

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



Transitions, pulses and related waveforms – Terms, definitions and algorithms

Transitions, impulsions et formes d'ondes associées – Termes, définitions et algorithmes

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60469:2013



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2013 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

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

About the IEC

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

About IEC publications

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

Useful links:

IEC publications search - www.iec.ch/searchpub

The advanced search enables you to find IEC publications by a variety of criteria (reference number, text, technical committee,...).

It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

Electropedia - www.electropedia.org

The world's leading online dictionary of electronic and electrical terms containing more than 30 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) on-line.

Customer Service Centre - webstore.iec.ch/csc

If you wish to give us your feedback on this publication or need further assistance, please contact the Customer Service Centre: csc@iec.ch.

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.

Liens utiles:

Recherche de publications CEI - www.iec.ch/searchpub

La recherche avancée vous permet de trouver des publications CEI en utilisant différents critères (numéro de référence, texte, comité d'études,...).

Elle donne aussi des informations sur les projets et les publications remplacées ou retirées.

Just Published CEI - webstore.iec.ch/justpublished

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

Electropedia - www.electropedia.org

Le premier dictionnaire en ligne au monde de termes électroniques et électriques. Il contient plus de 30 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans les langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) en ligne.

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

Si vous désirez nous donner des commentaires sur cette publication ou si vous avez des questions contactez-nous: csc@iec.ch.

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



Transitions, pulses and related waveforms – Terms, definitions and algorithms

Transitions, impulsions et formes d'ondes associées – Termes, définitions et algorithmes

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX

XB

ICS 01.040.17; 17.220.20

ISBN 978-2-83220-747-5

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

CONTENTS

FOREWORD.....	4
INTRODUCTION.....	6
1 Scope.....	7
2 Normative references	7
3 Terms, definitions and symbols	7
3.1 General.....	7
3.2 Terms and definitions	7
3.3 Symbols	25
3.4 Deprecated terms.....	25
4 Measurement and analysis techniques	26
4.1 General.....	26
4.2 Method of waveform measurement	26
4.3 Description of the waveform measurement process	27
4.4 Waveform epoch determination	28
4.4.1 Selection of waveform epoch.....	28
4.4.2 Exclusion of data from analysis	28
5 Analysis algorithms for <i>waveforms</i>	28
5.1 Overview and guidance	28
5.2 Selecting <i>state levels</i>	28
5.2.1 General	28
5.2.2 Data-distribution-based methods - Histograms.....	28
5.2.3 Data-distribution-based methods - Shorth estimator	31
5.2.4 Other methods.....	33
5.2.5 Algorithm switching.....	34
5.3 Determination of other single <i>transition waveform</i> parameters	34
5.3.1 General	34
5.3.2 Algorithm for calculating signed waveform amplitude	34
5.3.3 Algorithm for calculating percent reference levels	35
5.3.4 Algorithms for calculating reference level instants	35
5.3.5 Algorithm for calculating transition duration between x1 % and x2 % reference levels	36
5.3.6 Algorithm for calculating the undershoot and overshoot aberrations of step-like waveforms.....	36
5.3.7 Algorithm for calculating waveform aberrations	38
5.3.8 Algorithm for calculating transition settling duration	39
5.3.9 Algorithm for calculating transition settling error	40
5.4 Analysis of single and repetitive pulse waveforms	40
5.4.1 General	40
5.4.2 Algorithm for calculating pulse duration	40
5.4.3 Algorithm for calculating waveform period.....	40
5.4.4 Algorithm for calculating pulse separation.....	41
5.4.5 Algorithm for calculating duty factor.....	42
5.5 Analysis of compound waveforms.....	42
5.5.1 General	42
5.5.2 Waveform parsing	43
5.5.3 Subepoch classification	45
5.5.4 Waveform reconstitution	45

5.6	Analysis of impulse-like waveforms	46
5.6.1	Algorithm for calculating the impulse amplitude	46
5.6.2	Algorithm for calculating impulse center instant	46
5.7	Analysis of time relationships between different waveforms	46
5.7.1	General	46
5.7.2	Algorithm for calculating delay between different waveforms	46
5.8	Analysis of waveform aberration	46
5.9	Analysis of <i>fluctuation</i> and <i>jitter</i>	46
5.9.1	General	46
5.9.2	Determining standard deviations	47
5.9.3	Measuring fluctuation and jitter of an instrument	50
5.9.4	Measuring <i>fluctuation</i> and <i>jitter</i> of a <i>signal</i> source	53
Annex A (informative)	<i>Waveform</i> examples	54
Bibliography		64
Figure 1	– Single <i>positive-going transition</i>	10
Figure 2	– Single <i>negative-going transition</i>	11
Figure 3	– Single <i>positive pulse waveform</i>	13
Figure 4	– Single <i>negative pulse waveform</i>	13
Figure 5	– <i>Overshoot</i> and <i>undershoot</i> in <i>single positive-going transition</i>	15
Figure 6	– <i>Overshoot</i> and <i>undershoot</i> in a <i>single negative-going transition</i>	15
Figure 7	– <i>Pulse train</i>	17
Figure 8	– <i>Compound waveform</i>	22
Figure 9	– Calculation of <i>waveform aberration</i>	23
Figure 10	– Waveform acquisition and measurement process	27
Figure 11	– Generation of a <i>compound waveform</i>	43
Figure A.1	– <i>Step-like waveform</i>	54
Figure A.2	– Linear <i>transition waveform</i>	55
Figure A.3	– Exponential <i>waveform</i>	56
Figure A.4	– <i>Impulse-like waveform</i>	57
Figure A.5	– Rectangular <i>pulse waveform</i>	58
Figure A.6	– Trapezoidal <i>pulse waveform</i>	59
Figure A.7	– Triangular <i>pulse waveform</i>	60
Figure A.8	– Exponential <i>pulse waveform</i>	61
Figure A.9	– Double <i>pulse waveform</i>	62
Figure A.10	– Bipolar <i>pulse waveform</i>	62
Figure A.11	– Staircase <i>waveform</i>	63
Figure A.12	– <i>Pulse train</i>	63
Table 1	– Comparison of the results from the exact and approximate formulas for computing the standard deviation of the calculated standard deviations	49

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

TRANSITIONS, PULSES AND RELATED WAVEFORMS – TERMS, DEFINITIONS AND ALGORITHMS

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 60469 has been prepared by IEC technical committee 85: Measuring equipment for electrical and electromagnetic quantities.

