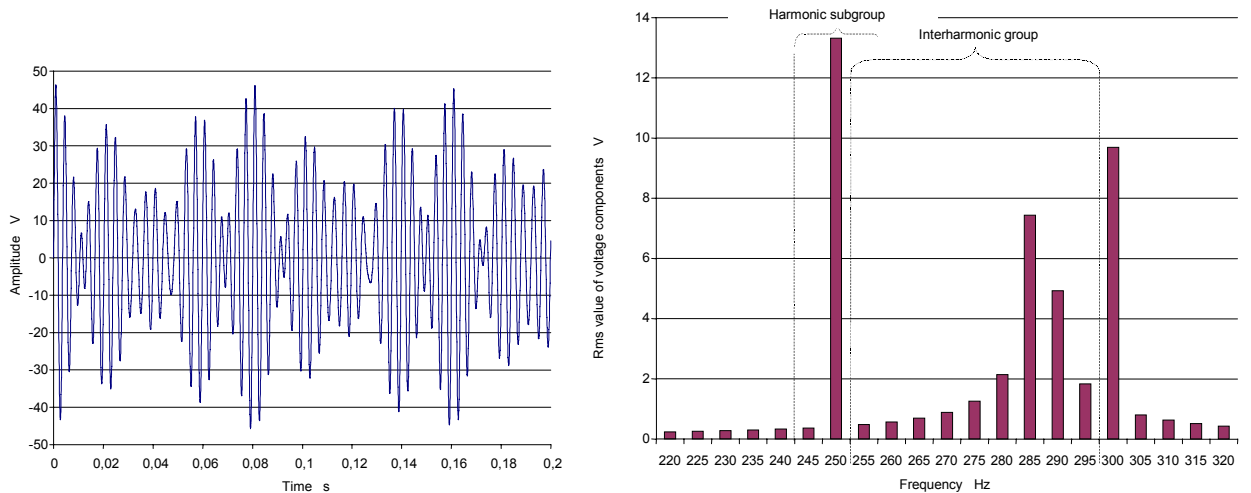
Figure C.4 – Communication signal of 178 Hz together with 3rd and 5th harmonics

NOTE 1 The “leakage” effect of the signal with non-integer multiple of the “basic” frequency superimposes additional vectors on the vectors of the original harmonics (see figure C.7). The phase angle between the additional and the original vector of the same frequency increases (or decreases) by approximately the same amount from window to window. Depending on the actual phase angle, the resulting vector may vary between the difference and the sum of the vector magnitudes. In the given example, the magnitudes are 11,5 V for the original vectors and $\approx 1,2$ V at 150 Hz or $\approx 0,4$ V at 250 Hz (see figure C.4). The resulting vectors may vary between $\approx 10,3$ V and $\approx 12,7$ V at 150 Hz and between $\approx 11,1$ V and $\approx 11,9$ V at 250 Hz. The r.m.s value of the resulting vector evaluated over many contiguous windows equals the “common” r.m.s. value of the original and the additional vector, in the example 11,56 V at 150 Hz and 11,51 V at 250 Hz. The smoothing procedure, which is applied after the grouping, reduces considerably the variation and provides an average output close to this common r.m.s. value.

NOTE 2 The magnitude of the communication signal will in practice be smaller than in the example, so the leakage effect is reduced correspondingly.

EXAMPLE 2:

Interharmonics can also appear in the emission r.m.s. current and consequently in the r.m.s. voltage of the supply. They may occur randomly between two contiguous harmonics. For example, 9,8 V at 287 Hz, 13,2 V of the 5th harmonic and 10 V of the 6th are shown in figure C.5. The “leakage” effect can be seen from the spectrum. The interharmonic group of order 5 (see 3.4) yields 9,534 V, and the remaining error is 2,7 %.



IEC 1961/02

Figure C.5 – Interharmonic at 287 Hz, 5th and 6th harmonic

EXAMPLE 3

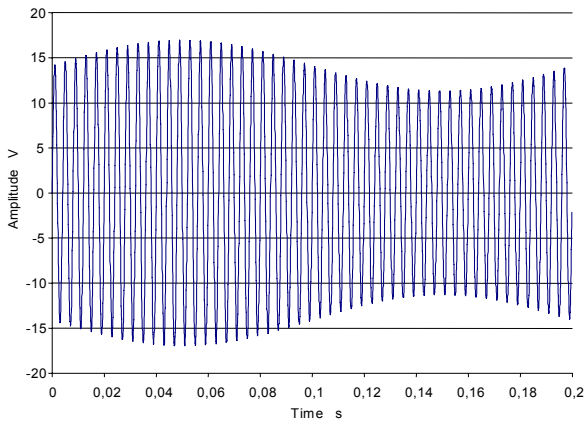
An electronic motor drive with a varying torque, for example a piston pump, produces a 5th harmonic voltage on the supply system which fluctuates around the average r.m.s. value of 10 V with a sinusoidal modulation of 20 % and 5 Hz, figure C.6 a). The total r.m.s. value of the time function, evaluated over 0,2 s, is 10,10 V. The spectrum contains the 250 Hz “carrier” line with an r.m.s. value of 10 V and the two side-lines at 245 Hz and 255 Hz with 1 V each, figure C.6 c). The error of the single line at 250 Hz is 0,99 %, and no error results from the harmonic subgroup.

A communication signal of 9,8 V and 287 Hz may be used on the same system (figure C.6 b)). The “leakage” effect in the spectrum (figure C.6 d), follows from the non-integer number of 57,4 periods of this signal in the time window of 200 ms. The r.m.s. value of the interharmonic group is 9,538 V and the resulting error 2,7 %.

Both the fluctuating harmonic and the communication signal are superimposed on the voltage (figure C.6 e). The total r.m.s. value is 14,07 V. For the grouping of the resulting spectral lines different options exist (figure C.6 f). Since the presence of a harmonic at 250 Hz and a signal close to 285 Hz is obvious from the envelope of the spectrum, two grouping arrangements are reasonable (no line must be counted more than once):

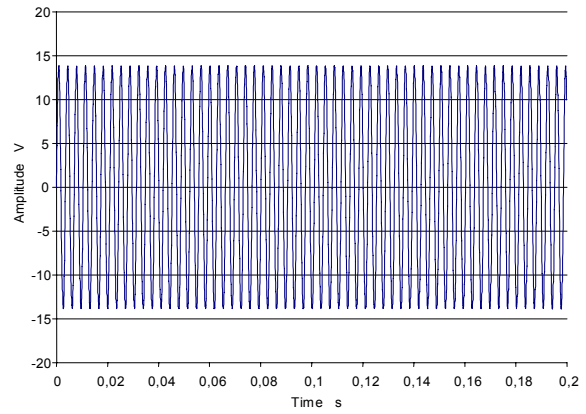
- interharmonic group with 9,36 V (4,5 % error related to 9,8 V) and harmonic single line with 10,16 V (1,6 % error related to 10,0 V) resulting into a total r.m.s. value of 13,81 V (1,8 % error related to 14,07 V) or
- interharmonic sub-group with 9,34 V (4,7 % error related to 9,8 V) and harmonic subgroup with 10,23 V (1,29 % error related to 10,1 V) resulting in a total r.m.s. value of 13,85 V (1,5 % error related to 14,07 V).

The 2nd grouping corresponds better to the “physics” since the lines at 245 Hz and 255 Hz do not fit to the “leakage” envelope. This is clarified if several spectra from contiguous windows are observed.



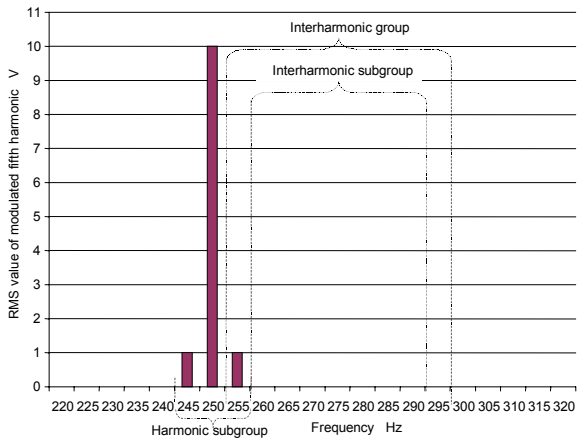
a) 5th harmonic with 20 % amplitude fluctuation

+

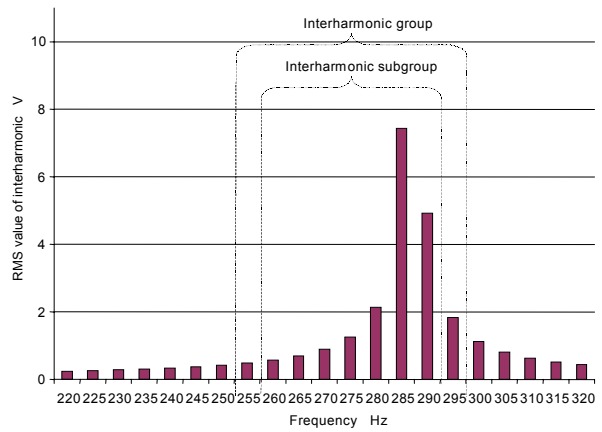


b) Interharmonic at 287 Hz

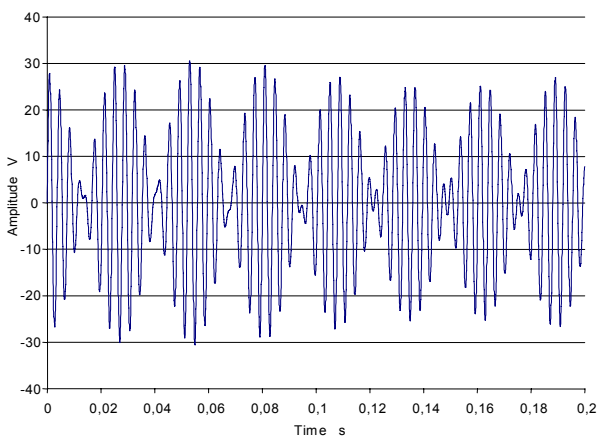
+



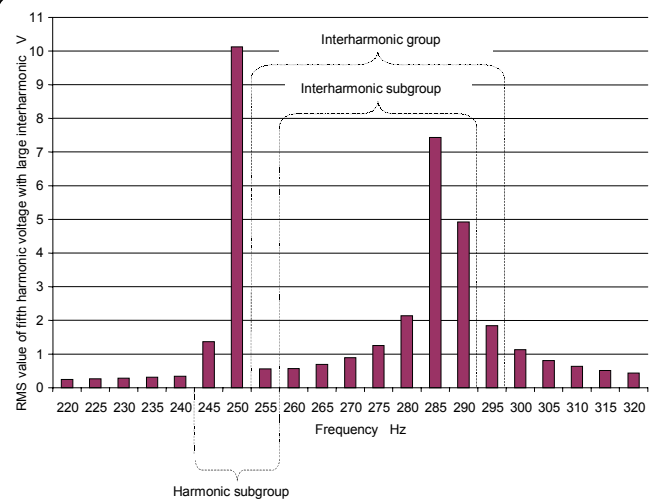
c) Spectrum: 5th harmonic, 20 % amplitude fluctuation



d) Spectrum: Interharmonic at 287 Hz



e) Sum of the harmonic and interharmonic



f) Spectrum: result of the summed signal

Figure C.6 – Modulated 5th harmonic and interharmonic at 287 Hz

Bibliography

IEC 61000-3 (all parts), *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 3: Limits*

IEC 61000-3-4:1998, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 3-4: Limits – Limitation of emission of harmonic currents in low-voltage power supply systems for equipment with rated current greater than 16A*

IEC 61000-4-30, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-30: Testing and measurement techniques – Power quality measurement methods²*

IEC 61010-1:2001, *Safety requirements for electrical equipment for measurement, control, and laboratory use – Part 1: General requirements*

CISPR 16-1:1999, *Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods – Part 1: Radio disturbance and immunity measuring apparatus*

² To be published

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	44
INTRODUCTION	46
1 Domaine d'application	47
2 Références normatives	47
3 Définitions, symboles et indices	48
3.1 Définitions relatives à l'analyse fréquentielle	48
3.2 Définitions relatives aux harmoniques	49
3.3 Définitions relatives aux taux de distorsion	50
3.4 Définitions relatives aux interharmoniques	52
3.5 Notations	53
3.5.1 Symboles	53
3.5.2 Indices	54
4 Concepts généraux et prescriptions communes à tous les types d'instrumentations	54
4.1 Caractéristiques du signal à mesurer	54
4.2 Classes de précision de l'instrumentation	55
4.3 Types de mesure	55
4.4 Structure générale de l'instrument	55
4.4.1 Instrument principal	55
4.4.2 Modules de post-traitement	56
5 Mesures d'harmoniques	57
5.1 Circuit d'entrée de courant	57
5.2 Circuit d'entrée de tension	57
5.3 Prescriptions relatives à la précision	58
5.4 Montage de mesure et tension d'alimentation	60
5.4.1 Montage de mesure pour l'évaluation des émissions	60
5.4.2 Tension d'alimentation pour l'évaluation des émissions	60
5.4.3 Puissance du matériel	62
5.5 Évaluation des émissions harmoniques	62
5.5.1 Regroupement et lissage	62
5.5.2 Respect des limites d'émission	64
5.6 Évaluation des sous-groupes harmoniques de tension	64
6 Autres principes d'analyse	65
7 Période de transition	65
8 Généralités	65
Annexe A (informative) Mesure des interharmoniques	66
Annexe B (informative) Mesures au-delà de la plage de fréquence harmonique jusqu'à 9 kHz	68
Annexe C (informative) Réflexions d'ordre technique pour une méthode de regroupement	73
Bibliographie	82

Figure 1 – Structure générale de l'instrument de mesure	56
Figure 2 – Montage pour la mesure des émissions monophasées	60
Figure 3 – Montage pour la mesure des émissions triphasées	60
Figure 4 – Illustration des groupes harmoniques et interharmoniques (représentés ici pour une alimentation à 50 Hz)	63
Figure 5 – Réalisation d'un filtre passe-bas numérique: z^{-1} désigne un retard égal à une largeur de fenêtre, α et β sont les coefficients du filtre (voir les valeurs dans le Tableau 2)	63
Figure 6 – Illustration d'un sous-groupe harmonique et d'un sous-groupe interharmonique centré (représentés ici pour une alimentation à 50 Hz).....	64
Figure B.1 – Illustration des bandes de fréquence pour les mesures dans la plage s'étendant du rang harmonique 40 pour les réseaux électriques à 50 Hz jusqu'à 9 kHz	69
Figure B.2 – Montage général de mesure	70
Figure B.3 – Réseau fictif pour un courant inférieur ou égal à 16 A	71
Figure B.4 – Impédance du réseau fictif vue par l'EST	72
Figure C.1 – Large fluctuation de courant du 5 ^{ème} harmonique	76
Figure C.2 – Large fluctuation de tension du 5 ^{ème} harmonique	76
Figure C.3 – Fluctuation du 3 ^{ème} courant harmonique d'un appareil à micro-onde.....	77
Figure C.4 – Signal de communication de 178 Hz avec 3 ^{ème} et 5 ^{ème} harmoniques.....	78
Figure C.5 – Interharmonique à 287 Hz, 5 ^{ème} et 6 ^{ème} harmoniques	78
Figure C.6 – 5 ^{ème} harmonique modulé et interharmonique à 287 Hz	80
Figure C.7 – Composantes à des fréquences de 245 Hz et 255 Hz	81
Tableau 1 – Prescriptions de précision pour les mesures de courant, de tension et de puissance.....	59
Tableau 2 – Coefficients du filtre de lissage en fonction de la largeur de fenêtre	63

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

COMPATIBILITÉ ÉLECTROMAGNÉTIQUE (CEM) –

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

AVANT-PROPOS

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

La Norme internationale CEI 61000-4-7 a été établie par le sous-comité 77A: Phénomènes basse fréquence, du comité d'études 77 de la CEI: Compatibilité électromagnétique.

Cette version consolidée de la CEI 61000-4-7 comprend la deuxième édition (2002) [documents 77A/382/FDIS et 77A/387/RVD], son amendement 1 (2008) [documents 77A/645/FDIS et 77A/651/RVD] et le corrigendum de juillet 2004.

Le contenu technique de cette version consolidée est donc identique à celui de l'édition de base et à son amendement; cette version a été préparée par commodité pour l'utilisateur.

Elle porte le numéro d'édition 2.1.

Une ligne verticale dans la marge indique où la publication de base a été modifiée par l'amendement 1.

La présente norme constitue la partie 4-7 de la CEI 61000. Elle a le statut de publication fondamentale en CEM conformément au Guide 107 de la CEI.

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

Le comité a décidé que le contenu de la publication de base et de ses amendements ne sera pas modifié avant la date de maintenance indiquée sur le site web de la CEI sous "<http://webstore.iec.ch>" dans les données relatives à la publication recherchée. A cette date, la publication sera

- reconduite,
- supprimée,
- remplacée par une édition révisée, ou
- amendée.

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

INTRODUCTION

La CEI 61000 est publiée sous forme de plusieurs parties séparées, conformément à la structure suivante:

Partie 1: Généralités

Considérations générales (introduction, principes fondamentaux)

Définitions, terminologie

Partie 2: Environnement

Description de l'environnement

Classification de l'environnement

Niveaux de compatibilité

Partie 3: Limites

Limites d'émission

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

Partie 4: Techniques d'essai et de mesure

Techniques de mesure

Techniques d'essai

Partie 5: Guide d'installation et d'atténuation

Guides d'installation

Méthodes et dispositifs d'atténuation

Partie 6: Normes génériques

Partie 9: Divers

Chaque partie est à son tour subdivisée en plusieurs parties, publiées soit comme Normes internationales, soit comme spécifications techniques ou rapports techniques, dont certaines ont déjà été publiées en tant que sections, ou sous le numéro de la partie, suivi d'un tiret et complété d'un second chiffre identifiant la subdivision (exemple: 61000-6-1).