This first edition of IEC 60469 cancels and replaces the second edition of IEC 60469-1 and the second edition of IEC 60469-2, both published in 1987. It constitutes a technical revision.

This first edition of IEC 60469:

- combines the contents of IEC 60469-1:1987 and IEC 60469-2:1987;
- updates terminology;
- adds algorithms for computing values of pulse parameters;
- adds a newly-developed method for computing state levels.

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

CDV	Report on voting
85/409/CDV	85/433/RVC

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

This publication has been drafted in accordance with the ISO/IEC Directives, Part 2.

All terms defined in Clause 3 are italicized in this document.

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until the stability 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 document using a colour printer.

INTRODUCTION

The purpose of this standard is to facilitate accurate and precise communication concerning parameters of transition, pulse, and related waveforms and to establish the techniques and procedures for measuring them. Because of the broad applicability of electrical pulse technology in the electronics industries (such as computer, telecommunication, and test instrumentation industries), the development of unambiguous definitions for pulse terms and the presentation of methods and/or algorithms for their calculation is important for communication between manufacturers and consumers within the electronics industry. The availability of standard terms, definitions, and methods for their computation helps improve the quality of products and helps the consumer better compare the performance of different products. Improvements to digital waveform recorders (including oscilloscopes) have facilitated the capture, sharing, and processing of waveforms. Frequently these waveform recorders have the ability to process the waveform internally and provide pulse parameters. This process is done automatically and without operator intervention. This standard can be applied in many more scientific and engineering applications than mentioned above, such as optics, cosmology, seismology, medicine, etc., and ranging from single events to highly repetitive signals and from signals with bandwidths less than 1 Hz to those exceeding 1 THz. Consequently, a standard is needed to ensure that the definitions and methods of computation for pulse parameters are consistent.

IEC 60469-1 dealt with terms and definitions for describing waveform parameters and IEC 60469-2 described the waveform measurement process. The purpose of this standard is to combine the contents of IEC 60469-1 and IEC 60469-2, update terminology, correct errors, add algorithms for computing values of pulse parameters, and add a newly-developed method for computing state levels. This standard reflects two major changes compared to IEC 60469-1 and IEC 60469-2, which are the parameter definitions and algorithms. Changes to the definitions included adding new terms and definitions, deleting unused terms and definitions, expanding the list of deprecated terms, and updating and modifying existing definitions. This standard contains definitions for approximately 100 terms commonly used to describe the waveform measurement and analysis process and waveform parameters. Many of the terms in standards IEC 60469-1 and IEC 60469-2 have been deleted entirely or deprecated. Deprecated terms were kept in this standard to provide continuity between this standard and IEC 60469-1 and IEC 60469-2. Terms are deprecated whenever they cannot be defined unambiguously or precisely. Development of a set of agreed-upon terms and definitions presented the greatest difficulty because of the pervasive misuse, misrepresentation, and misunderstanding of terms. Legacy issues for instrumentation manufacturers and terms of common use also had to be addressed. This standard also resulted in the development of algorithms for computing the values of certain waveform parameters in all cases where these algorithms could be useful or instructive to the user of the standard. The purpose of adding these algorithms, which are recommended for use, was to provide industry with a common and communicable reference for these parameters and their computation. Heretofore, this was not available and there existed much debate and misunderstanding between various groups measuring the same parameters. Similarly, this is the reason for including several examples of basic waveforms, with formulae, in Annex A. The algorithms focus on the analysis of two-state, single-transition waveforms. The analysis of compound waveforms (waveforms with two or more states and/or two or more transitions) is accomplished by first decomposing the compound waveform into its constituent two-state single-transition waveforms. A method for performing this decomposition is provided.

Algorithms for the analysis of fluctuation and random jitter of waveforms were also introduced into this standard. These algorithms describe the computation of the mean and standard deviation of jitter and fluctuation. This standard also contains methods to estimate the *accuracy* of the standard deviation and to correct its value.

TRANSITIONS, PULSES AND RELATED WAVEFORMS – TERMS, DEFINITIONS AND ALGORITHMS

1 Scope

This International Standard provides definitions of terms pertaining to transitions, pulses, and related waveforms and provides definitions and descriptions of techniques and procedures for measuring their parameters. The waveforms considered in this standard are those that make a number of transitions and that remain relatively constant in the time intervals between transitions. Signals and their waveforms for which this standard apply include but are not limited to those used in: digital communications, data communications, and computing; studies of transient biological, cosmological, and physical events; and electrical, chemical, and thermal pulses encountered and used in a variety of industrial, commercial, and consumer applications.

This standard does not apply to sinusoidally-varying or other continuously-varying signals and their waveforms.

The object of this standard is to facilitate accurate and precise communication concerning parameters of transitions, pulses, and related waveforms and the techniques and procedures for measuring them.

2 Normative references

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

None.

3 Terms, definitions and symbols

3.1 General

Along with the recommended terms and their definitions, this clause also contains a number of deprecated but widely used terms. These deprecated terms and the reason for their deprecation are given after the definition of the recommended term.

Throughout this standard, time is taken to be an independent variable, symbolized with the letter t . "Waveform value" is used to refer to the dependent variable, symbolized by $y(t)$. For particular waveforms, "waveform value" will be synonymous with terms such as "voltage", "current", "power", or some other quantity. All defined terms are italicized in this document.

3.2 Terms and definitions

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

3.2.1 aberration region

3.2.1.1 post-transition aberration region

interval between a user-specified *instant* and a fixed *instant*, where the fixed *instant* is the first sampling *instant* succeeding the 50 % *reference level instant* for which the corresponding *waveform* value is within the *state boundaries* of the *state* succeeding the 50 % *reference level instant*

Note 1 to entry: The user-specified *instant* occurs after the fixed *instant* and is typically equal to the fixed *instant* plus three times the *transition duration*.