Ces publications seront publiées dans un ordre chronologique et numérotées en conséquence.

La présente partie est une Norme internationale qui spécifie la mesure des courants et tensions harmoniques sur les réseaux d'alimentation ainsi que la mesure des courants harmoniques émis par les appareils. Elle spécifie également la performance d'un instrument de mesure normalisé.

COMPATIBILITÉ ÉLECTROMAGNETIQUE (CEM) –

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

1 Domaine d'application

La présente partie de la CEI 61000 s'applique à l'instrumentation destinée à mesurer les composantes spectrales dans la gamme de fréquence allant jusqu'à 9 kHz, qui se superposent au fondamental des réseaux d'alimentation à 50 Hz et 60 Hz. Pour des raisons pratiques, la présente norme établit une distinction entre les harmoniques, les interharmoniques et les composantes au-delà de la plage de fréquence harmonique, jusqu'à 9 kHz.

La présente norme définit l'instrumentation de mesure destinée aux essais d'appareils individuels conformément aux limites d'émission données dans certaines normes (par exemple, les limites de courant harmonique données dans la CEI 61000-3-2) ainsi qu'à la mesure des courants et tensions harmoniques sur les réseaux d'alimentation eux-mêmes. La définition de l'instrumentation pour les mesures au-delà de la gamme de fréquence harmonique, jusqu'à 9 kHz, est abordée dans l'annexe B.

NOTE 1 Le présent document traite de manière approfondie des instruments basés sur la transformée de Fourier discrète.

NOTE 2 La description des fonctions et de la structure des instruments de mesure contenue dans la présente norme est très explicite et à prendre au sens littéral. En effet, il est nécessaire de disposer d'instruments de référence fournissant des résultats reproductibles indépendamment des caractéristiques des signaux d'entrée.

NOTE 3 L'instrument est défini pour satisfaire aux mesures des harmoniques de rang inférieur ou égal à 50.

2 Références normatives

Les documents de référence suivants sont indispensables pour l'application du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

CEI 60038, *Tensions normales de la CEI*

CEI 60050-161, *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) – Chapitre 161: Compatibilité Electromagnétique*

CEI 61000-2-2, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 2-2: Environnement – Niveaux de compatibilité pour les perturbations conduites à basse fréquence et la transmission des signaux sur les réseaux publics d'alimentation basse tension*

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

CEI 61000-3-12, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 3-12: Limites – Limites pour les courants harmoniques produits par les appareils connectés aux réseaux publics basse tension ayant un courant appelé > 16 A et ≤ 75 A par phase*

3 Définitions, symboles et indices

Pour les besoins de la présente partie de la CEI 61000, les définitions données dans la CEI 60050-161 (VEI), ainsi que les suivantes, s'appliquent.

3.1 Définitions relatives à l'analyse fréquentielle

Notations: Les notations suivantes sont utilisées dans la présente norme pour le développement en série de Fourier car il est plus facile de mesurer les phases en observant les passages par zéro:

$$f(t) = c_0 + \sum_{k=1}^{\infty} c_k \sin\left(\frac{k}{N} \omega_1 t + \varphi_k\right) \quad (1)$$

avec:

$$\left\{ \begin{array}{l} c_k = |b_k + ja_k| = \sqrt{a_k^2 + b_k^2} \\ Y_{C,k} = \frac{c_k}{\sqrt{2}} \\ \varphi_k = \pi + \arctan\left(\frac{a_k}{b_k}\right) \text{ si } b_k < 0 \\ \varphi_k = \arctan\left(\frac{a_k}{b_k}\right) \text{ si } b_k > 0 \\ \varphi_k = \frac{\pi}{2} \text{ si } b_k = 0 \text{ et } a_k > 0 \\ \varphi_k = -\frac{\pi}{2} \text{ si } b_k = 0 \text{ et } a_k < 0 \\ \varphi_k = 0 \text{ si } |b_k| \leq \varepsilon \text{ et } |a_k| \leq \varepsilon, \end{array} \right. \quad (2)$$

avec $\varepsilon = 0,05\% U_{\text{nom}}$ et $\varepsilon = 0,15\% I_{\text{nom}}$
 ou $\varepsilon = 0,15\% U_{\text{nom}}$ et $\varepsilon = 0,5\% I_{\text{nom}}$
 respectivement, voir tableau 1 de la CEI 61000-4-7

et:

$$\left\{ \begin{array}{l} b_k = \frac{2}{T_N} \int_0^{T_N} f(t) \times \sin\left(\frac{k}{N} \omega_1 t\right) dt \\ a_k = \frac{2}{T_N} \int_0^{T_N} f(t) \times \cos\left(\frac{k}{N} \omega_1 t\right) dt \\ c_0 = \frac{1}{T_N} \int_0^{T_N} f(t) dt \end{array} \right. \quad (3)$$

NOTE 1 La définition ci-dessus, qui met φ_k à 0 dans les cas où b_k et a_k ont des valeurs très faibles, fournit une indication aux fabricants d'instruments de mesure, car les mesures de phase pour des grandeurs de très faible amplitude peuvent conduire à des écarts très importants. De ce fait, il n'y a pas d'exigence pour mesurer la phase de signaux aussi faibles.

ω_1 est la pulsation du fondamental ($\omega_1 = 2\pi f_{H,1}$);

T_N est la largeur (ou durée) de la fenêtre temporelle; la fenêtre temporelle est la période d'observation d'une fonction temporelle sur laquelle est appliquée la transformée de Fourier;

c_0 est la composante continue;

c_k est l'amplitude de la composante de fréquence $f_{C,k} = \frac{k}{N} f_{H,1}$;

$Y_{C,k}$ est la valeur efficace de la composante c_k ;

$f_{H,1}$ est la fréquence fondamentale du réseau;

k est le nombre ordinal (rang de la composante spectrale) relatif à la résolution fréquentielle $\left(f_{C,1} = \frac{1}{T_N}\right)$;

N est le nombre de périodes du fondamental contenues dans la fenêtre temporelle;

φ_k est la phase de la raie spectrale k .

NOTE 2 Au sens strict du terme, ces définitions s'appliquent uniquement à des signaux en régime permanent. Généralement, la série de Fourier est calculée numériquement, c'est-à-dire sous forme d'une Transformée de Fourier Discrète TFD, ou d'une variante de celle-ci, qui est la Transformée de Fourier Rapide TFR.

Le signal analogique $f(t)$ à analyser est échantillonné, converti en numérique, puis mémorisé. Chaque groupe de M échantillons forme une fenêtre temporelle sur laquelle la TFD est calculée. Suivant les principes du développement en série de Fourier, la largeur de la fenêtre T_N détermine la résolution fréquentielle $f_{C,1} = 1/T_N$ (c'est-à-dire la séparation fréquentielle des composantes spectrales) pour l'analyse. Par conséquent, il faut que la largeur de fenêtre T_N soit un multiple entier N de la période du fondamental T_1 de la tension du réseau: $T_N = N \times T_1$. La fréquence d'échantillonnage est dans ce cas $f_s = M/(NT_1)$ (où M = nombre d'échantillons dans T_N).

Avant de réaliser la TFD, les échantillons dans la fenêtre temporelle sont souvent pondérés en les multipliant avec une fonction symétrique particulière (fonction fenêtre). Toutefois, pour les signaux périodiques et un échantillonnage synchrone, il est préférable d'utiliser une fenêtre de pondération rectangulaire qui multiplie chaque échantillon par le nombre un.

Le processeur de TFD donne les coefficients de Fourier orthogonaux, a_k et b_k , pour les fréquences de composantes spectrales correspondantes $f_{C,k} = k/T_N$, $k = 0, 1, 2 \dots M-1$. Toutefois, seules les valeurs d'indice k inférieur ou égal à la moitié de sa valeur maximale sont utiles, l'autre moitié ne faisant que les dupliquer.

Dans des conditions de synchronisation, la composante de rang harmonique h par rapport à la fréquence fondamentale $f_{H,1}$ se présente comme la composante spectrale de rang k , où $k = hN$.

NOTE 3 La Transformée de Fourier Rapide (TFR) est un algorithme spécial permettant des temps de calcul courts. Pour cela, le nombre d'échantillons M doit être une puissance entière de 2, $M = 2^i$, avec $i \geq 10$ par exemple.

NOTE 4 Le symbole Y est remplacé, selon les exigences, par le symbole I pour les courants ou par le symbole U pour les tensions. L'indice C qualifie la variable en tant que composante spectrale.

3.2 Définitions relatives aux harmoniques

3.2.1

fréquence harmonique

$f_{H,h}$

fréquence qui est un multiple entier de la fréquence fondamentale du réseau d'alimentation ($f_{H,h} = h \times f_{H,1}$)

NOTE La fréquence harmonique $f_{H,h}$ est identique à la fréquence de composante $f_{C,k}$ avec $k = h \times N$.

3.2.2

rang d'un harmonique

h

rapport (entier) d'une fréquence harmonique à la fréquence fondamentale du réseau d'alimentation. En relation avec l'analyse réalisée à l'aide d'une TFD et d'une synchronisation entre $f_{H,1}$ et f_s (fréquence d'échantillonnage), le rang h d'un harmonique correspond à la composante spectrale $k = h \times N$ (k = numéro de la composante spectrale, N = nombre de périodes à la fréquence fondamentale dans la fenêtre temporelle T_N)

3.2.3

valeur efficace d'une composante harmonique

$Y_{H,h}$

valeur efficace de l'une des composantes ayant une fréquence harmonique dans l'analyse d'une forme d'onde non sinusoïdale

En bref, cette composante peut être désignée simplement comme un «harmonique»

NOTE 1 La composante harmonique $Y_{H,h}$ est identique à la composante spectrale $Y_{C,k}$ avec $k = h \times N$; ($Y_{H,h} = Y_{C,h \times N}$). Le symbole Y est remplacé, selon les exigences, par le symbole I pour les courants ou par le symbole U pour les tensions. L'indice H qualifie la variable I ou U en tant qu'harmonique.

NOTE 2 Pour les besoins de la présente norme, la fenêtre temporelle a une largeur de $N = 10$ (réseaux à 50 Hz) ou $N = 12$ (réseaux à 60 Hz) périodes du fondamental, c'est-à-dire environ 200 ms (voir 4.4.1). Ceci donne $Y_{H,h} = Y_{C,10 \times h}$ (réseaux à 50 Hz) et $Y_{H,h} = Y_{C,12 \times h}$ (réseaux à 60 Hz).

3.2.4

valeur efficace d'un groupe harmonique

$Y_{g,h}$

racine carrée de la somme des carrés de la valeur efficace d'un harmonique et des composantes spectrales qui lui sont adjacentes dans la fenêtre temporelle, donnant ainsi la somme des contenus énergétiques de l'harmonique proprement dit et des composantes avoisinantes. Voir également l'équation 8 et la Figure 4. Le rang harmonique est celui de l'harmonique considéré

NOTE Le symbole Y est remplacé, selon les exigences, par le symbole I pour les courants ou par le symbole U pour les tensions.

3.2.5

valeur efficace d'un sous-groupe harmonique

$Y_{sg,h}$

racine carrée de la somme des carrés de la valeur efficace d'un harmonique et des deux composantes spectrales qui lui sont directement adjacentes. Afin de prendre en compte l'effet de fluctuations de tension au cours de relevés de tension, un sous-groupe de composantes de sortie de la TFD est alors obtenu en additionnant les contenus énergétiques des composantes en fréquence directement adjacentes à un harmonique avec celui de l'harmonique proprement dit. (Voir également l'équation 9 et la Figure 6). Le rang harmonique est celui de l'harmonique considéré

NOTE Le symbole Y est remplacé, selon les exigences, par le symbole I pour les courants ou par le symbole U pour les tensions.

3.3 Définitions relatives aux taux de distorsion

3.3.1

taux de distorsion harmonique

THD

THD_Y (symbole)

rapport de la valeur efficace de la somme de toutes les composantes harmoniques ($Y_{H,h}$) jusqu'à un rang défini (h_{max}) sur la valeur efficace de la composante fondamentale ($Y_{H,1}$):

$$THD_Y = \sqrt{\sum_{h=2}^{h_{max}} \left(\frac{Y_{H,h}}{Y_{H,1}} \right)^2} \quad (4)$$

NOTE 1 Le symbole Y est remplacé, selon les exigences, par le symbole I pour les courants ou par le symbole U pour les tensions.

NOTE 2 La valeur de h_{max} est égale à 40 si aucune autre valeur n'est définie dans une norme concernée par les limites (série CEI 61000-3).

3.3.2**taux de distorsion harmonique de groupe****THDG****THDG_Y** (symbole)rapport de la valeur efficace des groupes harmoniques ($Y_{g,h}$) sur la valeur efficace du groupe associé au fondamental ($Y_{g,1}$):

$$THDG_Y = \sqrt{\sum_{h=h_{\min}}^{h_{\max}} \left(\frac{Y_{g,h}}{Y_{g,1}} \right)^2} \quad \text{où } h_{\min} \geq 2 \quad (5)$$

NOTE 1 Le symbole Y est remplacé, selon les exigences, par le symbole I pour les courants ou par le symbole U pour les tensions.

NOTE 2 La valeur de h_{\min} est égale à 2 et celle de h_{\max} à 40 si aucunes autres valeurs ne sont définies dans une norme concernée par les limites (par exemple, série CEI 61000-3).

3.3.3**taux de distorsion harmonique de sous-groupe****THDS****THDS_Y** (symbole)rapport de la valeur efficace des sous-groupes harmoniques ($Y_{sg,h}$) sur la valeur efficace du sous-groupe associé au fondamental ($Y_{sg,1}$):

$$THDS_Y = \sqrt{\sum_{h=h_{\min}}^{h_{\max}} \left(\frac{Y_{sg,h}}{Y_{sg,1}} \right)^2} \quad \text{où } h_{\min} \geq 2 \quad (6)$$

NOTE 1 Le symbole Y est remplacé, selon les exigences, par le symbole I pour les courants ou par le symbole U pour les tensions.

NOTE 2 La valeur de h_{\min} est égale à 2 et celle de h_{\max} à 40 si aucunes autres valeurs ne sont définies dans une norme concernée par les limites (par exemple, série CEI 61000-3).

3.3.4**distorsion harmonique partielle pondérée****PWHD****PWHD_{H,Y}** (symbole)rapport de la valeur efficace, pondérée par le rang harmonique h , d'un groupe sélectionné d'harmoniques de rang élevé (du rang h_{\min} au rang h_{\max}) sur la valeur efficace du fondamental:

$$PWHD_{H,Y} = \sqrt{\sum_{h=h_{\min}}^{h_{\max}} h \left(\frac{Y_{H,h}}{Y_{H,1}} \right)^2} \quad (7)$$

NOTE 1 Le symbole Y est remplacé, selon les exigences, par le symbole I pour les courants ou par le symbole U pour les tensions.

NOTE 2 La notion de distorsion harmonique partielle pondérée est donnée afin de pouvoir spécifier une seule limite pour l'ensemble des composantes harmoniques de rang élevé. La distorsion harmonique de groupe partielle pondérée, $PWHD_{g,Y}$, peut être évaluée en remplaçant la grandeur $Y_{H,h}$ par la grandeur $Y_{g,h}$. La distorsion harmonique de sous-groupe partielle pondérée, $PWHD_{sg,Y}$, peut être évaluée en remplaçant la grandeur $Y_{H,h}$ par la grandeur $Y_{sg,h}$. Le type de $PWHD$ ($PWHD_{H,Y}$, $PWHD_{g,Y}$ ou $PWHD_{sg,Y}$) est défini dans chaque norme qui utilise le $PWHD$, par exemple dans des normes concernées par les limites (série CEI 61000-3).

NOTE 3 Les valeurs de h_{\min} et h_{\max} sont définies dans chaque norme qui utilise le $PWHD_Y$, par exemple dans une norme concernée par les limites (série CEI 61000-3).

3.4 Définitions relatives aux interharmoniques

3.4.1

valeur efficace d'une composante spectrale

$Y_{C,k}$

dans l'analyse d'une forme d'onde, la valeur efficace d'une composante dont la fréquence est un multiple de l'inverse de la durée de la fenêtre temporelle

NOTE 1 Si la durée de la fenêtre temporelle est un multiple de la période du fondamental, seules certaines des composantes spectrales ont des fréquences qui sont des multiples entiers de la fréquence fondamentale.

NOTE 2 L'intervalle de fréquence entre deux composantes spectrales consécutives est l'inverse de la largeur de la fenêtre temporelle, approximativement 5 Hz pour les besoins de la présente norme.

NOTE 3 Le symbole Y est remplacé, selon les exigences, par le symbole I pour les courants ou par le symbole U pour les tensions.

3.4.2

valeur efficace d'une composante interharmonique

$Y_{C,i}$

valeur efficace d'une composante spectrale, $Y_{C,k} \neq h \times N$, dont la fréquence est comprise entre deux fréquences harmoniques consécutives (voir la Figure 4). En bref, cette composante peut être désignée simplement comme un "interharmonique".

NOTE 1 La fréquence de la composante interharmonique est donnée par la fréquence de la raie spectrale. Cette fréquence n'est pas un multiple entier de la fréquence du fondamental.

NOTE 2 On établit une différence entre une "composante interharmonique" produite comme une composante physique par un appareil, par exemple à 183,333 Hz, et une "composante spectrale" calculée par l'instrument à la suite de l'analyse de la forme d'onde, par exemple à 185 Hz (la fréquence de la cellule de la TFR) pour un réseau à 50 Hz. La "composante spectrale" est aussi la "composante harmonique" pour $h \times N$ où h est un entier.

3.4.3

valeur efficace d'un groupe interharmonique

$Y_{ig,h}$

valeur efficace de toutes les composantes spectrales comprises entre deux fréquences harmoniques consécutives (voir la Figure 4).

NOTE 1 Pour les besoins de la présente norme, la valeur efficace du groupe interharmonique entre les rangs harmoniques h and $h + 1$ est désignée par $Y_{ig,h}$, par exemple le groupe entre $h = 5$ et $h = 6$ est désigné par $Y_{ig,5}$.