3.2.1.2 pre-transition aberration region

interval between a user-specified *instant* and a fixed *instant*, where the fixed *instant* is the first sampling *instant* preceding the 50 % *reference level instant* for which the corresponding *waveform* value is within the *state boundaries* of the *state* preceding the 50 % *reference level instant*.

Note 1 to entry: The user-specified *instant* occurs before the fixed *instant* and is typically equal to the fixed *instant* minus three times the *transition duration*.

3.2.2 accuracy

closeness of agreement between a measured quantity value and a true quantity value of a measurand

[ISO/IEC Guide 99:2007, 2.13]

3.2.3 amplitude

3.2.3.1 impulse amplitude

difference between the specified *level* corresponding to the *maximum peak (minimum peak)* of the positive (negative) *impulse-like waveform* and the *level* of the *state* preceding the first *transition* of that *impulse-like waveform*

3.2.3.2 waveform amplitude

difference between the *levels* of two different *states* of a *waveform*

Note 1 to entry: Two different definitions for *amplitude* are authorized by this standard because they are both in common use (see 3.2.3.2.1.. In all applications of this standard, the chosen definition shall be clearly identified.:

3.2.3.3 signed waveform amplitude,

level of the *state* succeeding a *transition* minus the *level* of the *state* preceding the same *transition*

3.2.3.4 unsigned waveform amplitude

absolute value of the *signed amplitude*

3.2.4 correction

operation combining the results of the conversion operation with the transfer function information to yield a *waveform* that is a more accurate representation of the *signal*

Note 1 to entry: Correction may be effected by a manual process by an operator, a computational process, or a compensating device or apparatus. Correction shall be performed to an *accuracy* that is consistent with the overall *accuracy* desired in the *waveform measurement process*.

Note 2 to entry: See 4.2 concerning the conversion operation.

3.2.5

cycle

portion of a *periodic waveform* with a *duration* of one *period*

3.2.6

delaying

process in which the time of arrival of a *signal* is caused to occur later in time

3.2.7

differentiation

shaping process in which a *waveform* is converted to a *waveform* whose shape is or approximates the time derivative of that *waveform*

3.2.8

duration

difference between two specified *instants*

3.2.9

duty factor

DEPRECATED: duty cycle

unless otherwise specified, for a *periodic pulse train*, the ratio of the *pulse duration* to the *waveform period*

Note 1 to entry: The term *duty cycle* is a deprecated term because the word *cycle* in this standard refers to the *period* of a *signal*.

3.2.10

fluctuation

variation (dispersion) of a *level* parameter of a set of *repetitive waveforms* with respect to a *reference amplitude* or a *reference level*

Note 1 to entry: Unless otherwise specified by a mathematical adjective, root-mean-square (rms) fluctuation is assumed.

3.2.11

frequency

reciprocal of the *period*

Note 1 to entry: The *period* is the *waveform period*.

[IEC 60050-103:2009, 103-06-02, modified – the note to entry has been replaced.]

3.2.12

glitch

transient that leaves an initial *state*, enters the boundaries of another *state* for a *duration* less than the *duration* for *state occurrence*, and then returns to the initial *state*

3.2.13

instant

particular time value within a *waveform epoch* that, unless otherwise specified, is referenced relative to the *initial instant* of that *waveform epoch*

3.2.13.1

final instant

last sample *instant* in the *waveform*

3.2.13.2

impulse center instant

instant at which a user-specified approximation to the *maximum peak* (*minimum peak*) of the positive (negative) *impulse-like waveform* occurs

3.2.13.3

initial instant

first sample *instant* in the *waveform*

3.2.13.4

pulse center instant

average of the two *instants* used to calculate the pulse *duration*

3.2.13.5

reference level instant

instant at which the *waveform* intersects a specified *reference level*

3.2.13.6

transition occurrence instant

first 50 % *reference level instant*, unless otherwise specified, on the *transition* of a *step-like waveform*

SEE: Figure 1, Figure 2, Figure 3, and Figure 4.