NOTE 2 Le symbole Y est remplacé, selon les exigences, par le symbole I pour les courants ou par le symbole U pour les tensions.

3.4.4

valeur efficace d'un sous-groupe interharmonique centré

$Y_{isg,h}$

valeur efficace de toutes les composantes spectrales comprises entre deux fréquences harmoniques consécutives, à l'exclusion des composantes spectrales directement adjacentes aux fréquences harmoniques (voir la Figure 6)

NOTE 1 Pour les besoins de la présente norme, la valeur efficace du sous-groupe centré situé entre les rangs harmoniques h and $h + 1$ est désignée par $Y_{isg,h}$, par exemple, le sous-groupe centré situé entre $h = 5$ et $h = 6$ est désigné par $Y_{isg,5}$.

NOTE 2 Le symbole Y est remplacé, selon les exigences, par le symbole I pour les courants ou par le symbole U pour les tensions.

3.4.5

fréquence du groupe interharmonique

$f_{ig,h}$

moyenne des deux fréquences harmoniques entre lesquelles se trouve le groupe, c'est-à-dire

$$f_{ig,h} = (f_{H,h} + f_{H,h+1})/2.$$

3.4.6**fréquence d'un sous-groupe interharmonique centré** $f_{isg,h}$

moyenne des deux fréquences harmoniques entre lesquelles se trouve le sous-groupe, c'est-à-dire $f_{isg,h} = (f_{H,h} + f_{H,h+1})/2$.

3.5 Notations**3.5.1 Symboles**

Dans la présente norme, les valeurs des tensions et des courants sont, sauf mention contraire, des valeurs efficaces.

a	amplitude d'une composante cosinus dans une série de Fourier
b	amplitude d'une composante sinus dans une série de Fourier
c	amplitude d'une composante dans une série de Fourier
f	fréquence; fonction
$f_{C,k}$	fréquence de la composante spectrale de rang k
$f_{C,1}$	la fréquence de la composante spectrale de rang 1. La résolution fréquentielle est égale à cette fréquence
$f_{g,h}$	fréquence du groupe harmonique de rang h
$f_{sg,h}$	fréquence du sous-groupe harmonique de rang h
$f_{ig,h}$	fréquence du groupe interharmonique de rang h
$f_{isg,h}$	fréquence du sous-groupe interharmonique centré de rang h
$f_{H,h}$	fréquence de la composante harmonique de rang h
$f_{H,1}$	fréquence fondamentale du réseau d'alimentation
f_s	fréquence d'échantillonnage
h_{\max}	le rang de l'harmonique le plus élevé qui est pris en compte
h_{\min}	le rang de l'harmonique le plus bas qui est pris en compte
j	$\sqrt{-1}$
t	temps courant
B	largeur de bande
I	courant (valeur efficace)
M	nombre entier; nombre d'échantillons dans une fenêtre temporelle
N	nombre de périodes dans l'alimentation électrique dans une fenêtre temporelle
P	puissance
T	intervalle de temps
T_1	période du fondamental du réseau d'alimentation
T_N	largeur de la fenêtre comprenant N périodes du fondamental
U	tension (valeur efficace)
Y	Variable remplaçable par I, U
$Y_{C,k}$	valeur efficace de la composante spectrale de rang k
$Y_{g,h}$	valeur efficace d'un groupe harmonique
$Y_{H,h}$	valeur efficace de la composante harmonique de rang h
$Y_{ig,h}$	valeur efficace d'un groupe interharmonique
$Y_{isg,h}$	valeur efficace d'un sous-groupe interharmonique centré

$Y_{sg,h}$	valeur efficace d'un sous-groupe harmonique
ω	pulsation
ω_1	pulsation de l'alimentation électrique
φ	phase

3.5.2 Indices

b	fréquence centrale de bande
h	nombre entier courant pour les rangs harmoniques
k	nombre entier courant pour les composantes spectrales
m	valeur mesurée
max	valeur maximale
min	valeur minimale
o	valeur lissée
g	valeur groupée
sg	valeur sous-groupée
i	valeur interharmonique
g,h	groupe harmonique associé au rang harmonique h
sg,h	sous-groupe harmonique associé au rang harmonique h
ig,h	groupe interharmonique situé au dessus du rang harmonique h
isg,h	sous-groupe interharmonique centré situé au dessus du rang harmonique h
og,h	groupe harmonique lissé de rang h
nom	valeur nominale
s	échantillonné
C	valeur relative à une composante spectrale
H	harmonique
f	fréquence
0	relative au courant continu

4 Concepts généraux et prescriptions communes à tous les types d'instrumentations

4.1 Caractéristiques du signal à mesurer

On considère les instruments pour les types de mesures suivants:

- a) mesure de l'émission harmonique,
- b) mesure de l'émission interharmonique,
- c) mesures au-dessus de la plage de fréquence harmonique, jusqu'à 9 kHz.

Au sens strict du terme, la Transformée de Fourier (Rapide) produit des résultats exacts uniquement pour des signaux en régime permanent. Les signaux dont l'amplitude varie en fonction du temps ne peuvent pas être décrits de manière correcte par leurs composantes harmoniques seulement. Afin d'obtenir des résultats reproductibles lorsqu'on effectue des mesures d'émission harmonique sur des produits ayant une puissance fluctuante, et donc un courant fondamental fluctuant et peut-être des niveaux fluctuants de courants harmoniques, on peut utiliser une combinaison de techniques de moyennage et de cycles de mesure suffisamment longs. La présente norme fournit par conséquent une méthode simplifiée employant des méthodes de moyennage particulières (voir 5.5.1). De plus, une période

d'observation pour les essais, suffisamment longue pour obtenir des résultats de mesure successifs restant dans des niveaux de tolérance acceptables, est spécifiée dans les normes d'émission harmonique faisant référence à la présente norme.

4.2 Classes de précision de l'instrumentation

Deux classes de précision (I et II) sont proposées, pour permettre l'utilisation d'instruments simples et d'un coût réduit, selon les exigences de l'application. Pour les essais sur les émissions, la classe supérieure I est requise si les émissions sont proches des valeurs limites (voir également la note 2 du tableau 1).

4.3 Types de mesure

On donne des prescriptions pour les mesures d'harmoniques et d'interharmoniques. Les mesures dans la plage de fréquence allant jusqu'à 9 kHz sont également considérées.

4.4 Structure générale de l'instrument

Il est fort probable que les nouveaux modèles d'instruments utilisent la transformée de Fourier discrète (TFD), en recourant normalement à un algorithme rapide appelé transformée de Fourier rapide (TFR). Pour cette raison, la présente norme ne prend en considération que cette seule architecture mais n'exclut pas d'autres principes d'analyse (voir article 6).

La structure générale est représentée à la figure 1. Dans la réalité, un instrument peut ou non comprendre la totalité des blocs et sorties indiqués sur cette figure.

4.4.1 Instrument principal

L'instrument principal comprend

- des circuits d'entrée avec filtre anti-repliement;
- un convertisseur A/N comprenant un échantillonneur-bloqueur;
- un système de synchronisation et une fenêtre de pondération, si nécessaire;
- un processeur de TFD fournissant les coefficients de Fourier a_k et b_k («Sortie 1»).

Il est complété par les modules spéciaux consacrés à l'évaluation du courant et/ou de la tension.

NOTE 1 Pour plus de détails, voir 5.5.

NOTE 2 Pour l'analyse des harmoniques et des interharmoniques, le signal $f(t)$ à analyser est prétraité, afin d'éliminer les fréquences supérieures à la plage de fonctionnement de l'instrument.

La largeur de fenêtre doit être de 10 (réseaux à 50 Hz) ou de 12 (réseaux à 60 Hz) périodes du fondamental ($T_N = [10 \text{ ou } 12] \times T_1 \approx 200 \text{ ms}$) avec une pondération rectangulaire, synchronisée à la fréquence fondamentale du réseau électrique. La pondération de Hanning n'est autorisée que dans le cas d'une perte de synchronisation. La perte de synchronisation doit être indiquée sur l'affichage de l'instrument et les données ainsi acquises doivent être marquées et ne doivent pas être utilisées dans le but de déterminer la conformité, mais elles peuvent être utilisées à d'autres fins.

La fenêtre temporelle doit être synchronisée avec chaque groupe de 10 ou 12 cycles selon la fréquence du réseau, à 50 Hz ou 60 Hz. La durée entre le front montant de la première impulsion d'échantillonnage et le front montant de la $(M + 1)^{\text{ème}}$ impulsion d'échantillonnage (où M est le nombre d'échantillons; voir 3.5.1) doit être égale à la durée du nombre de cycles spécifié du réseau électrique, avec une erreur maximale autorisée de $\pm 0,03 \%$. Les instruments incluant une boucle à verrouillage de phase ou d'autres moyens de synchronisation doivent respecter les exigences de précision et de synchronisation les mesures, pour toute fréquence du signal comprise dans une plage d'au moins $\pm 5 \%$ autour de la fréquence nominale du réseau. Néanmoins, pour les instruments ayant des sources

d'alimentation intégrées, si bien que la source et les systèmes de mesure sont par nature synchronisés, l'exigence pour une plage de fréquence en entrée ne s'applique pas, à condition que les exigences de synchronisation et de précision en fréquence soient respectées.

La sortie SORTIE 1 (voir la Figure 1) doit donner, pour le courant ou pour la tension, les coefficients individuels a_k et b_k de la TFD, ainsi que $Y_{C,k}$, à savoir la valeur de chaque composante en fréquence calculée.

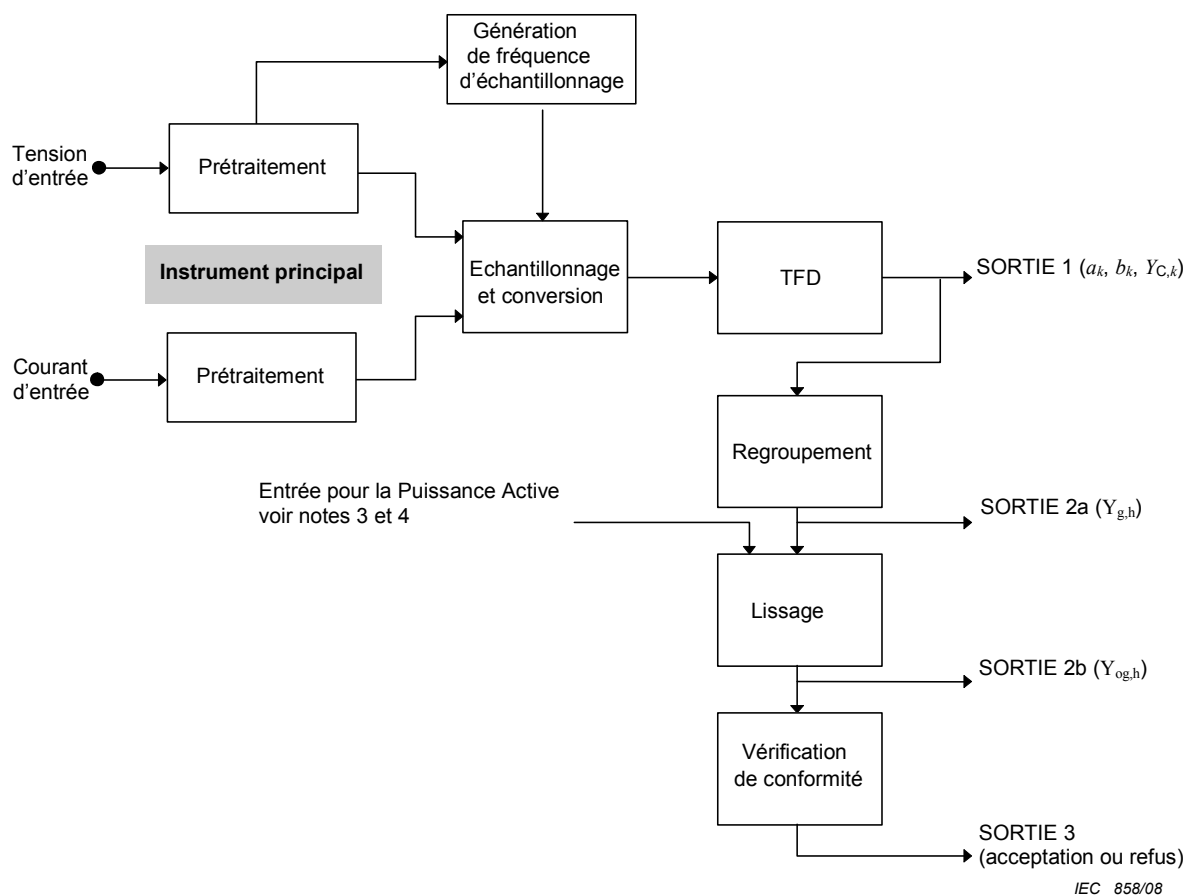


Figure 1 – Structure générale de l'instrument de mesure

Une autre sortie, pas nécessairement obtenue à partir de la TFD, doit fournir la puissance active P évaluée sur la même fenêtre temporelle que celle utilisée pour les harmoniques. Pour les mesures d'émission harmonique conformément à la CEI 61000-3-2, cette puissance ne doit pas inclure la composante continue.

NOTE 3 La puissance active P est fournie comme entrée au procédé de lissage, pas au procédé de regroupement.

NOTE 4 La mesure des composantes continues et de la puissance associée à celles-ci peut être incluse en option, mais n'est pas exigée par la présente norme.

4.4.2 Modules de post-traitement

Comme exigé par les normes d'émission, des opérations supplémentaires, telles que le lissage et la pondération des résultats bruts, sont réalisées sur les données brutes dans plusieurs modules consécutifs de l'instrument.

Si des valeurs de sortie doivent être mises en relation avec une valeur correspondante (valeurs du fondamental, déclarées ou nominales), la présente normalisation doit être effectuée uniquement après avoir réalisé ces procédures de lissage supplémentaires.

5 Mesures d'harmoniques

5.1 Circuit d'entrée de courant

Le circuit d'entrée doit être adapté aux courants à analyser. Il doit fournir la mesure directe des courants harmoniques. De surcroît, il convient qu'il ait une entrée basse tension à haute impédance pouvant être associée à des shunts externes résistifs (ou une combinaison de transformateurs d'intensité avec des shunts résistifs). Les sensibilités appropriées du circuit d'entrée s'étendent de 0,1 V à 10 V, 0,1 V étant la valeur préférée, à condition qu'il respecte les prescriptions données en 5.3.

NOTE Pour les mesures d'intensité réalisées directement dans le circuit, il est conseillé, mais pas obligatoire, de fournir les calibres suivants de mesure en courant d'entrée efficace I_{nom} : 0,1 A; 0,2 A; 0,5 A; 1 A; 2 A; 5 A; 10 A; 20 A; 50 A; 100 A.

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

Chaque circuit d'entrée en courant doit pouvoir supporter une surcharge permanente de $1,2 I_{nom}$. Une surcharge de $10 I_{nom}$ pendant 1 s ne doit provoquer aucune détérioration.

L'appareil de mesure doit être capable d'accepter des signaux d'entrée avec un facteur de crête autorisé pouvant atteindre 4 pour les calibres inférieurs ou égaux à 5 A efficace, 3,5 pour le calibre de 10 A efficace et 2,5 pour les calibres supérieurs.

Une indication de surcharge est nécessaire.

Les prescriptions de précision globale sont indiquées dans le tableau 1.

Pour les autres prescriptions, se reporter à l'article 8.

NOTE Une composante continue est souvent associée au courant déformé à mesurer; une telle composante continue peut produire des erreurs importantes dans les transformateurs de courant d'entrée. Il convient que le fabricant indique, dans les spécifications de l'instrument, la composante maximale de courant continu autorisée, de sorte que l'erreur supplémentaire produite ne dépasse pas la précision indiquée.

5.2 Circuit d'entrée de tension

Le circuit d'entrée de l'instrument de mesure doit être adapté à la tension maximale et à la fréquence de la tension d'alimentation à analyser et doit conserver ses caractéristiques et sa précision jusqu'à 1,2 fois cette tension maximale. Un facteur de crête d'au moins 1,5 est suffisant pour les mesures, sauf pour les tensions fortement déformées dans les réseaux industriels, pour lesquelles un facteur de crête d'au moins 2 peut être nécessaire. Une indication de surcharge est exigée dans tous les cas.

L'application sur l'entrée, pendant 1 s, d'une tension alternative égale à quatre fois la tension nominale d'entrée, sans toutefois excéder 1 kV efficace, ne doit provoquer aucune détérioration dans l'instrument.

Il existe beaucoup de tensions d'alimentation nominales comprises entre 60 V et 600 V, selon la pratique locale. Pour permettre une utilisation relativement universelle de l'instrument sur la plupart des réseaux d'alimentation, il est conseillé de concevoir le circuit d'entrée pour les tensions nominales suivantes:

U_{nom} : 66 V, 115 V, 230 V, 400 V, 690 V pour les réseaux à 50 Hz;

U_{nom} : 69 V, 120 V, 240 V, 277 V, 347 V, 480 V, 600 V pour les réseaux à 60 Hz.

NOTE 1 En association avec des transformateurs de tension externes, d'autres calibres peuvent également être utiles (100 V, $100/\sqrt{3}$ V, $110/\sqrt{3}$ V).

NOTE 2 Des entrées de sensibilité plus élevée (0,1 V; 1 V; 10 V) sont utiles pour fonctionner avec des capteurs externes. Il convient que le circuit d'entrée en courant soit capable d'accepter un signal d'entrée avec un facteur de crête égal au moins à 2.

La consommation du circuit d'entrée ne doit pas dépasser 0,5 VA à 230 V. Si des entrées à sensibilité élevée (inférieures à 50 V) sont fournies, leur résistance d'entrée doit être au moins de 10 k Ω /V.

Il convient de prendre garde que la valeur élevée de la tension fondamentale (à la fréquence d'alimentation) par rapport aux autres composantes de la tension à mesurer ne produise pas de surcharge causant des dommages ou des signaux d'intermodulation dans les étages d'entrée de l'instrument. Les erreurs ainsi causées doivent être inférieures à la précision indiquée. Une indication de surcharge doit être fournie.

5.3 Prescriptions relatives à la précision

On propose deux classes de précision pour l'instrumentation destinée à la mesure des composantes harmoniques. Les erreurs maximales admissibles indiquées dans le tableau 1 se rapportent à des signaux monofréquence et en régime permanent, dans la gamme de fréquence de fonctionnement, appliqués à l'instrument dans des conditions de fonctionnement assignées à indiquer par le fabricant (gamme de température, gamme d'humidité, tension d'alimentation de l'instrument, etc.).

NOTE Lorsque l'on essaie des appareils conformément à la CEI 61000-3-2, les termes donnant l'incertitude sont liés aux limites admissibles (5 % des limites admissibles) ou au courant assigné (I_r) de l'appareil essayé (0,15 % I_r), la valeur la plus grande étant retenue. Il convient de prendre ceci en compte lors du choix du calibre convenable de courant d'entrée de l'instrument de mesure.

Tableau 1 – Prescriptions de précision pour les mesures de courant, de tension et de puissance

Classe	Mesure	Conditions	Erreur maximale
I	Tension	$U_m \geq 1\% U_{nom}$ $U_m < 1\% U_{nom}$	$\pm 5\% U_m$ $\pm 0,05\% U_{nom}$
	Courant	$I_m \geq 3\% I_{nom}$ $I_m < 3\% I_{nom}$	$\pm 5\% I_m$ $\pm 0,15\% I_{nom}$
	Puissance	$P_m \geq 150 \text{ W}$ $P_m < 150 \text{ W}$	$\pm 1\% \text{ de } P_m$ $\pm 1,5 \text{ W}$
II	Tension	$U_m \geq 3\% U_{nom}$ $U_m < 3\% U_{nom}$	$\pm 5\% U_m$ $\pm 0,15\% U_{nom}$
	Courant	$I_m \geq 10\% I_{nom}$ $I_m < 10\% I_{nom}$	$\pm 5\% I_m$ $\pm 0,5\% I_{nom}$
<p>I_{nom}: Calibre en courant de l'instrument de mesure U_{nom}: Calibre en tension de l'instrument de mesure U_m, I_m et P_m: Valeurs mesurées</p>			
<p>NOTE 1 Les instruments de classe I sont recommandés quand des mesures précises sont nécessaires, telles que celles permettant de contrôler la conformité aux normes, de résoudre des conflits, etc. Deux instruments quelconques se conformant aux prescriptions de la classe I fournissent, lorsqu'ils sont raccordés aux mêmes signaux, des résultats concordants dans les limites de la précision spécifiée (ou indiquent une condition de surcharge).</p> <p>NOTE 2 Les instruments de classe I sont recommandés pour les mesures d'émission; la classe II est recommandée pour les campagnes de mesure, mais elle peut également être utilisée pour les mesures d'émission si les niveaux sont tels que, même en tenant compte de l'incertitude accrue, il est clair que les valeurs limites ne sont pas dépassées. Dans la pratique, ceci signifie qu'il convient que les niveaux d'harmoniques mesurés soient <90 % des limites autorisées.</p> <p>NOTE 3 En outre, pour les instruments de classe I, il convient que le déphasage entre les voies individuelles soit plus petit que $h \times 1^\circ$.</p>			

Les fréquences situées en dehors de l'étendue de mesure de l'instrument doivent être atténuées de façon à ne pas affecter les résultats. Pour obtenir l'atténuation appropriée, l'instrument peut échantillonner le signal d'entrée à une fréquence beaucoup plus élevée que l'étendue de mesure. Par exemple, le signal analysé peut avoir des composantes dépassant 25 kHz, mais seules les composantes inférieures ou égales à 2 kHz sont prises en compte. Un filtre passe-bas antirepliement, ayant une fréquence de coupure à -3 dB supérieure à l'étendue de mesure, doit être utilisé. L'atténuation dans la bande coupée doit dépasser 50 dB.

NOTE Par exemple, un filtre de Butterworth du 5ème ordre atteint une atténuation de 50 dB à environ trois fois la fréquence de coupure à -3 dB.

Lorsqu'il est nécessaire d'évaluer avec une incertitude minimale des harmoniques de rang supérieur à 15 et avec un courant assigné supérieur à 5 A, il est conseillé d'utiliser des shunts externes ou des capteurs de courant adaptés pour donner un calibre égal au courant assigné du matériel soumis aux essais.

Pour les instruments destinés uniquement à la mesure des harmoniques, les prescriptions de précision ne s'appliquent qu'aux composantes harmoniques.

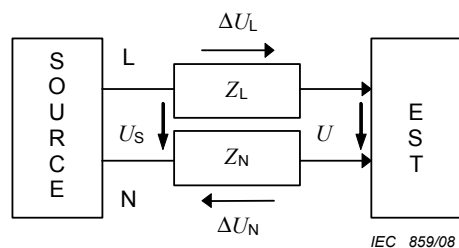
Pour parvenir à la précision indiquée au tableau 1, un ajustement simple de l'instrument au moyen d'un calibre interne ou externe, conformément à des indications claires devant être fournies par le fabricant, peut être nécessaire. L'incertitude du calibre (s'il est interne) doit être précisée.

Le fabricant doit indiquer les erreurs dues aux facteurs d'influence les plus importants (température, tension auxiliaire de l'alimentation secteur, etc.) pour l'instrument proprement dit et pour le calibre interne, s'il est fourni.

5.4 Montage de mesure et tension d'alimentation

5.4.1 Montage de mesure pour l'évaluation des émissions

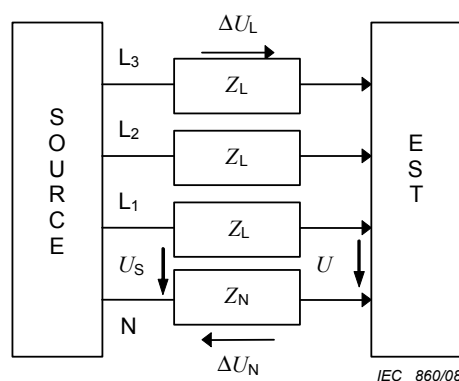
Le montage de mesure est donné aux figures 2 et 3.



Légende

- U_S Tension phase-neutre de la source
- U Tension aux bornes de l'EST
- $Z_{L,N}$ Impédance du câblage et du capteur de courant
- EST Matériel soumis aux essais
- ΔU Chute de tension à travers Z_L et Z_N ($\Delta U = \Delta U_L + \Delta U_N$)
- L Connexion à la phase
- N Connexion au neutre

Figure 2 – Montage pour la mesure des émissions monophasées



Légende

- U_S Tension phase-neutre de la source
- U Tension aux bornes de l'EST
- $Z_{L,N}$ Impédance du câblage et du capteur de courant
- EST Matériel soumis aux essais
- ΔU Chute de tension à travers Z_L et Z_N ($\Delta U = \Delta U_L + \Delta U_N$);
Pour le raccordement entre phases, $\Delta U = 2 \times \Delta U_L$
- L_{1-3} Connexion aux phases
- N Connexion au neutre

Figure 3 – Montage pour la mesure des émissions triphasées

5.4.2 Tension d'alimentation pour l'évaluation des émissions

5.4.2.1 Généralités

Pendant que des mesures sont effectuées pour l'évaluation des harmoniques jusqu'à l'harmonique 40 de la fréquence du réseau, la tension d'essai U aux bornes de l'EST doit respecter les prescriptions suivantes:

5.4.2.2 Exigences relatives aux appareils dont le courant d'entrée est inférieur ou égal à 16 A par phase

Les exigences relatives aux appareils dont le courant d'entrée est ≤ 16 A par phase doivent être satisfaites:

- a) La stabilité de la tension d'essai doit être maintenue à ± 2 % de la valeur sélectionnée et la fréquence doit être maintenue à $\pm 0,5$ % de la valeur sélectionnée pendant l'essai. Si l'EST a une plage de tension d'alimentation spécifiée, la tension d'essai doit correspondre à la tension nominale du réseau électrique prévu pour alimenter le matériel (par exemple, 230 V phase-neutre, correspondant à 400 V entre phases). Afin de faciliter les mesures, dans le cas de raccordements triphasés en triangle à trois conducteurs, un point neutre artificiel réalisé à l'aide de trois résistances identiques à 1 % près peut être utilisé si le conducteur de neutre n'est pas disponible à partir de la source. L'objet du point neutre artificiel est de permettre que des mesures de tension et de puissance par phase soient réalisées aussi bien dans une configuration phase-neutre qu'entre phases. Au cours des essais d'émission, les erreurs introduites dans les mesures de courants de l'EST, dues à la charge de la partie

voltmètre de l'instrument et d'un quelconque réseau de neutre artificiel installé, ne doivent pas dépasser 0,05 %.

NOTE Dans de nombreux cas, le neutre artificiel n'est pas requis, mais lorsqu'il l'est, plusieurs approches peuvent être utilisées. Dans certains cas, il peut être fourni par les trois impédances d'entrée des voltmètres de l'instrument de mesure. Dans d'autres cas, le neutre artificiel peut en réalité consister en l'effet combiné d'un réseau explicite et des impédances d'entrée des voltmètres de l'instrument de mesure. Il se peut également que le réseau de neutre artificiel, s'il est présent, et les impédances d'entrée des voltmètres soient connectées de façon à ne pas introduire d'erreurs dans les mesures de courant (car la charge se trouve sur le côté source du transducteur de courant). Dans d'autres cas encore, les erreurs dues à la charge du réseau de neutre artificiel et des impédances d'entrée des voltmètres de l'instrument peuvent être compensées de manière adéquate par des boucles de rétroaction dans la source de telle façon que les erreurs qui autrement pourraient être introduites, ne se produisent pas en fait. Beaucoup d'autres configurations peuvent convenir, à condition que le niveau d'incertitude requis ne soit pas dépassé.

- b) Dans le cas d'une alimentation triphasée, les trois tensions de phase doivent avoir, respectivement, une relation de phase de 0° , $120^\circ \pm 1,5^\circ$, $240^\circ \pm 1,5^\circ$.
- c) La distorsion harmonique de la tension d'essai U de l'EST ne doit pas dépasser les valeurs suivantes, l'EST étant raccordé et fonctionnant suivant les conditions d'essai spécifiées:
 - 0,9 % pour l'harmonique de rang 3;
 - 0,4 % pour l'harmonique de rang 5;
 - 0,3 % pour l'harmonique de rang 7;
 - 0,2 % pour l'harmonique de rang 9;
 - 0,2 % pour les harmoniques pairs de rang 2 à 10;
 - 0,1 % pour les harmoniques de rang 11 à 40.
- d) La valeur crête de la tension d'essai doit être comprise entre 1,404 fois et 1,424 fois sa valeur efficace, et elle doit être atteinte entre 87° et 93° après le passage par zéro.
- e) La chute de tension ΔU à travers l'impédance du capteur de courant et du câblage ne doit pas dépasser une tension de crête de 0,5 V.

5.4.2.3 Exigences relatives aux appareils dont le courant d'entrée est supérieur à 16 A et inférieur ou égal à 75 A par phase

Les exigences relatives aux appareils dont le courant d'entrée est >16 A et ≤ 75 A par phase doivent être satisfaites:

- a) La tension de sortie U doit être la tension assignée de l'appareil. Dans le cas d'une plage de tension, la tension de sortie doit être une tension nominale de réseau, conformément à la CEI 60038 (par exemple: 120 V ou 230 V en monophasé, ou 400 V entre phases en triphasé). Afin de faciliter les mesures, dans le cas de raccordements triphasés en triangle à trois conducteurs, un point neutre artificiel réalisé à l'aide de trois résistances identiques à 1 % près peut être utilisé si le conducteur de neutre n'est pas disponible à partir de la source. L'objet du point neutre artificiel est de permettre que des mesures de tension et de puissance par phase soient réalisées aussi bien dans une configuration phase-neutre qu'entre phases. Au cours des essais d'émission, les erreurs introduites dans les mesures de courants de l'EST, dues à la charge de la partie voltmètre de l'instrument et d'un quelconque réseau de neutre artificiel installé, ne doivent pas dépasser 0,05 %.
- b) La tension de sortie doit être maintenue à $\pm 2,0$ % et la fréquence à $\pm 0,5$ % de leur valeur nominale respective.
- c) Dans le cas d'une alimentation triphasée, le déséquilibre de tension doit être inférieur à 50 % du niveau de compatibilité de déséquilibre de tension défini dans la CEI 61000-2-2.
- d) Les taux d'harmoniques de la tension de sortie U à vide ne doivent pas dépasser:
 - 1,5 % pour l'harmonique de rang 5;
 - 1,25 % pour les harmoniques de rang 3 et 7;
 - 0,7 % pour l'harmonique de rang 11;

- 0,6 % pour les harmoniques de rang 9 et 13;
- 0,4 % pour les harmoniques pairs de rang 2 à 10;
- 0,3 % pour les harmoniques de rang 12 et 14 à 40.

e) Pour l'application des Tableaux 2 et 3 de la CEI 61000-3-12, l'impédance de la source d'alimentation est telle que le rapport de court-circuit $R_{s_{ce}}$ (tel que défini dans la CEI 61000-3-12) est égal ou supérieur à la valeur minimale de $R_{s_{ce}}$ ($R_{s_{ce} \min}$) qui permet la conformité de l'appareil, avec l'insertion possible de réactances. Pour l'application du Tableau 4 de la CEI 61000-3-12, l'impédance de la source d'alimentation est telle que le $R_{s_{ce}}$ est égal ou supérieur à 1,6 fois la valeur minimale de $R_{s_{ce}}$ qui permet la conformité de l'appareil, avec l'insertion possible de réactances.

NOTE 1 Le facteur 1,6 est destiné à tenir compte du fait que lorsqu'un appareil est raccordé à un réseau d'alimentation ayant une valeur de $R_{s_{ce}}$ supérieure à $R_{s_{ce} \min}$, les courants harmoniques émis augmentent. Une tolérance pour ce phénomène est déjà incluse dans les Tableaux 2 et 3 de la CEI 61000-3-12, de sorte qu'aucune tolérance supplémentaire au regard de la valeur de $R_{s_{ce}}$ à utiliser pour les essais n'est considérée comme nécessaire.

f) L'impédance du capteur de courant et du câblage est comprise dans l'impédance de la source d'alimentation.

NOTE 2 Les valeurs d'impédance et de distorsion indiquées ci-dessus ont été choisies en guise de compromis, compte tenu du fait que les alimentations de haute qualité ayant une capacité en courant très élevée sont extrêmement rares. La répétabilité des résultats, lorsque l'on utilise des alimentations différentes, peut être très faible avec les valeurs de distorsion et d'impédance mentionnées ci-dessus. La répétabilité, si l'on utilise la même alimentation, n'est pas aussi faible. Si possible, il convient d'utiliser une alimentation ayant une distorsion et une impédance plus faibles.

5.4.3 Puissance du matériel

La puissance du matériel doit être, si besoin est, mesurée à l'aide de la tension U des Figures 2 ou 3, aux bornes de l'EST, et à l'aide du courant dans l'EST. Pour les sources renfermant le capteur de courant, la puissance du matériel doit être mesurée à l'aide de la tension aux bornes de sortie de la source et à l'aide du courant dans l'EST. Dans ce cas, la tension doit être mesurée sur le côté EST du capteur de courant, en supposant que la source est réglée à ses bornes de sortie.

5.5 Évaluation des émissions harmoniques

Les paragraphes suivants se rapportent aux modules de post-traitement de la figure 1.

5.5.1 Regroupement et lissage

Pour évaluer les harmoniques, la sortie SORTIE 1 (voir la Figure 1) de la TFD est tout d'abord regroupée pour constituer la somme des carrés des composantes spectrales intermédiaires comprises entre deux harmoniques adjacents, conformément à l'équation 8, telle que visualisée à la Figure 4. Seules les composantes intermédiaires au-dessus de l'harmonique de rang 2 doivent être utilisées. Le groupe harmonique de rang h qui en résulte (correspondant à la composante centrale de la zone hachurée) est d'amplitude $Y_{g,h}$ (pour le 50 Hz, cette amplitude est égale à la racine carrée de la somme de la valeur au carré de la composante harmonique entière, plus les valeurs au carré des composantes adjacentes de $n - 4$ à $n + 4$, plus la moitié des valeurs au carré des composantes $n - 5$ et $n + 5$).

$$Y_{g,h}^2 = \frac{1}{2} \cdot Y_{C,(N \times h) - N/2}^2 + \sum_{k=(-N/2)+1}^{(N/2)-1} Y_{C,(N \times h)+k}^2 + \frac{1}{2} \cdot Y_{C,(N \times h)+N/2}^2 \quad (8)$$

NOTE Seules les composantes intermédiaires au-dessus de l'harmonique de rang 2 sont prises en compte dans cette équation.

Dans cette équation, $Y_{C,(N \times h)+k}$ est la valeur efficace de la composante spectrale correspondant à une cellule de sortie (composante spectrale) de la TFD, $(N \times h) + k$ est le rang des composantes spectrales, et $Y_{g,h}$ est la valeur efficace résultante du groupe harmonique.

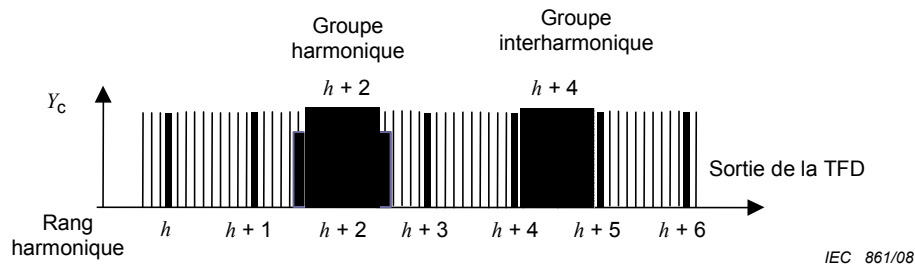


Figure 4 – Illustration des groupes harmoniques et interharmoniques (représentés ici pour une alimentation à 50 Hz)

NOTE Le regroupement d'interharmoniques est illustré à la Figure 4 uniquement pour clarifier les définitions (voir l'Annexe A pour l'évaluation des courants interharmoniques).