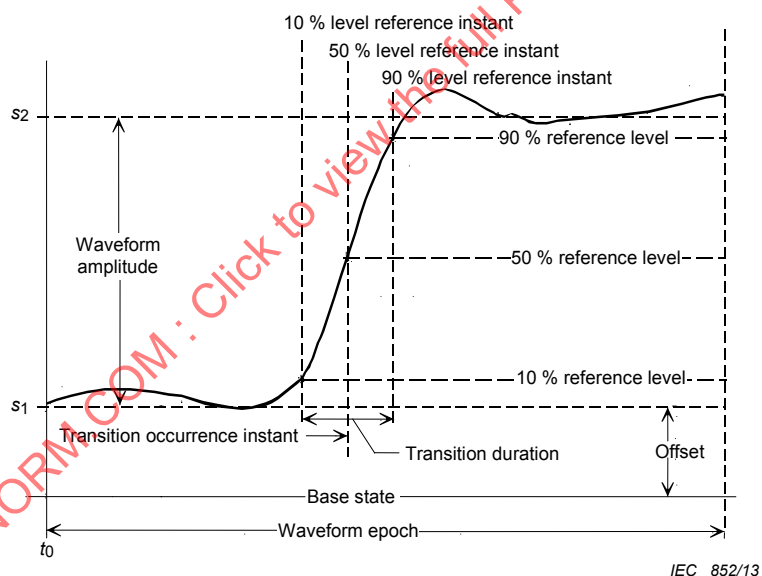


Figure 1 – Single positive-going transition

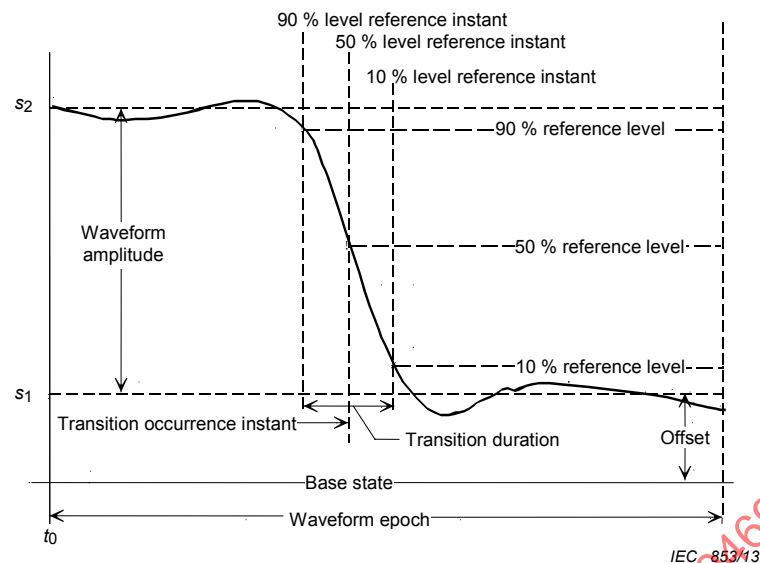


Figure 2 – Single negative-going transition

Note 1 to entry: See 5.3.4 concerning *reference level instants*.

3.2.14 integration

shaping process in which a *waveform* is converted to a *waveform* whose shape is or approximates the time integral of that *waveform*

3.2.15 interval

set of all values of time between a first *instant* and a second *instant*, where the second *instant* is later in time than the first.

Note 1 to entry: These first and second *instants* are called the endpoints of the interval. The endpoints, unless otherwise specified, are assumed to be part of the interval.

3.2.16 jitter

variation (dispersion) of a time parameter between successive *cycles* of a repetitive *signal* and/or between successively acquired *waveforms* of a *repetitive signal* for a given *reference level instant* or *duration*.

Note 1 to entry: Unless otherwise specified by a mathematical adjective, rms *jitter* is assumed.

3.2.16.1 cycle-to- n^{th} -cycle jitter

jitter between specified *reference level instants* of any two specified *cycles* of a *repetitive signal*

3.2.16.2 period jitter

jitter in the period of a repetitive signal or its waveform

3.2.16.3 pulse duration jitter

jitter in the pulse duration of a signal or its waveform

3.2.16.4

trigger jitter

jitter between a *repetitive signal* and the trigger event that is used to generate or measure that *signal*

3.2.17

level

constant value having the same units as y

3.2.17.1

average level

pertaining to the value of the mean of the *waveform level*

If the *waveform* takes on n discrete values y_j , all equally spaced in time, the *average level* is,

$$\bar{y} = \left(\frac{1}{n} \right) \sum_{j=1}^n y_j.$$

If the *waveform* is a continuous function of time $y(t)$,

$$\bar{y} = \left(\frac{1}{t_2 - t_1} \right) \int_{t_1}^{t_2} y(t) dt.$$

Note 1 to entry: The summation or integral extends over the *waveform epoch* for which the *average level* is desired or, if the function is *periodic*, over any integral number of *periodic* repetitions of the function.

3.2.17.2

average absolute level

pertaining to the mean of the absolute *waveform* value

If the *waveform* takes on n discrete values y_j , all equally spaced in time, the *average absolute level* is,

$$|\bar{y}| = \left(\frac{1}{n} \right) \sum_{j=1}^n |y_j|.$$

If the *waveform* is a continuous function of time $y(t)$,

$$|\bar{y}| = \left(\frac{1}{t_2 - t_1} \right) \int_{t_1}^{t_2} |y(t)| dt.$$

Note 1 to entry: The summation or the integral extends over the *waveform epoch* for which the *average absolute level* is desired or, if the function is *periodic*, over any integral number of *periodic* repetitions of the function.

3.2.17.3

percent reference level

reference level specified by:

$$y_{x\%} = y_{0\%} + \frac{x}{100} (y_{100\%} - y_{0\%}),$$

where

$$0\% < x < 100\%$$

$$y_{0\%} = \text{level of low state}$$

$y_{100} \%$ = level of high state

$y_0 \%$, $y_{100} \%$, and $y_x \%$ are all in the same unit of measurement.

SEE: Figure 1, Figure 2, Figure3, and Figure 4.

Note 1 to entry: Commonly used *reference levels* are: 0 %, 10 %, 50 %, 90 %, and 100 %.