Un lissage du signal doit être effectué sur la valeur efficace $Y_{g,h}$ de chaque rang harmonique, définie par l'équation 8 (SORTIE 2a de la Figure 1), à l'aide d'un équivalent numérique d'un filtre passe-bas du premier ordre ayant une constante de temps de 1,5 s, tel qu'illustré à la Figure 5.

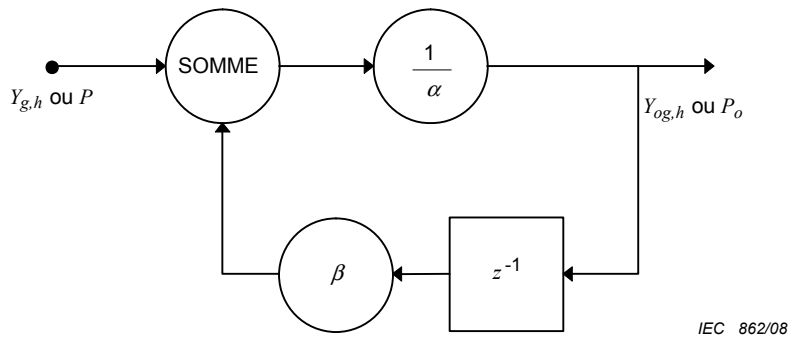


Figure 5 – Réalisation d'un filtre passe-bas numérique: z^{-1} désigne un retard égal à une largeur de fenêtre, α et β sont les coefficients du filtre (voir les valeurs dans le Tableau 2)

Tableau 2 – Coefficients du filtre de lissage en fonction de la largeur de fenêtre

Fréquence	Nombre de cycles N dans la fenêtre	Fréquence d'échantillonnage (du filtre passe-bas numérique) ms	α	β
50	10	$\approx 1/200$	8,012	7,012
60	12	$\approx 1/200$	8,012	7,012
50	16	$\approx 1/320$	5,206	4,206
60	16	$\approx 1/267$	6,14	5,14

Pour la composante fondamentale $Y_{H,1}$ (si nécessaire, comme par exemple pour la classe C de la CEI 61000-3-2 et éventuellement pour les facteurs de distorsion), le même lissage de la valeur efficace $Y_{H,1}$ provenant de la SORTIE 1 doit être réalisé.

Si les limites d'émission comprennent les facteurs de distorsion THD_Y ou $PWHD_{H,Y}$ définis à partir des composantes harmoniques $Y_{H,h}$ conformément au 3.3, ils doivent être calculés à l'aide des valeurs de la SORTIE 1.

Si les limites d'émission comprennent les facteurs de distorsion $THDG_Y$, $THDS_Y$, $PWHD_{g,Y}$ ou $PWHD_{sg,Y}$ définis à partir des valeurs groupées $Y_{g,h}$ ou $Y_{sg,h}$ conformément au 3.3, ils doivent être calculés à l'aide des valeurs de la SORTIE 2a.

Si un lissage est exigé pour les facteurs de distorsion ci-dessus dans les normes applicables, un équivalent numérique d'un filtre passe-bas du premier ordre ayant une constante de temps de 1,5 s, comme indiqué à la Figure 5 avec les coefficients du Tableau 2, doit être utilisé.

Pour la puissance active P et le facteur de puissance (si nécessaire, comme par exemple pour les classes C et D de la CEI 61000-3-2), un lissage semblable du module de la valeur de la puissance active et de la valeur du facteur de puissance doit être réalisé.

NOTE Un appareil de mesure externe de la puissance peut être utilisé à condition que la puissance P soit mesurée avec une résolution temporelle ≈ 200 ms. De ce fait, une entrée pour un appareil de mesure externe de la puissance peut être prévue au niveau du bloc de lissage, voir la Figure 1.

Pour se coordonner avec les campagnes de mesure de tensions harmoniques (voir la CEI 61000-4-30), il est fortement recommandé de fournir un type supplémentaire de lissage, où la sortie est calculée à partir des composantes définies par l'équation 8 comme une valeur efficace sur 15 fenêtres temporelles contiguës, mise à jour soit à chaque fenêtre temporelle (environ toutes les 200 ms), soit toutes les 15 fenêtres temporelles (environ toutes les 3 s).

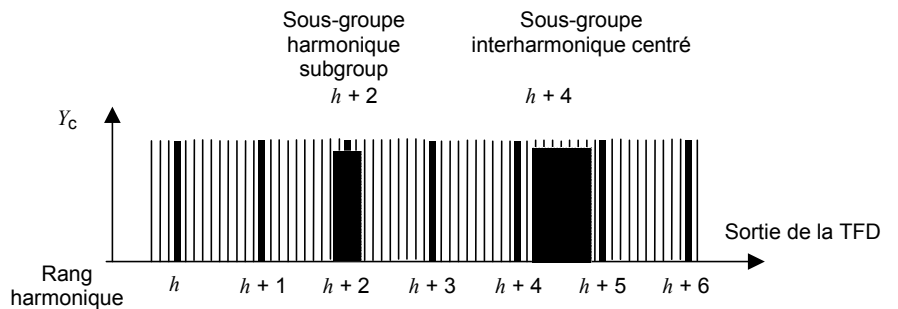
5.5.2 Respect des limites d'émission

L'évaluation du respect des limites d'émission doit être réalisée par un traitement statistique des données conformément aux conditions indiquées dans les normes appropriées, comme la CEI 61000-3-2, la CEI 61000-3-6, la CEI 61000-3-12 et la CEI 61000-4-30.

5.6 Évaluation des sous-groupes harmoniques de tension

L'analyse par transformée de Fourier suppose que le signal est stationnaire. Toutefois, l'amplitude de la tension sur le réseau peut varier, diffusant ainsi l'énergie de composantes harmoniques vers des fréquences de composantes spectrales adjacentes. Pour une évaluation plus précise de la tension, les composantes $U_{C,k}$, en sortie de la TFD tous les 5 Hz, doivent être regroupées conformément à la Figure 6 et à l'équation 9:

$$Y_{sg,h}^2 = \sum_{k=-1}^1 Y_{C,(N \times h) + k}^2 \tag{9}$$



IEC 863/08

Figure 6 – Illustration d'un sous-groupe harmonique et d'un sous-groupe interharmonique centré (représentés ici pour une alimentation à 50 Hz)

NOTE D'autres procédures de lissage pour évaluer les sous-groupes en tension sont spécifiées dans la CEI 61000-4-30.

6 Autres principes d'analyse

Le fait que le présent document spécifie un instrument utilisant une TFD comme l'instrument de référence n'exclut pas l'application d'autres principes d'analyse, tels que les batteries de filtres (numériques) ou même l'analyse par ondelettes.

Par ailleurs, et en particulier pour les instruments de coût réduit, on peut envisager une fenêtre temporelle plus courte, ne durant éventuellement qu'une seule période. Cependant, il convient de ne pas utiliser une telle instrumentation pour évaluer la conformité des signaux non stationnaires aux limites d'émissions, car de tels signaux ne peuvent pas être évalués de cette manière.

Les caractéristiques techniques des instruments reposant sur un autre principe d'analyse doivent mentionner la plage d'incertitude causée par tous les facteurs d'influence, y compris la caractéristique non stationnaire du signal, le phénomène de distortion de repliement et la perte de synchronisation. L'incertitude doit être telle que les prescriptions de l'article 5 soient respectées.

7 Période de transition

L'emploi de la méthode de regroupement, notamment pour les charges fluctuantes, est recommandé, mais pendant une période transitoire, l'utilisation d'instruments de mesure existants basés sur les prescriptions énoncées dans la CEI 61000-4-7 (1991)¹ continue d'être autorisée. Toutefois, les mesures effectuées avec de tels instruments doivent comporter l'indication suivante dans le rapport d'essais: "Instrumentation de mesure conforme à la CEI 61000-4-7, 1991".

NOTE Une période transitoire est nécessaire, parce que des modifications de la CEI 61000-3-2 et de la CEI 61000-3-12 sont nécessaires pour un certain nombre d'appareils (par exemple ceux qui utilisent des commandes symétriques par trains d'alternances) avant d'appliquer la méthode de regroupement telle qu'elle est expliquée en 5.5.1.

Pour les mesures effectuées à l'aide d'instruments utilisant des fenêtres de 16 cycles conformément à la CEI 61000-4-7, 1991, la procédure de lissage (Sortie 2b de la figure 1) doit être modifiée conformément au tableau 2. Le filtre doit être réalisé comme indiqué à la figure 5.

8 Généralités

Le fabricant doit spécifier les conditions de fonctionnement assignées et éventuellement l'amplitude de l'erreur introduite par les changements concernant

- la température;
- l'humidité;
- la tension d'alimentation de l'instrument et les perturbations série associées;
- la tension perturbatrice en mode commun entre la connexion à la terre de l'instrument, ses circuits d'entrée et la tension d'alimentation auxiliaire;
- les décharges électrostatiques;
- les champs électromagnétiques rayonnés.

NOTE Lors de l'application de la CEI 61010-1 en ce qui concerne les prescriptions de sécurité et d'isolation, il convient de prendre en compte que les circuits d'entrée (de tension aussi bien que de courant) peuvent être raccordés directement aux tensions d'alimentation du secteur.

¹ CEI 61000-4-7:1991, 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.

Annexe A (informative)

Mesure des interharmoniques

Les composantes spectrales comprises entre deux fréquences harmoniques consécutives résultent d'un signal contenant des composantes interharmoniques. Les composantes interharmoniques proviennent principalement de deux sources:

- les variations de l'amplitude et/ou de la phase de la composante fondamentale et/ou des composantes harmoniques, par exemple les commandes d'onduleur;
- les circuits à électronique de puissance avec des fréquences de commutation non synchronisées sur la fréquence de l'alimentation électrique, par exemple les alimentations alternatif-continu et les correcteurs du facteur de puissance.

Les effets possibles sont par exemple:

- du bruit dans les amplificateurs audio;
- des couples additionnels dans les moteurs et les génératrices;
- des perturbations de la détection du passage par zéro, par exemple dans les gradateurs;
- du bruit supplémentaire dans les bobines inductives (magnétostriction);
- le blocage ou le fonctionnement intempestif des récepteurs de télécommande centralisée.

Le montage de mesure est basé sur la description générale fournie en 5.4.

Généralement, les composantes spectrales associées aux composantes interharmoniques varient non seulement en amplitude mais aussi en fréquence. Un regroupement des composantes spectrales comprises dans l'intervalle entre deux composantes harmoniques consécutives forme un groupe interharmonique. Ce regroupement fournit une valeur globale pour les composantes spectrales situées entre deux harmoniques discrets, qui inclut les effets des fluctuations des composantes harmoniques. L'équation A.1, dépendant de la fréquence de l'alimentation, permet de calculer la valeur du groupe interharmonique:

$$Y_{ig,h}^2 = \sum_{k=1}^{N-1} Y_{C,(N \times h)+k}^2 \quad (\text{A.1})$$

NOTE Dans ce contexte, ig,h est le groupe interharmonique de rang h (voir la Figure 4 et le 3.4.3). Pour les besoins de la présente norme, la valeur efficace du groupe interharmonique entre les rangs harmoniques h et $h + 1$ est désignée par $Y_{ig,h}$, par exemple, le groupe entre $h = 5$ et $h=6$ est désigné par $Y_{ig,5}$.

Les effets des fluctuations des amplitudes et des phases des harmoniques sont en partie réduits en excluant de l'équation A.1 les composantes directement adjacentes aux fréquences harmoniques. Aussi, pour déterminer les valeurs efficaces $Y_{isg,h}$ des sous-groupes interharmoniques centrés, les composantes, à savoir les données de sortie de la TFD en SORTIE 1 de la Figure 1, sont regroupées comme suit (voir 3.4.4):

$$Y_{isg,h}^2 = \sum_{k=2}^{N-2} Y_{C,(N \times h)+k}^2 \quad (\text{A.2})$$

Dans cette équation, $Y_{C,(N \times h)+k}$ représente les valeurs efficaces des composantes spectrales correspondantes obtenues par la TFD qui excèdent la fréquence de l'harmonique de rang h , et $Y_{isg,h}$ est la valeur efficace du sous-groupe interharmonique centré de rang h . Par exemple, le sous-groupe centré entre $h = 5$ et $h = 6$ est désigné par $Y_{isg,5}$. Voir la figure 6 et le paragraphe 3.4.4.

NOTE 1 Étant donné que les harmoniques non stationnaires provoquent des bandes latérales proches des harmoniques, les composantes spectrales (pour $k = 1$ et 9 ou 11) directement adjacentes aux harmoniques considérés peuvent représenter des variations d'amplitude ou de phase. Elles sont, par conséquent, exclues du groupe interharmonique pour donner le sous-groupe interharmonique centré. Voir également la Figure 6.

NOTE 2 Si seuls les harmoniques sont évalués, le procédé de regroupement de l'équation 8 s'applique. Si les harmoniques et les interharmoniques sont évalués séparément (comme pour l'évaluation de matériels susceptibles de produire des interharmoniques), les composantes spectrales (pour $k = -1$ et $+1$) directement adjacentes à un harmonique sont regroupées ensemble avec cet harmonique pour constituer le sous-groupe harmonique de rang h , alors que les autres composantes spectrales (pour $k = 2$ à 8 ou 10) forment le sous-groupe interharmonique centré de rang h conformément à l'équation A.2. Voir également la Figure 6.

Le lissage des groupes interharmoniques et des sous-groupes interharmoniques centrés est réalisé de la même façon que celle utilisée pour la mesure des harmoniques, voir 5.5.1. Un lissage des composantes interharmoniques individuelles n'est pas recommandé.

NOTE D'autres procédures de lissage sont décrites dans la CEI 61000-4-30.

Les exigences de précision sont identiques à celles données pour la mesure des harmoniques, voir le Tableau 1.

Annexe B (informative)

Mesures au-delà de la plage de fréquence harmonique jusqu'à 9 kHz

B.1 Généralités

Les composantes dans les signaux (courants ou tensions) ayant des fréquences supérieures à l'harmonique 40 (environ 2 kHz) mais inférieures à la limite supérieure de la basse fréquence (9 kHz) sont dues à plusieurs phénomènes:

- la commande par modulation de largeur d'impulsions des alimentations de puissance côté secteur (synchrone ou asynchrone avec la fréquence de l'alimentation secteur), par exemple, telle qu'elle est utilisée dans les systèmes de correction (active) du facteur de puissance;
- les émissions, telles que la transmission de signaux sur le réseau;
- alimentation à partir du côté charge ou côté générateur de convertisseurs de puissance vers le côté réseau d'alimentation;
- les oscillations dues aux encoches de commutation.

Ces composantes peuvent être de type mono-fréquence ou à large bande.

La mesure de ces composantes ne requiert pas une résolution élevée dans le domaine fréquentiel. Au contraire, il est d'usage de regrouper l'énergie du signal à analyser dans des bandes de fréquence prédéfinies.

Pour l'analyse fréquentielle, la méthode de la TFD en lien avec les méthodes décrites à l'article 4 est recommandée.

Etant donné que l'un des objectifs est l'analyse d'émissions dans la plage 2 kHz à 9 kHz, généralement avec de faibles amplitudes, une impédance de réseau adaptée peut être utilisée (voir la Figure B.3) pour filtrer les harmoniques de rangs inférieurs prédominants. Etant donné l'utilisation de ce filtre, la tension d'essai de l'EST pour ces mesures dans la plage 2 kHz à 9 kHz peut être dérivée directement du réseau à basse tension, à condition que la tension soit stable et à l'intérieur des niveaux de tolérance exigés et qu'elle soit à la fréquence applicable. Autrement, une source d'alimentation adaptée peut être utilisée dans les cas où la fréquence appropriée, ou une tension correcte, n'est pas disponible à partir du réseau public à basse tension.

Dans certains cas où l'instrument de mesure possède une combinaison de filtres internes et une dynamique suffisamment importante, l'analyse dans la plage 2 kHz à 9 kHz pourrait également être possible sans utiliser le filtre ci-dessus.

B.2 Instrument de base

Pour les mesures dans cette plage de fréquence plus élevée, une transformée de Fourier discrète peut être effectuée conformément à 4.4.1, modifiée par les informations contenues dans la présente Annexe.

Il convient que la plage en fréquence des capteurs de tension et de courant externes soit adaptée pour des mesures dans la plage comprise entre 2 kHz et 9 kHz.

Etant donné le faible niveau des signaux à mesurer, un filtre passe-bande peut diminuer considérablement l'incertitude de la mesure en atténuant les amplitudes du fondamental et des composantes supérieures à 9 kHz. Il convient que l'atténuation pour la fréquence fondamentale dépasse 560 fois (55 dB).

NOTE 1 Par rapport à l'amplitude du courant ou de la tension fondamental, on s'attend à ce que les composantes à mesurer soient dans la plage comprise entre 2×10^{-5} et 5×10^{-2} .

Il convient de choisir la fréquence d'échantillonnage conformément aux règles établies relatives à l'analyse des signaux, afin de pouvoir mesurer les composantes en fréquence jusqu'à 9 kHz inclus. Il convient d'utiliser une fenêtre rectangulaire pour l'acquisition des données ayant une largeur de 200 ms, correspondant à environ 10 (12) périodes du fondamental des réseaux à 50 Hz (60 Hz). Par conséquent, l'intervalle de fréquence entre deux composantes consécutives mesurées $Y_{C,f}$ est de 5 Hz.

NOTE 2 Il n'y a pas d'exigence pour que la fréquence d'échantillonnage soit synchronisée avec la fréquence de l'alimentation.

La valeur efficace de la composante à la fréquence f est $Y_{C,f}$, par exemple $Y_{C,3160}$ est la valeur efficace de la composante à 3 160 Hz.

Pour les circuits d'entrée de courant et de tension, il convient d'appliquer les exigences du 5.1 et du 5.2 respectivement.

B.3 Regroupement

Il convient de regrouper la sortie brute de la TFD (SORTIE 1 de la Figure 1) en bandes de 200 Hz (voir la Figure B.1), en commençant par la première bande centrée au-dessus de la plage harmonique. Il convient donc que la fréquence centrale du premier groupe soit égale à 2,1 kHz pour les réseaux à 50 Hz et à 2,5 kHz pour les réseaux à 60 Hz. La sortie $Y_{B,b}$ de chaque bande correspond à la valeur efficace suivante:

$$Y_{B,b} = \sqrt{\sum_{f=b-95\text{ Hz}}^{b+100\text{ Hz}} Y_{C,f}^2} \quad (\text{B.1})$$

NOTE 1 Le regroupement sur 200 Hz a été choisi de manière à ce qu'il soit en cohérence avec la largeur de bande utilisée dans la CISPR 16-1-2 pour les fréquences supérieures à 9 kHz.

NOTE 2 La fréquence centrale b , par exemple 2 100 Hz, 2 300 Hz, 2 500 Hz désigne la bande. La fréquence centrale la plus élevée est 8 900 Hz, voir la Figure B.1.

NOTE 3 Pour les réseaux électriques à 60 Hz, les composantes au-dessus de la plage harmonique sont celles ayant une fréquence supérieure à 2 400 Hz.

NOTE 4 Lorsque le rang harmonique 50 représente la fin de la plage harmonique, l'équation B.1 est valable pour $b \geq 2 500$ Hz pour les réseaux électriques à 50 Hz et $b \geq 3 100$ Hz pour les réseaux électriques à 60 Hz.

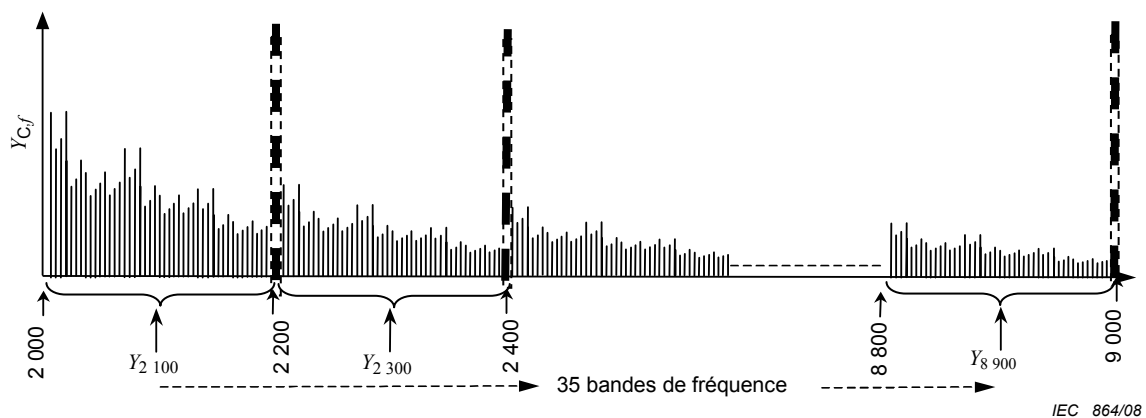


Figure B.1 – Illustration des bandes de fréquence pour les mesures dans la plage s'étendant du rang harmonique 40 pour les réseaux électriques à 50 Hz jusqu'à 9 kHz

B.4 Montage de mesure pour l'évaluation des émissions

Afin d'améliorer la répétabilité des résultats de mesure pour l'évaluation des émissions, l'impédance du côté alimentation nécessite d'être bien définie. Par conséquent, il convient d'insérer un réseau fictif (AMN *Artificial Mains Network*), qui normalise les caractéristiques de l'impédance sur la plage 2 kHz à 9 kHz, entre les bornes de l'alimentation et les bornes de l'EST, voir le montage de mesure de la Figure B.2.

NOTE L'approche utilisée dans la CISPR 16-1-2 a été adaptée pour les fréquences inférieures à 9 kHz.

Le circuit interne du réseau fictif (pour une application en monophasé) est illustré à la Figure B.3.

Pour les mesures d'émissions, il convient de mesurer le(s) courant(s) sur le(s) conducteur(s) de phase entre le réseau fictif et l'EST, par exemple au point B de la Figure B.3.

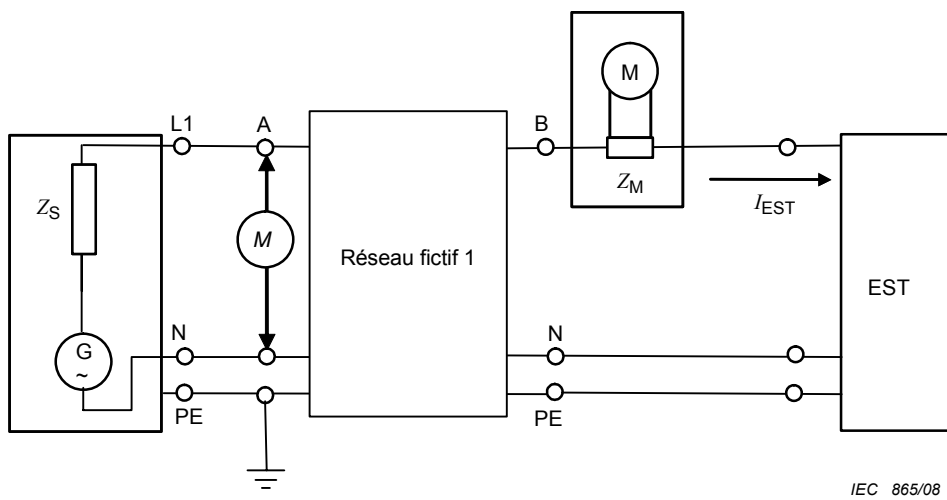


Figure B.2a – Montage de mesure en monophasé

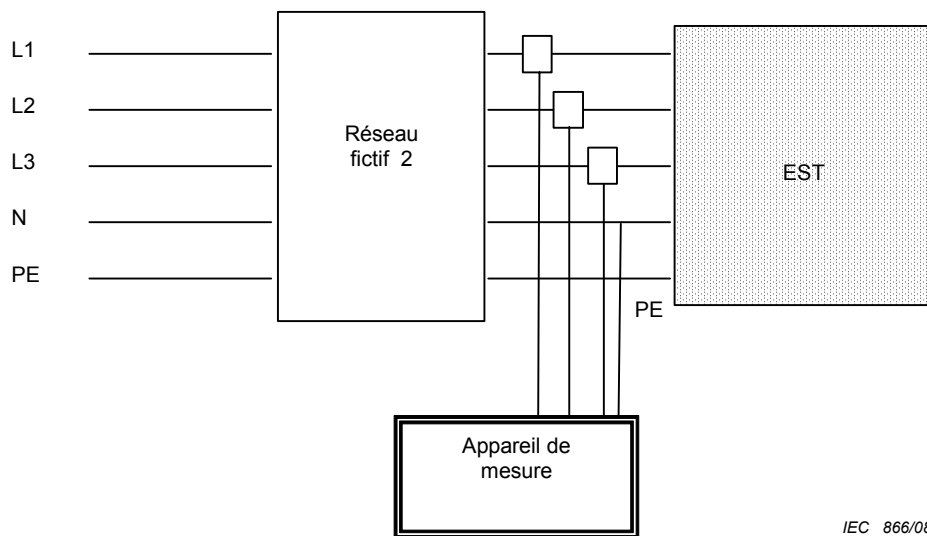


Figure B.2b – V montage de mesure en triphasé

Figure B.2 – Montage général de mesure

Le réseau fictif de type 2 est constitué de 3 réseaux fictifs de type 1, en raccordant ensemble tous les conducteurs neutres.

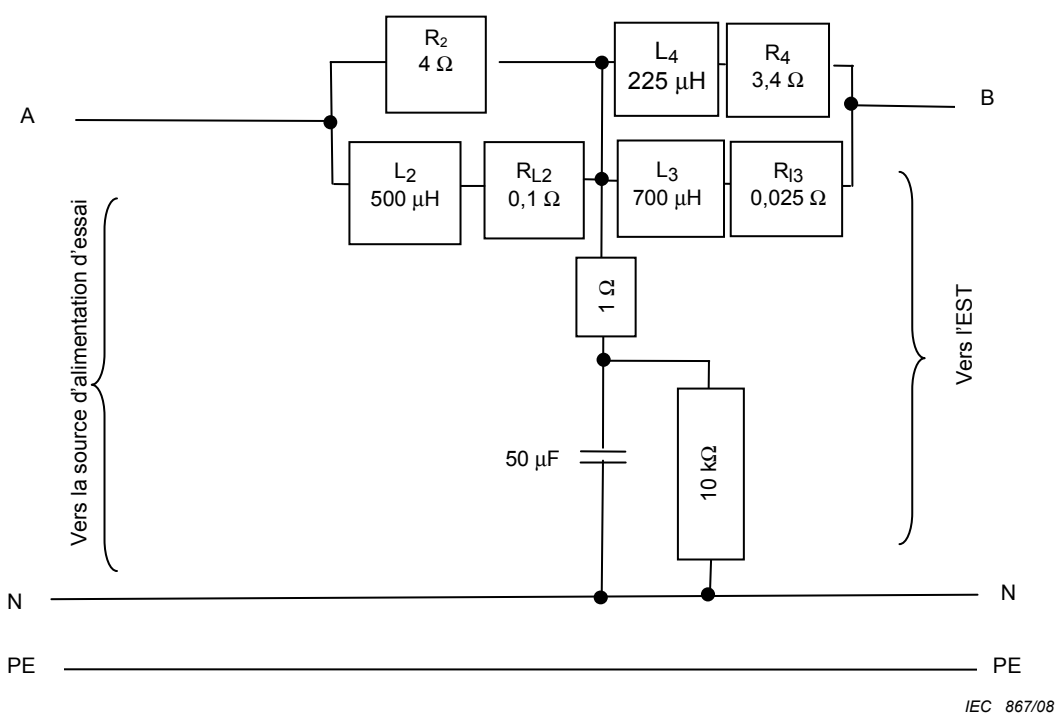


Figure B.3 – Réseau fictif pour un courant inférieur ou égal à 16 A

NOTE Si une source d'alimentation alternative est utilisée, il convient que son inductance et sa résistance ne dépassent pas 160 μH et 0,1 Ω .

B.5 Exigences de performance

L'incertitude de l'ensemble de la mesure (appareil de mesure y compris le shunt ou le transformateur de courant) ne doit pas dépasser $\pm 10\%$ du courant mesuré lors d'essais avec un signal mono-fréquence. Le fabricant de l'appareil doit spécifier la plage de mesure sur laquelle cette incertitude de $\pm 10\%$ s'applique.

Il convient que l'incertitude totale de la mesure, y compris celle apportée par le réseau fictif, ne dépasse pas $\pm 15\%$ de la valeur de groupe applicable $Y_{B,b}$.

NOTE Il convient que la source d'alimentation remplisse les exigences de fonctionnement de l'EST. A condition que la fréquence et la tension applicables, et que la puissance assignée appropriée soient disponibles, la tension du réseau d'alimentation publique basse tension peut être utilisée en tant que source de tension d'essai. Autrement, une source d'alimentation adaptée peut être utilisée.

Si un shunt de courant est utilisé au point B, il convient qu'il ait une valeur inférieure ou égale à 0,02 Ω .

Il convient que le réseau fictif présente à l'EST une caractéristique d'impédance mesurée entre les points B et N, avec le point A connecté directement au point N, égale à $\pm 5\%$ près à la caractéristique représentée à la Figure B.4 dans la plage 2 kHz à 9 kHz. Il convient donc que les tolérances des composants soient choisies de manière à ne pas dépasser cette tolérance lorsqu'ils sont soumis au courant de l'EST, à la température et aux fréquences dans les conditions de fonctionnement. Il convient de concevoir l'implantation physique, l'emballage, et le contrôle de la température du réseau fictif en gardant à l'esprit ces exigences de tolérance.

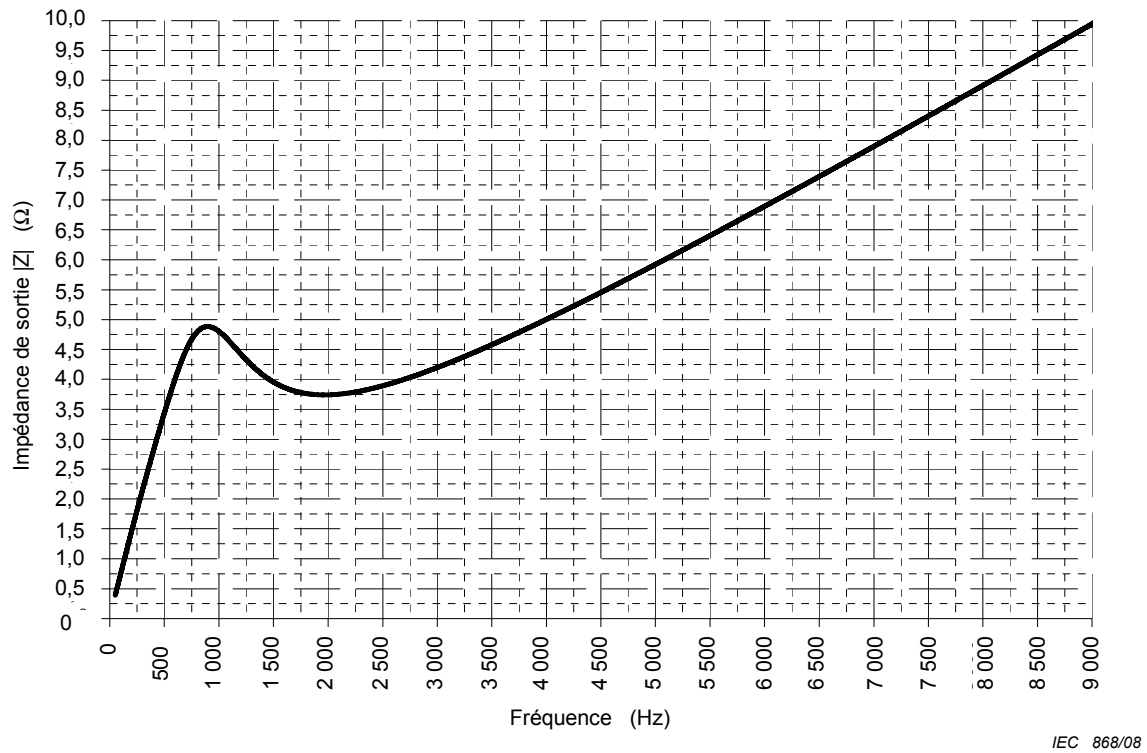


Figure B.4 – Impédance du réseau fictif vue par l'EST

A 2 050 Hz et 2 450 Hz, l'impédance de sortie est respectivement égale à 3,745 051 et à 3,868 689. L'impédance de sortie pour les fréquences f supérieures à 3 kHz est obtenue au moyen de l'équation suivante.

$$|Z| = \sqrt{8,819 + 1,23 \times 10^{-7} \times f^2 \ln(f)}$$

Annexe C (informative)

Réflexions d'ordre technique pour une méthode de regroupement

Les méthodes de mesure définies dans la présente norme sont le produit de réflexions prudentes associées à une analyse contradictoire des objectifs en jeu (par exemple, largeur de bande de mesure et résolution de fréquence). Dans certains cas, le besoin de définir une mesure pratique se traduit davantage par des compromis que par des résultats de la plus haute précision dans la caractérisation du signal en question. La présente annexe propose un certain nombre d'éléments pour permettre de répondre aux questions particulièrement difficiles.

NOTE Dans la présente norme, les modules de tension et de courant sont, sauf mention contraire, des valeurs efficaces.

C.1 Équivalence de puissance des représentations des signaux dans les domaines du temps et de la fréquence

La relation de Parseval, connue également comme le Théorème de l'énergie de Rayleigh, définit l'équivalence entre la puissance du signal (ou énergie) exprimée dans le domaine du temps, et la puissance du signal (ou énergie) exprimée dans le domaine de la fréquence.

$$\int_{-\infty}^{+\infty} [g(t)]^2 dt = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} |G(j\omega)|^2 d\omega \quad (C1)$$

où

$g(t)$ est une fonction temporelle;

$G(j\omega)$ est la transformée de Fourier complexe de la fonction; et

$$\omega = 2\pi f.$$

NOTE Puisque la puissance est proportionnelle au carré d'une tension ou d'un courant, le signal quadratique est compris comme étant la «puissance» du signal. Par exemple, si $g(t)$ est la fonction temporelle d'une tension, la dimension physique de la partie gauche de l'équation (temps) sera $V^2 \text{ s}$ («énergie»). La transformée de Fourier présente la densité spectrale de la tension et, dans cet exemple, $G(j\omega)$ aura la dimension V/Hz ou $V \text{ s}$, c'est-à-dire que la partie droite de l'équation donne également la dimension $V^2 \text{ s}$ («énergie»).

Si la fonction n'est pas périodique, son spectre est continu, mais si elle est périodique, elle peut être représentée dans une fenêtre temporelle T_w , c'est-à-dire que la répétition infinie de la fenêtre donnerait la fonction totale $g(t)$. La transformée de Fourier de ce signal, maintenant limité dans le temps, n'est plus continue mais consiste en des raies spectrales à une distance de fréquence de $f_w = 1/T_w$. Le produit de la fenêtre T_w et la valeur efficace au carré, G_k^2 , de la raie (complexe) à la fréquence $f = k \times f_w$ représente approximativement l'«énergie» de la densité spectrale continue intégrée entre $f - f_w/2$ et $f + f_w/2$. La somme «énergie» produite par toutes les raies spectrales est équivalente à l'«énergie» de la fonction temporelle dans la fenêtre. Diviser l'«énergie» par la fenêtre T_w donne l'équation (C2):

$$\frac{1}{T_w} \int_{-T_w/2}^{+T_w/2} [g(t)]^2 dt = \sum_{k=-\infty}^{\infty} |G_k|^2 \quad (C2)$$

où

la partie gauche correspond à la «puissance» moyenne de la fonction temporelle dans la fenêtre, et

la partie droite correspond à la «puissance» totale de toutes les raies à l'intérieur du spectre.