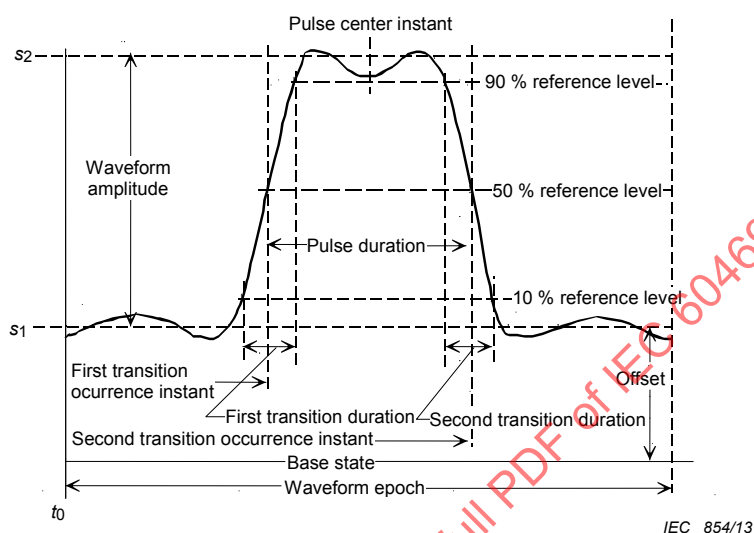


Figure 3 – Single positive pulse waveform

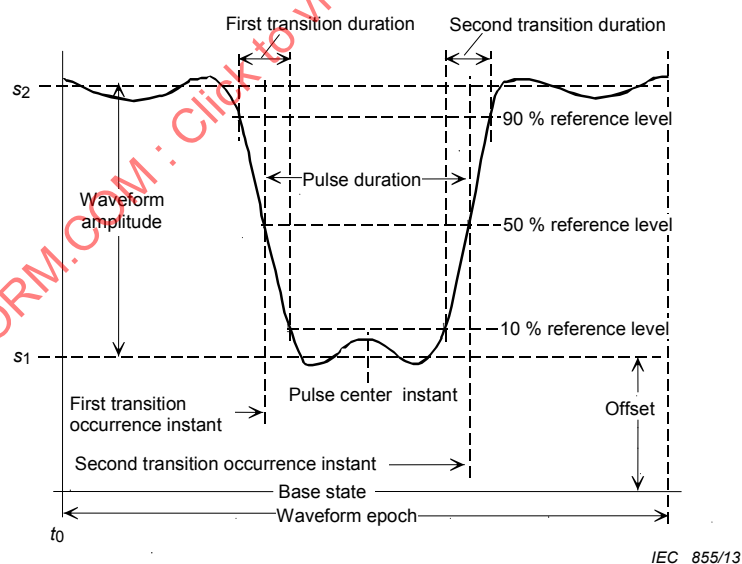


Figure 4 – Single negative pulse waveform

3.2.17.4

reference level

DEPRECATED: mesial, proximal, distal

user specified *level* that extends through all *instants* of the *waveform epoch*

Note 1 to entry: *Mesial*, *proximal*, and *distal* lines are deprecated terms because

- (a) line refers to consideration of and computations using a *pictorial waveform representation*, whereas *waveforms* today are primarily stored in *digital waveform representations* and computation and viewing are done using a computer;
- (b) the terms *mesial*, *proximal*, and *distal* refer to user-defined *reference levels* and it is not necessary to have redundant definitions for these *reference levels*;
- (c) the terms *proximal* and *distal* cannot be used unambiguously to describe lines or points on either side of a *transition* of a *step-like waveform* because they depend on whether the *step-like waveform* is for a *positive pulse* or a *negative pulse*. In other words, for (3), the proximal line and points if referenced to the 10 % *reference level* will appear to the left of a *transition* for a *positive pulse* and to the right for a *negative pulse*.

3.2.17.5

root-mean-square (rms) level

pertaining to the value of the square root of the average of the squares of the *waveform* values

If the *waveform* takes on n discrete values y_j , all equally spaced in time, the root-mean-square *level* is,

$$y_{\text{rms}} = \sqrt{\left(\frac{1}{n}\right) \sum_{j=1}^n y_j^2}.$$

If the *waveform* is a continuous function of time $y(t)$,

$$y_{\text{rms}} = \sqrt{\left(\frac{1}{t_2 - t_1}\right) \int_{t_1}^{t_2} y^2(t) dt}.$$

The summation or the integral extends over the *waveform epoch* for which the rms *level* is desired or, if the function is *periodic*, over any integral number of *periodic* repetitions of the function.

3.2.17.6

root sum of squares level

rss level

pertaining to the value of the square root of the arithmetic sum of the squares of the *waveform* values

If the *waveform* takes on n discrete values y_j , all equally spaced in time, the root sum of squares *level* is,

$$y_{\text{rss}} = \sqrt{\sum_{j=1}^n y_j^2}.$$

If the *waveform* is a continuous function of time $y(t)$,

$$y_{\text{rss}} = \sqrt{\int_{t_1}^{t_2} y^2(t) dt}.$$

Note 1 to entry: The summation or the integral extends over the *waveform epoch* for which the root sum of squares *level* is desired.

3.2.18

offset

algebraic difference between two specified *levels*.

SEE: Figure 1, Figure 2, Figure 3, and Figure 4.

Note 1 to entry: Unless otherwise specified, the two *levels* are *state 1* and the *base state*.

3.2.19

overshoot

waveform aberration within a post-transition aberration region or pre-transition aberration region that is greater than the upper state boundary for the associated state level

SEE: Figure 5 and Figure 6.

Note 1 to entry: If more than one such waveform aberration exists, the one with the largest magnitude is the overshoot unless otherwise specified.

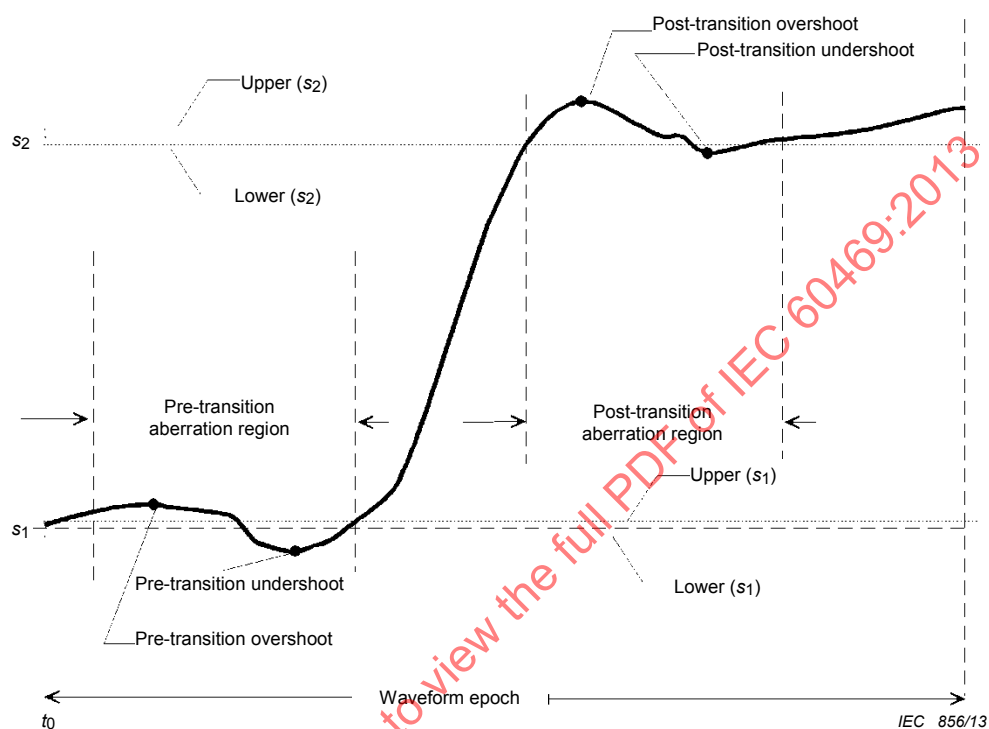


Figure 5 – Overshoot and undershoot in single positive-going transition

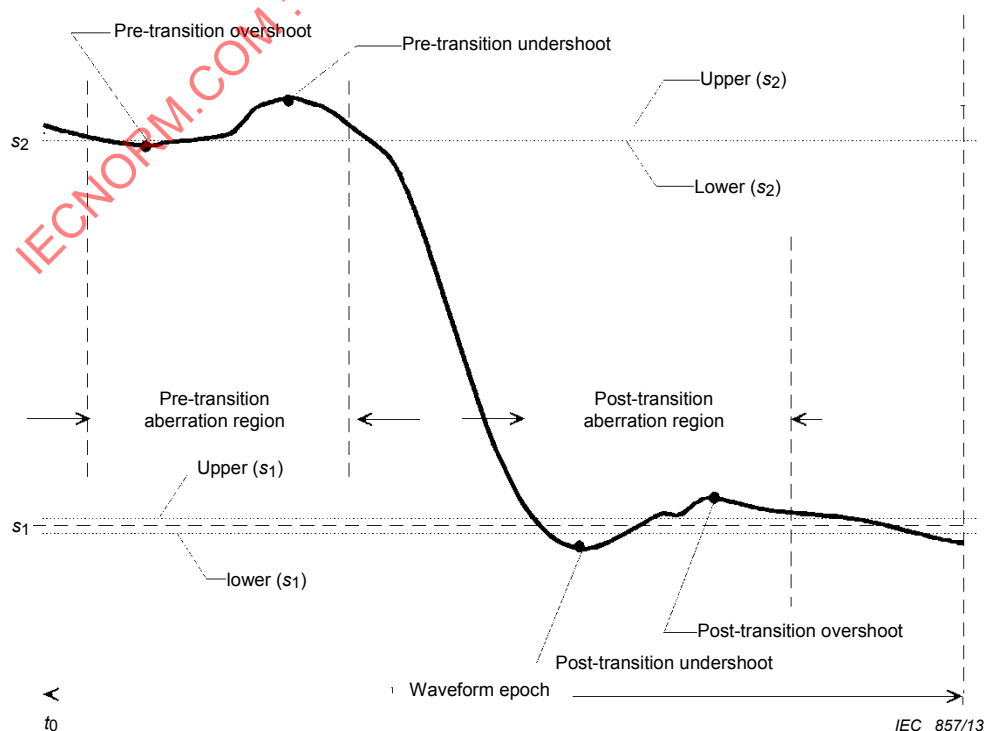


Figure 6 – Overshoot and undershoot in a single negative-going transition

3.2.20

parameter

any value (number multiplied by a unit of measure) that can be calculated from a *waveform*

3.2.20.1

level parameter

parameter whose units are the same as the units of *levels*

3.2.20.2

time parameter

parameter whose units are a unit of time

3.2.21

maximum peak

pertaining to the greatest value of the *waveform*

3.2.22

minimum peak

pertaining to the least value of the *waveform*

3.2.23

peak-to-peak

pertaining to the value of the difference between the extrema of the specified *waveform*

3.2.24

periodic

identically recurring at equal intervals of the independent variable (IEV)

Note 1 to entry: The independent variable is often time.

[IEC 60050-103:2009, 103-05-09, modified – the note to entry has been replaced.]

3.2.25

aperiodic

not recurring at equal intervals of the independent variable

Note 1 to entry: The independent variable is often time.

3.2.26

precision

closeness of agreement between indications or measured quantity values obtained by replicate measurements on the same or similar objects under specified conditions

[ISO/IEC Guide 99:2007, 2.15, modified – the notes in the original definition have been deleted.]

3.2.27

pulse duration

DEPRECATED: pulse width

difference between the first and second *transition occurrence instants*

SEE Figure 3 and Figure 4.

Note 1 to entry *Pulse width*, as well as *full width at half maximum (FWHM)* and *half width at half maximum (HWHM)* are, in general, deprecated terms, because width is a word that denotes a spatial parameter whereas the parameter of interest is time. However, in some applications it may be desirable to discuss the spatial location of a propagating pulse and its spatial distribution, i.e., pulse width in matter or space. FWHM, HWHM, and full duration at half maximum (FDHM) are deprecated terms because of the reference to the maximum value of the *waveform*, where the *waveform amplitude* may be either positive or negative and the *waveform* may contain noise.