Une caractéristique de la transformée de Fourier est que les raies spectrales, à des fréquences négatives, sont des complexes conjuguées aux raies aux mêmes fréquences positives, c'est-à-dire que le spectre de «puissance» est symétrique autour de la fréquence $f = 0$. En repliant la partie négative du spectre au-dessus de la partie positive, l'équation (C2) est simplifiée:

$$\frac{1}{T_w} \int_{-T_w/2}^{+T_w/2} [g(t)]^2 dt = G_0^2 + 2 \sum_{k=1}^{\infty} |G_k|^2 \quad (C3)$$

La définition de l'amplitude c_k des composantes de Fourier selon l'équation (3) de la présente norme est relative à $T_w/2$, non à T_w (sauf c_0 qui est relatif à T_w), c'est-à-dire que $c_k = 2 \times G_k$ ou $C_k = \sqrt{2} \times G_k$. L'équation (C3) peut alors être réécrite:

$$\frac{1}{T_w} \int_{-T_w/2}^{+T_w/2} [g(t)]^2 dt = c_0^2 + \sum_{k=1}^{\infty} |C_k|^2 = \sum_{k=0}^{\infty} |C_k|^2 \quad (C4)$$

Dans la pratique, le nombre de coefficients dans la somme est limité: $k = 1 \dots K$. Si le signal est «limité en bandes» aux fréquences $f_K \leq K \times f_w$, aucune «puissance» n'est associée à des coefficients de rang $k > K$, et elles peuvent être écartées de la somme dans l'équation (C4). La fréquence f_K devrait se trouver bien au-delà de la plage de fréquence de l'instrument.

C.2 Caractéristiques de la réalisation numérique

La présente norme traite de l'instrumentation numérique. Pour satisfaire au théorème de Shannon, le signal temporel sera échantillonné avec une fréquence d'échantillonnage $f_s > 2 \times f_K$ de telle sorte que – en principe – tous les coefficients inférieurs ou égaux à C_K peuvent être calculés. Le nombre d'échantillons dans une fenêtre temporelle est $N = f_s \times T_w$.

Si les conditions sont en deçà de ces conditions idéales, c'est-à-dire que le signal numérisé est réel, périodique et limité en fréquence, et que la fenêtre est synchronisée à la période du signal, l'équation (C4) devient:

$$\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [g(t_i)]^2} = \sqrt{\sum_{k=0}^{N/2} |C_k|^2} \quad (C5)$$

où

$g(t_i)$ représente les valeurs de la fonction temporelle aux points d'échantillonnage; et

$$t_i = i \times T_w/N.$$

L'équation (C5) signifie que le contenu efficace des composantes de fréquence est égal au contenu efficace de la représentation en temps du signal, dans le cas présent une forme échantillonnée et numérisée du signal. La relation de Parseval peut être utilement employée pour vérifier que le spectre de puissance représente avec précision le signal dans le domaine du temps, sous certaines circonstances spécifiques.

Dans les conditions idéales définies ci-dessus, le spectre de puissance calculé par les méthodes définies dans la présente norme donne la puissance moyenne des composantes spectrales présentes dans le signal mesuré pendant une fenêtre temporelle définie. Le spectre de puissance représente exactement la puissance totale du signal, la puissance des composantes de fréquence individuelles et la fréquence de ces composantes. Pour les situations réelles, les conditions idéales existent lorsque toutes les composantes du signal mesuré sont des harmoniques exacts de la fréquence «de base» $f_w = 1/T_w$. En raison de la rigueur des prescriptions définies dans cette norme relativement à la synchronisation, ces conditions presque idéales interviennent par définition pour la composante fondamentale du réseau d'alimentation et pour toutes composantes avec des fréquences qui sont des multiples entiers de la fréquence «de base». Ceci comprend, bien sûr, les harmoniques de la fréquence fondamentale.

NOTE La fréquence «de base» est la réciproque de la largeur de fenêtre. La fréquence «fondamentale» est la réciproque du cycle du réseau.

La largeur de la fenêtre temporelle, $T_w \approx 200$ ms, est définie comme 10 ou 12 cycles fondamentaux respectivement, pour des réseaux à 50 Hz ou 60 Hz, pour les applications futures, et comme 16 cycles (≈ 320 ms ou ≈ 267 ms) pour des instruments conçus pour satisfaire aux prescriptions définies dans la première édition de la CEI 61000-4-7. La distance de fréquence des raies spectrales (fréquence «de base» f_w) est donc, respectivement, de ≈ 5 Hz $\approx 3,125$ Hz ou $\approx 3,75$ Hz. La méthode de regroupement, selon l'équation (8) de la présente norme, permet d'évaluer avec précision la puissance totale. Elle prend en compte toutes les raies spectrales et pas seulement les raies («harmoniques») à des multiples entiers de la fréquence fondamentale. L'équation (8) ne se réfère qu'à des raies avec une distance de ≈ 5 Hz et doit donc être modifiée si d'autres fréquence «de base» sont utilisées. Par application correcte de l'équation (8) – modifiée si nécessaire – dans des conditions idéales, le spectre de puissance représente exactement la puissance moyenne du signal mesuré, comme défini par la relation de Parseval.

Dans des conditions moins idéales, par exemple, lorsqu'un contenu de signal non harmonique, avec des fréquences $f \neq k \times f_w$ (k : nombre entier), est présent, le phénomène de fuite spectrale se produit, causant une perte d'information relative au contenu de fréquence, mais généralement, la puissance du signal reste représenté avec précision. Si l'on prend le cas d'une fenêtre égale à 200 ms, un contenu de signal non harmonique est présent dès qu'il y a des signaux interharmoniques à des fréquences qui ne sont pas des multiples entiers de 5 Hz, par exemple 287 Hz, ou quand une fluctuation d'amplitude se produit dans la fenêtre analysée. Les méthodes de regroupement définies dans la présente norme permettent de garantir la précision de l'évaluation, dans sa majeure partie, de la puissance totale. L'attribution de puissance à un groupe de signaux spécifiques dépend de la nature des signaux concernés.

Plusieurs exemples vont permettre d'illustrer cette question. Les exemples donnés en C.3 illustrent l'effet de la fluctuation d'amplitude de tension et de courant. Les effets interharmoniques sont illustrés en C.4. La composante fondamentale qui prédomine, de loin, dans la pratique, dans les signaux de tension et de courant, sont écartés des exemples afin d'utiliser les chiffres à l'échelle la plus grande, pour une présentation plus claire des raies spectrales intéressantes et de l'effet de regroupement.

C.3 Harmoniques fluctuants

EXEMPLE 1

La figure C.1 illustre le cas de la 5^{ème} tension harmonique fluctuant de 3,536 A à 0,7071 A. L'étape dans la tension apparaît après 21,25 périodes du 5^{ème} harmonique. La tension efficace calculée attendue pour ce cas est 2,367 A. Le 5^{ème} harmonique mesuré (raie unique) donne seulement 1,909 A, c'est-à-dire que négliger les autres raies produit une erreur de 19,3 %. La valeur du sous-groupe harmonique mesurée dans ce cas donne 2,276 A et réduirait déjà l'erreur à 3,84 %, mais le groupe harmonique des raies mesurées donne une valeur de 2,332 A, ce qui correspond à la petite erreur restante de seulement 1,47%.

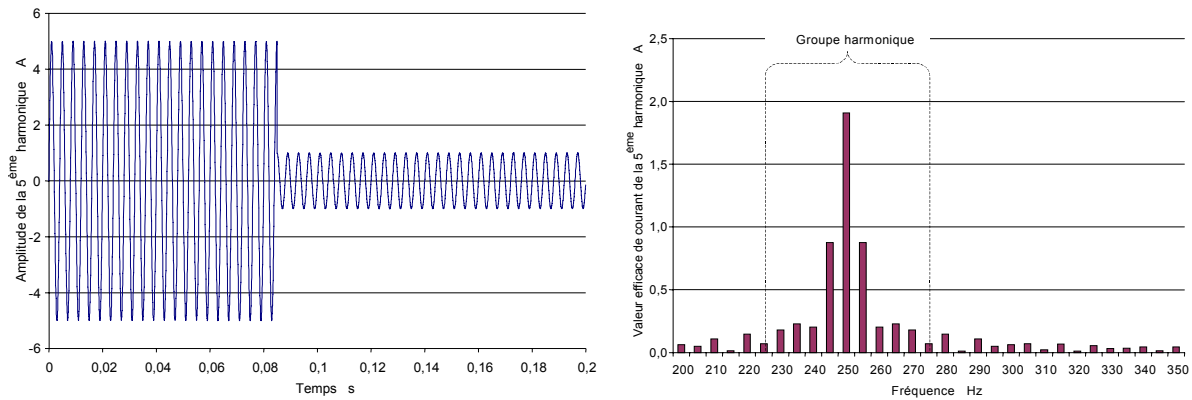


Figure C.1 – Large fluctuation de courant du 5^{ème} harmonique

IEC 1957/02

EXEMPLE 2

Les tensions harmoniques du réseau d'alimentation résultent normalement de la combinaison des courants harmoniques émis produits par plusieurs charges non linéaires. Ces charges ne sont pas généralement fluctuantes avec une corrélation significative. En outre, des charges quasi stationnaires sont également connectées au réseau d'alimentation. Ainsi, les niveaux de tensions harmoniques à fluctuation rapide avec une haute amplitude de fluctuation constituent une exception et se produisent rarement sur le réseau d'alimentation. Par exemple, la figure C.2 montre une 5^{ème} tension efficace harmonique réduite de 13,225 V à 9,775 V. Dans ce cas, la valeur efficace totale attendue est de 11,37 V, mais la raie harmonique unique est seulement de 11,24 V. Les algorithmes proposés dans la présente norme donnent 11,33 V pour le sous-groupe et 11,34 V pour le groupe, ce qui représente, respectivement, un taux d'erreur limité à 0,35 % ou 0,24 %. Ces erreurs sont largement en deçà de l'incertitude de l'instrument lui-même.

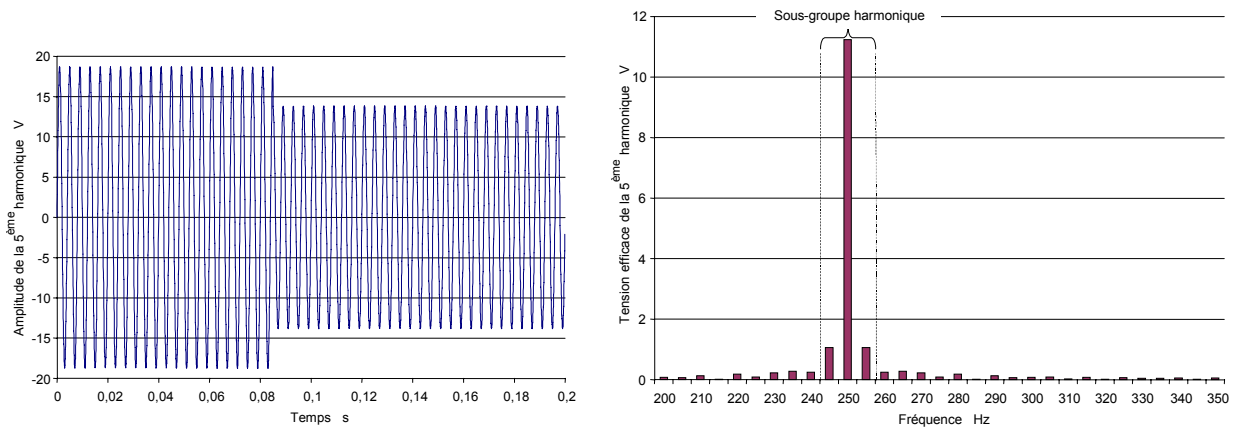


Figure C.2 – Large fluctuation de tension du 5^{ème} harmonique

IEC 1958/02

EXEMPLE 3

Un appareil à micro-onde (parmi d'autres) produit un 3^{ème} courant harmonique, par exemple 1 A, en fonctionnement continu. Sa puissance moyenne est contrôlée par la méthode multi-cycle de passage par zéro avec, par exemple, un taux de répétition de 5 Hz et un cycle de travail de 50 %. La figure C.3 illustre la fonction temporelle du 3^{ème} courant harmonique et le spectre correspondant. Le courant efficace total est de 0,707 A. La valeur efficace de la 3^{ème} raie spectrale harmonique est de 0,5 A, ce qui donne une erreur de 29,3 %. Le sous-groupe harmonique donne, cependant, 0,673 A, et l'erreur n'est que de 4,8 %. La valeur du groupe harmonique est de 0,692 A, ce qui réduit l'erreur à 2,0 %.

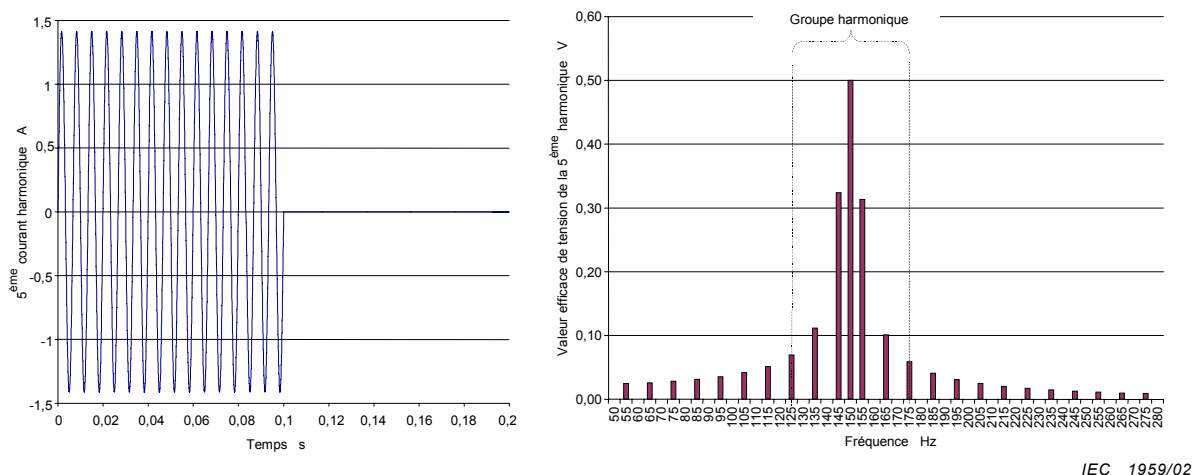


Figure C.3 – Fluctuation du 3^{ème} courant harmonique d'un appareil à micro-onde

Il est évident, à partir de ces exemples, que la procédure de regroupement est tout à fait adaptée pour donner des résultats en parfaite conformité à l'équation de Parseval.

C.4 Interharmoniques

EXEMPLE 1

Des réseaux de communication (à signaux) peuvent également être connectés au réseau d'alimentation. Pour empêcher qu'ils ne soient perturbés par les harmoniques, les fréquences utilisées sont généralement situées entre deux fréquences harmoniques: ce sont des fréquences interharmoniques. Si ce sont des multiples entiers de la fréquence de base f_w et si elles ont une amplitude constante dans la fenêtre temporelle, le spectre affiche alors une raie supplémentaire juste à cette fréquence et un regroupement n'est pas forcément nécessaire. Mais pour transmettre l'information, le signal est modulé. L'effet sur le spectre est semblable aux exemples précédents, la seule différence étant que les raies produites par la modulation sont maintenant centrées sur la fréquence signalante. Le «regroupement interharmonique», selon l'annexe A, réduit l'erreur de la même manière que le regroupement harmonique présenté en C.3.

Dans de nombreux cas, on utilise des fréquences signalantes qui ne sont pas des multiples entiers de f_w . Par exemple, la figure C.4 montre un signal de communication à 178 Hz, avec une amplitude constante de 23 V efficace superposée sur une troisième et une cinquième harmonique de 11,5 V chacune. La transformée de Fourier discrète, qui ne peut résoudre la raie à 178 Hz, étend l'énergie aux raies voisines («perte»). Dans ce cas, le groupe interharmonique de rang 3,5 (voir annexe A) rassemble la majeure partie de l'«énergie» étendue du signal de communication, avec une valeur résultante de 22,51 V, et l'erreur n'est que de 2,15 %.