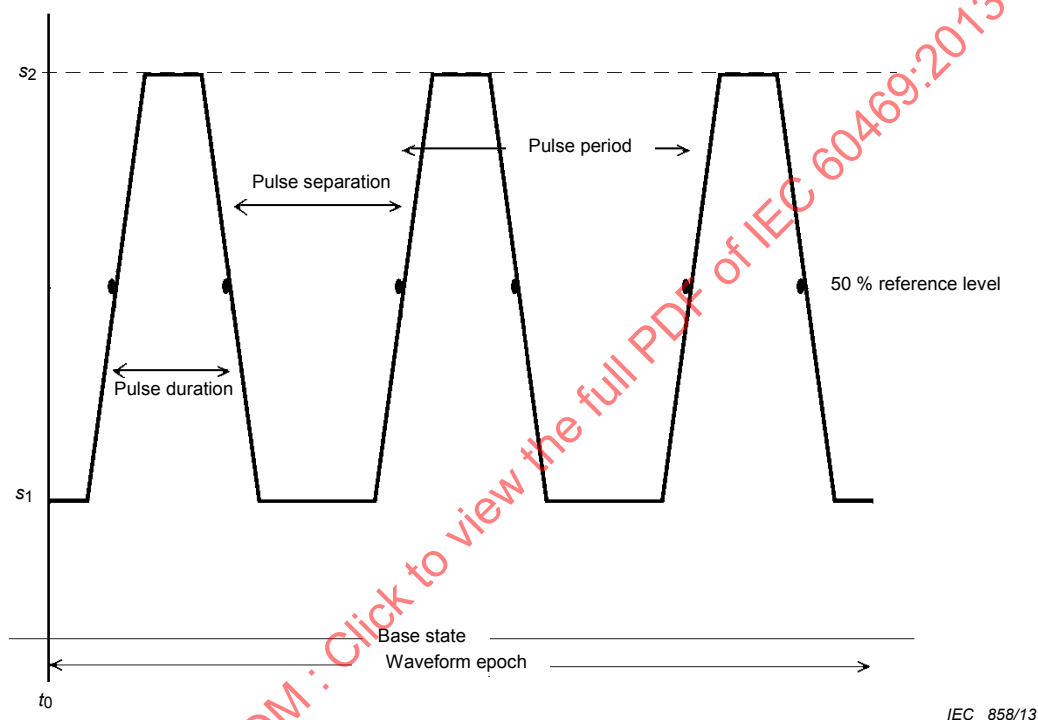
3.2.28**pulse separation**

duration between the 50 % *reference level* instant, unless otherwise specified, of the second *transition* of one *pulse* in a *pulse train* and that of the first *transition* of the immediately following *pulse* in the same *pulse train*

3.2.29**pulse train**

repetitive sequence of *pulse waveforms*. Unless otherwise specified, all of the *pulse waveforms* in the sequence are assumed to be identical

SEE: Figure 7 and Figure A.12.



IEC 858/13

Figure 7 – Pulse train

3.2.30**pulse waveform**

DEPRECATED: leading edge

DEPRECATED: trailing edge

waveform whose *level* departs from one *state*, attains another *state*, and ultimately returns to the original *state*

SEE: Figures 3 and Figure 4.

Note 1 to entry: As defined here, a pulse waveform consists of two *transitions* and two *states*. (See Clause 4.) Alternatively, a *pulse waveform* can be described as a *compound waveform* consisting of the sum of a positive (negative) *step-like waveform* and a *delayed* negative (positive) *step-like waveform* both having the same *unsigned waveform amplitude*.

Note 2 to entry: *Leading edge* and *trailing edge* are deprecated because 1) the word *edge* describes the property of a geometric figure, which is not contained by or representative of the physical signal that corresponds to the *waveform* and 2) the terms *first* and *second* adequately and unambiguously describe the meanings of *leading* and *trailing*.

3.2.30.1

negative pulse waveform

pulse waveform whose first transition is a negative-going transition

SEE: Figure 4.

3.2.30.2

positive pulse waveform

pulse waveform whose first transition is a positive-going transition

SEE: Figure 3.

3.2.31

reference

of or pertaining to a time, *level*, *waveform feature*, or *waveform* that is used for comparison with, or evaluation of, other times, *levels*, *waveform features*, or *waveforms*.

Note 1 to entry: A *reference* entity may, or may not, be an ideal entity.

3.2.32

repetitive

of or pertaining to a series of specified *waveform features* or *waveforms* that repeat or recur in time

3.2.33

non-repetitive

of or pertaining to a series of specified waveform features or waveforms that do not repeat or recur in time

3.2.34

resolution

smallest distinguishable increment into which a measured quantity is divided

3.2.35

ringing

aberration in the form of a superimposed oscillatory *waveform* that, when present, usually follows a *transition*

3.2.36

runt

transient that leaves an initial *state*, does not attain the *level* of another *state*, and returns to the initial *state*

3.2.37

sampling

the process of taking samples of a signal, usually at equal time intervals

Note 1 to entry: These samples represent *waveform levels* and are taken at selected *instants*.

[IEC 60050-704:1993, 704-23-02, modified – the note to entry has been replaced.]

3.2.38

signal

a physical phenomenon, one or more of whose characteristics may vary to represent information

Note 1 to entry: This phenomenon is a function of time.

[IEC 60050-701:1988, 701-01-02, modified – the note to entry has been replaced.]

3.2.39**spike**

transient that leaves an initial *state*, exceeds the farthest *state boundary* of any other state, and returns to the initial *state*

3.2.40**state**

particular *level* or, when applicable, particular *level* and upper and lower limits (the upper and lower *state boundaries*) that are referenced to or associated with that *level*

Note 1 to entry: Unless otherwise specified, multiple *states* are ordered from the most negative *level* to the most positive *level*, and the *state levels* are not allowed to overlap. The most negative *state* is called *state 1*. The most positive *state* is called *state n*. The *states* are denoted by $s_1, s_2, \dots, s_n$; the *state levels* are denoted by $level(s_1), level(s_2), \dots, level(s_n)$; the upper *state boundaries* are denoted by $upper(s_1), upper(s_2), \dots, upper(s_n)$; and the lower *state boundaries* are denoted by $lower(s_1), lower(s_2), \dots, lower(s_n)$.

Note 2 to entry: *States*, *levels*, and *state boundaries* are defined to accommodate pulse metrology and digital applications. In pulse metrology, the *levels* of a *waveform* are measured and *states* (with or without associated *state boundaries*) are then associated with those *levels*. In digital applications, *states* are defined (with *state boundaries*) and the *waveform* values are determined to either lie within a *state* or not.

3.2.40.1**base state**

state of a *waveform* that, unless otherwise specified, possesses a *level* closest to zero

SEE: Figure 1, Figure 2, Figure 3, and Figure 4.

3.2.40.2**high state**

the most positive *state* within the *waveform epoch*, unless otherwise specified

Note 1 to entry: For *waveforms* with exactly two *states*, such as the single *transition waveform*, the terms *low state* and *high state* may be used in lieu of the terms *state 1* and *state 2*, respectively.

3.2.40.3**low state**

the most negative *state* within the *waveform epoch*, unless otherwise specified

Note 1 to entry: For *waveforms* with exactly two *states*, such as the single *transition waveform*, the terms *low state* and *high state* may be used in lieu of the terms *state 1* and *state 2*, respectively.

3.2.40.4**positive state**

state whose *level* is greater than zero

3.2.40.5**negative state**

state whose *level* is less than zero

3.2.41**state boundaries**

upper and lower limits of the *states* of a *waveform*

Note 1 to entry: All values of a *waveform* that are within the boundaries of a given *state* are said to be in that *state*. The *state boundaries* are defined by the user.