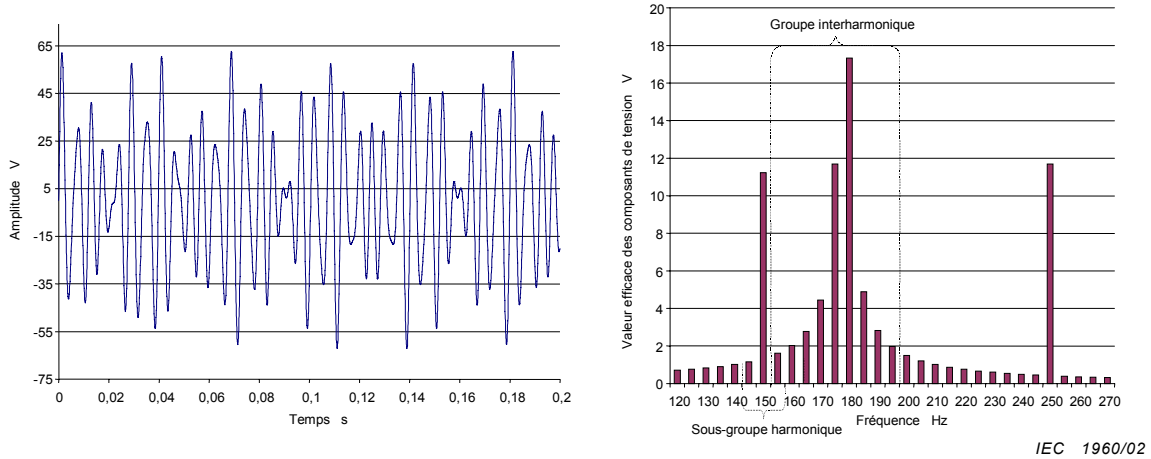


Figure C.4 – Signal de communication de 178 Hz avec 3^{ème} et 5^{ème} harmoniques

NOTE 1 L'effet de «perte» du signal avec un multiple décimal de la fréquence «de base» superpose des vecteurs supplémentaires sur les vecteurs des harmoniques d'origine (voir figure C.7). Les angles de phase entre le vecteur supplémentaire et le vecteur d'origine de la même fréquence augmentent (ou diminuent) d'approximativement la même valeur d'une fenêtre à l'autre. Selon l'angle de phase, le vecteur résultant peut varier entre la différence et la somme des amplitudes du vecteur. Dans l'exemple donné, les amplitudes sont de 11,5 V pour les vecteurs d'origine et ≈1,2 V à 150 Hz ou ≈0,4 V à 250 Hz (voir figure C.4). Les vecteurs résultants peuvent varier entre ≈10,3 V et ≈12,7 V à 150 Hz et entre ≈11,1 V et ≈11,9 V à 250 Hz. La valeur efficace du vecteur résultant évaluée sur plusieurs fenêtres contiguës est égale à la valeur efficace «commune» du vecteur d'origine et du vecteur supplémentaire, dans l'exemple, 11,56 V à 150 Hz et 11,51 V à 250 Hz. La procédure de lissage, appliquée après le regroupement, réduit considérablement la variation et donne une sortie moyenne proche de cette valeur efficace commune.

NOTE 2 L'amplitude du signal de communication sera, dans la pratique, plus petit que dans l'exemple, si bien que l'effet de perte sera réduit de la même manière.

EXEMPLE 2:

Des interharmoniques peuvent également apparaître dans le courant efficace d'émission et, par conséquent, dans la tension efficace de l'alimentation. Elles peuvent apparaître de manière aléatoire entre deux harmoniques contigus. Par exemple, la figure C.5 montre 9,8 V à 287 Hz, 13,2 V pour la 5^{ème} harmonique et 10 V pour la 6^{ème}. L'effet de «perte» apparaît à partir du spectre. Le groupe interharmonique de rang 5 (voir 3.4) donne 9,534 V, et l'erreur restante est de 2,7 %.

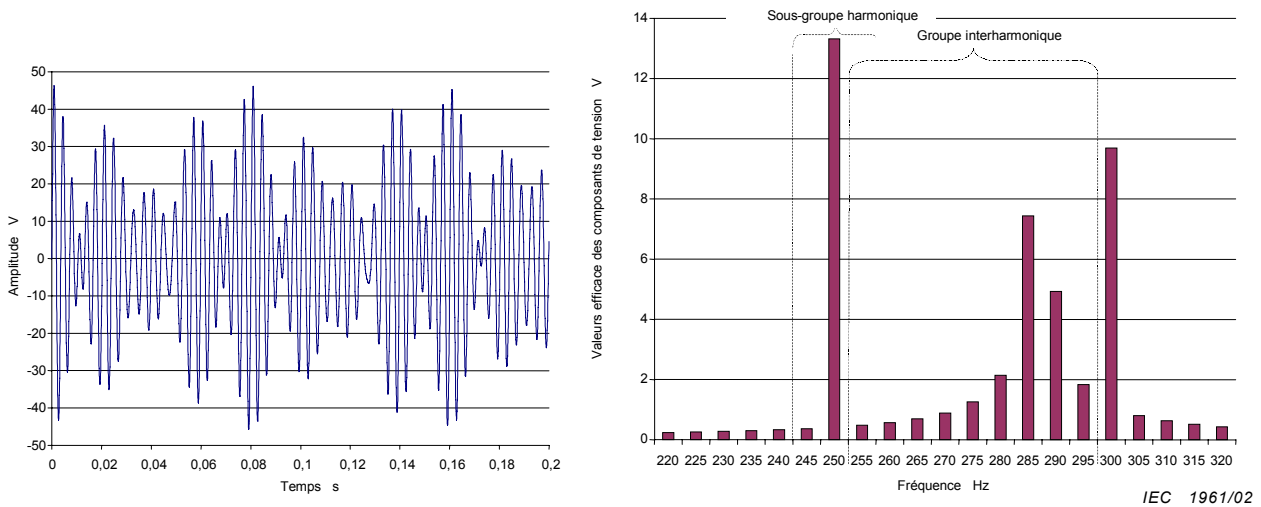


Figure C.5 – Interharmonique à 287 Hz, 5^{ème} et 6^{ème} harmoniques

EXEMPLE 3 –

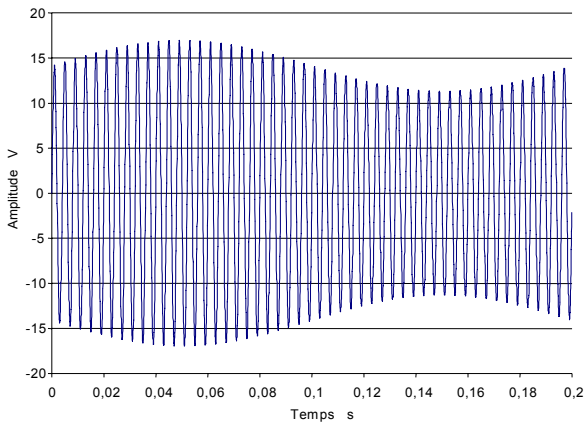
Un moteur électronique avec un moment de torsion variable, par exemple une pompe à piston, produit une 5^{ème} tension harmonique sur le réseau d'alimentation qui fluctue autour de la valeur efficace moyenne de 10 V, avec une modulation sinusoïdale de 20 % et 5 Hz (figure C.6 a). La valeur efficace totale de la fonction temporelle, évaluée à plus de 0,2 s, est 10,10 V. Le spectre contient la raie «porteuse» de 250 Hz avec une valeur efficace de 10 V et deux raies latérales à 245 Hz et 255 Hz avec 1 V chacune (figure C.6 c). L'erreur de la raie unique à 250 Hz est de 0,99%, et aucune erreur ne résulte du sous-groupe harmonique.

Un signal de communication de 9,8 V et 287 Hz peut être utilisé sur le même réseau (figure C.6 b). L'effet de «perte» dans le spectre (figure C.6 d), provient du nombre décimal de 57,4 périodes de ce signal dans la fenêtre temporelle de 200 ms. La valeur efficace du groupe interharmonique est 9,538 V et l'erreur résultante de 2,7 %.

La fluctuation de l'harmonique et le signal de communication sont tous deux superposés sur la tension (figure C.6 e). La valeur efficace totale est 14,07 V. Pour le regroupement des raies spectrales résultantes, il existe différentes options (figure C.6 f). Puisque la présence d'un harmonique à 250 Hz et d'un signal proche de 285 Hz apparaît clairement depuis l'enveloppe du spectre, deux regroupements sont possibles (aucune raie ne peut être comptée plus d'une fois):

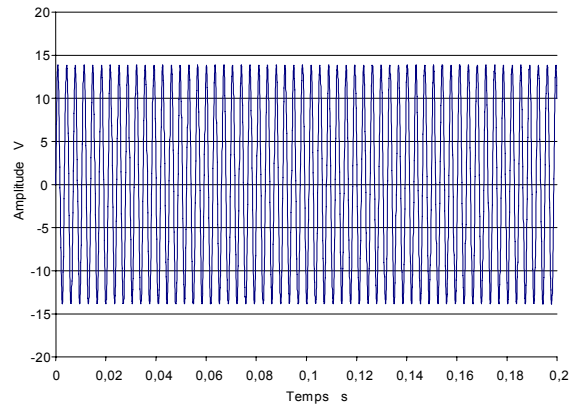
- un groupe interharmonique à 9,36 V (erreur de 4,5 % à 9,8 V) et une raie harmonique unique à 10,16 V (erreur de 1,6 % à 10,0 V) donnant une valeur efficace totale de 13,81 V (erreur de 1,8 % à 14,07 V) ou
- un sous-groupe interharmonique à 9,34 V (erreur de 4,7 % à 9,8 V) et un sous-groupe harmonique à 10,23 V (erreur de 1,29 % à 10,1 V) donnant une valeur efficace totale de 13,85 V (erreur de 1,5 % à 14,07 V).

Le 2^{ème} regroupement correspond mieux à la «physique» puisque les raies à 245 Hz et 255 Hz ne correspondent pas à l'enveloppe de «perte». Ceci apparaît clairement lorsque plusieurs spectres de fenêtres adjacentes sont observés.

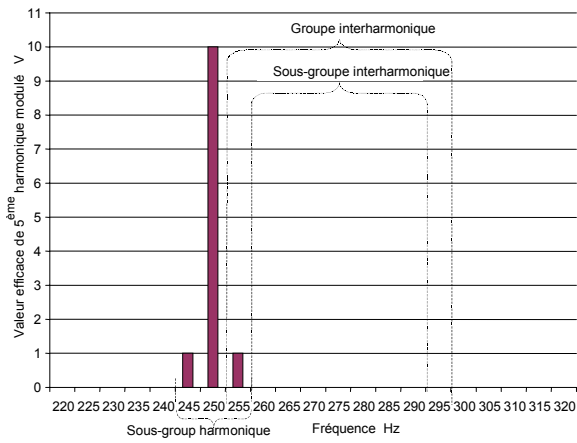


a) 5^{ème} harmonique avec une fluctuation d'amplitude de 20 %

+

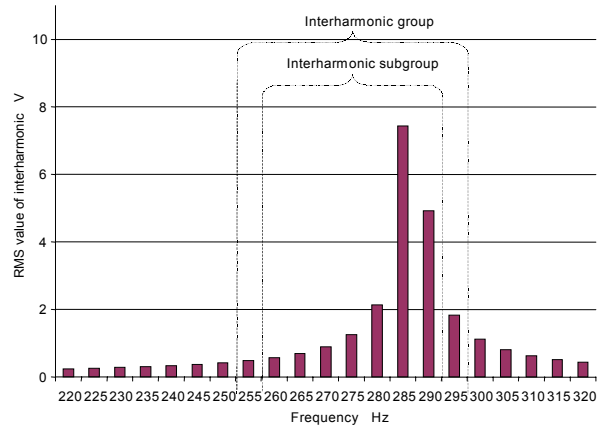


b) Interharmonique à 287 Hz

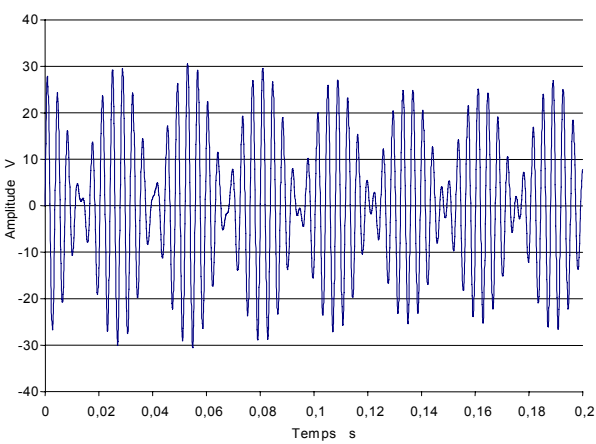


c) Spectre: 5^{ème} harmonique, fluctuation d'amplitude de 20 %

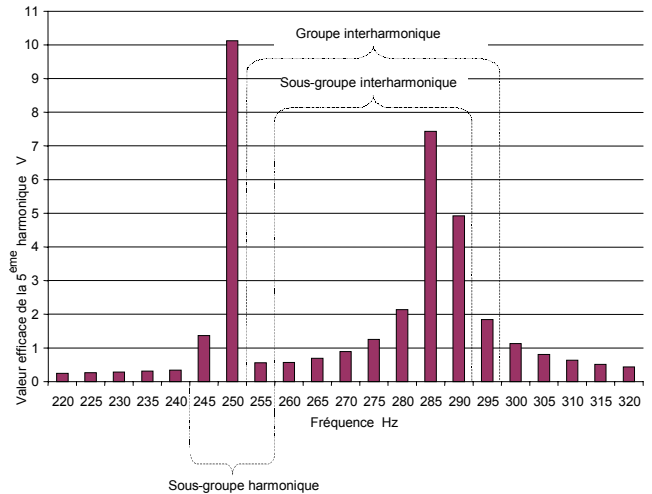
+



d) Spectre: Interharmonique à 287 Hz



e) Somme de l'harmonique et de l'interharmonique



f) Spectre: résultat de la somme des signaux

Figure C.6 – 5^{ème} harmonique modulé et interharmonique à 287 Hz

Ce sont les raies spectrales dues aux bandes latérales autour du 5^{ème} harmonique qui sont le plus affectées par l'effet de perte. Pour un harmonique fluctuant, les vecteurs des composantes à la même distance de la fréquence harmonique, c'est-à-dire 245 Hz et 255 Hz, ont des amplitudes identiques mais des directions opposées. Les amplitudes des vecteurs demeurent constantes pour une profondeur de modulation constante mais leurs angles pivotent étape par étape de fenêtre en fenêtre si la fréquence de modulation n'est pas un multiple entier de la fréquence de base. Les amplitudes des vecteurs résultant de l'interharmonique à 287 Hz demeurent également presque constantes mais leurs angles changent de fenêtre en fenêtre puisque la position de l'interharmonique dans les fenêtres change. Les vecteurs résultant de la combinaison de la modulation et de la perte varient de fenêtre en fenêtre, bien sûr, en angle et en amplitude. La figure C.7 illustre les deux composantes à 5 Hz au-dessus et en deçà du 5^{ème} harmonique, pour la fenêtre temporelle de la figure C.6. Dans ce cas, l'amplitude du vecteur « combiné » à 245 Hz augmente et celle du vecteur à 255 Hz diminue, comparée au vecteur « modulé ». D'autres fenêtres temporelles donneraient d'autres angles pour les vecteurs résultant du signal à 287 Hz et, par conséquent, les amplitudes des vecteurs « combinés » changeraient. La présentation du spectre montre la fluctuation des raies à 245 Hz et 255 Hz, et la moyenne dans le temps approcherait la valeur efficace commune des vecteurs « modulation » et « perte ».

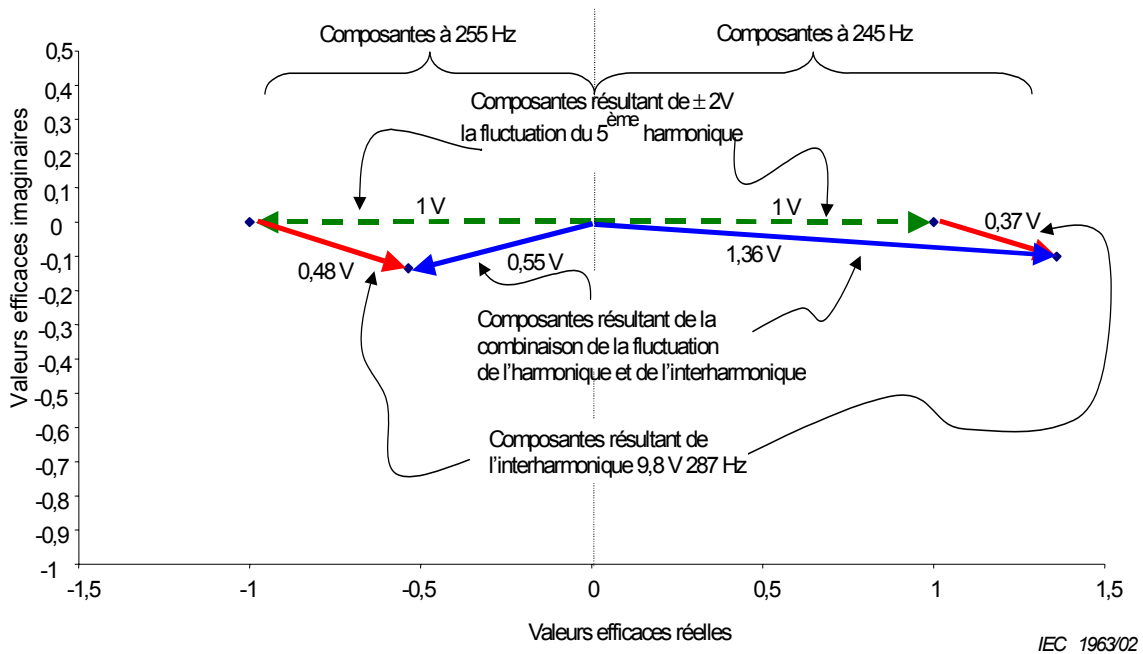


Figure C.7 – Composantes à des fréquences de 245 Hz et 255 Hz

Bibliographie

CEI 61000-3 (toutes les parties), *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 3: Limites*

CEI 61000-3-4:1998, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 3-4: Limites – Limitation des émissions de courants harmoniques dans les réseaux basse tension pour les matériels ayant un courant assigné supérieur à 16 A*

CEI 61000-4-30, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 4-30: Techniques d'essai et de mesure – Méthodes de mesure de la qualité de l'alimentation ²*

CEI 61010-1:2001, *Règles de sécurité pour appareils électriques de mesurage, de régulation et de laboratoire – Première partie: Prescriptions générales*

CISPR 16-1:1999, *Spécifications des méthodes et des appareils de mesure des perturbations radioélectriques et de l'immunité aux perturbations radioélectriques – Partie 1: Appareils de mesure des perturbations radioélectriques et de l'immunité aux perturbations radioélectriques*

² A publier

LICENSED TO MECON LIMITED - RANCHI/BANGALORE.
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

3, rue de Varembé
PO Box 131
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

Tel: + 41 22 919 02 11
Fax: + 41 22 919 03 00
info@iec.ch
www.iec.ch