3.2.42**state occurrence**

contiguous region of a *waveform* that is bounded by the upper and lower *state boundaries* of a *state*, and whose *duration* equals or exceeds the specified minimum *duration* for state attainment. The state occurrence consists of the entire portion of the *waveform* that remains within the boundaries of that state

Note 1 to entry: State occurrences are numbered as ordered pairs (s_i, n) , where s_i refers to the i^{th} state, and n is the number of the occurrence of that particular state within the waveform epoch. In a given waveform epoch, when the waveform first enters a state s_1 , that state occurrence is $(s_1, 1)$. If and when the waveform exits that state, that state occurrence is over. If and when the waveform next enters and remains in state s_1 , that state occurrence would be labeled $(s_1, 2)$; and so on. Thus, the state occurrences for a single pulse, as shown in Figures 3 and 4, are $(s_1, 1)$, $(s_2, 1)$, $(s_1, 2)$. The state occurrences for the compound waveform shown in Figure 8 are $(s_2, 1)$, $(s_4, 1)$, $(s_3, 1)$, $(s_5, 1)$, $(s_1, 1)$. Note that a waveform can exit one state occurrence without (necessarily) immediately entering another state occurrence, that is, the waveform state between state occurrences can be undefined for some time interval, for example, during transitions and in the case of transients (such as, runt pulses).

3.2.43 synchronizing

process of aligning the transition occurrence instant of one pulse or other event with the transition occurrence instant of another pulse or event

Note 1 to entry: If two series of events, such as two pulse trains, are synchronized, then their periods shall be integer multiples of one another.

3.2.44 terminal feature

any contiguous region of a waveform that is neither a state occurrence, nor a transient, nor a transition

Note 1 to entry: This feature, if present, occurs only at the beginning and/or end of a waveform.

3.2.45 tilt

DEPRECATED: droop

a distortion of a waveform state wherein the overall slope over the extent of the waveform state is essentially constant and other than zero.

Note 1 to entry: Tilt may be of either polarity.

Note 2 to entry: The term *droop* is a deprecated term because it implies a negative slope and, therefore, cannot be applied unambiguously to both positive pulse waveforms and negative pulse waveforms.

3.2.46 transient

any contiguous region of a waveform that begins at one state, leaves and subsequently returns to that state, and contains no state occurrences

3.2.47 transition

contiguous region of a waveform that connects, either directly or via intervening transients, two state occurrences that are consecutive in time but are occurrences of different states

3.2.47.1 negative-going transition

DEPRECATED: falling edge

a transition whose terminating state is more negative than its originating state

Note 1 to entry: The endpoints of the negative-going transition are the last exit of the waveform from the higher state boundary and the first entry of the waveform into the lower state boundary.

Note 2 to entry: *Falling edge* is a deprecated term because 1) the word edge describes the property of a geometric figure, which is not contained by or representative of the physical signal that corresponds to the waveform and 2) falling refers to motion or position of physical objects.

3.2.47.2 pass through transition

transition from an initial state to a non-consecutive state through any number of other states where the duration in these other states is less than the duration for state occurrence

3.2.47.3**positive-going transition**

DEPRECATED: rising edge

transition whose terminating *state* is more positive than its originating *state*.

Note 1 to entry: The endpoints of the *positive-going transition* are the last exit of the *waveform* from the lower *state boundary* and the first entry of the *waveform* into the higher *state boundary*.

Note 2 to entry: *Rising edge* is a deprecated term because 1) the word *edge* describes the property of a geometric figure, which is not contained by or representative of the physical signal that corresponds to the *waveform* and 2) *rising* refers to motion or position of physical objects.

3.2.48**transition duration**

DEPRECATED: risetime, falltime, transition time

difference between the two *reference level instants* of the same *transition*

SEE: Figure 1 and Figure 2.

Note 1 to entry: Unless otherwise specified, the two *reference levels* are the 10 % and 90 % *reference levels*.

Note 2 to entry: The terms *risetime*, *falltime*, and *transition time*, although widely used, are deprecated because they are ambiguous and confusing. First, the use of the word *time* in this standard refers exclusively to an *instant* and not an *interval*. Also, if the *first transition* of a *waveform* within a *waveform epoch* happens to be a *negative transition*, some users may refer to its *transition duration* as its *risetime*, and some others may refer to its *transition duration* as its *falltime*. If the use of these deprecated terms is required, then *risetime* is synonymous with the *transition duration* of a *positive-going transition*, and *falltime* is synonymous with the *transition duration* of a *negative-going transition*. If the upper and lower *state boundaries* of the two *states* are not the user-defined *reference levels* (for example, the 10 % and 90 % *reference levels*), then the *duration* of a *transition* is not equal to the *transition duration*.

3.2.49**transition settling duration**

DEPRECATED: settling time

time interval between the 50 % *reference level instant*, unless otherwise specified, and the final *instant* the waveform crosses the *state boundary* of a specified *state* in its approach to that *state*

Note 1 to entry: The term *settling time* is a deprecated term because the word *time* in this standard refers exclusively to an *instant* and not an *interval*.

3.2.50**transition settling error**maximum error between the *waveform value* and a specified *reference level* within a user-specified *interval* of the *waveform epoch*. The *interval* starts at a user-specified *instant* relative to the 50 % *reference level instant***3.2.51****triggering**process in which a *step-like waveform*, *pulse*, or *compound waveform* initiates a predetermined event or response**3.2.52****true value**

quantity value consistent with the definition of a quantity

[SOURCE: ISO/IEC Guide 99:2007, definition 2.11, modified – the wording of the definition has been changed and the original notes to the definition have not been retained.]

3.2.53

undershoot

DEPRECATED: preshoot

waveform aberration within a *post-transition aberration region* or *pre-transition aberration region* that is less than the lower *state boundary* for the associated *state level*. If more than one such *waveform aberration* exists, the one with the largest magnitude is the undershoot unless otherwise specified

SEE: Figure 5 and Figure 6.

Note 1 to entry: Preshoot is a deprecated term because “pre” is a temporal prefix and “shoot,” in this context, refers to a *level parameter*.

3.2.54

waveform

representation of a *signal* (for example, a graph, plot, oscilloscope presentation, discrete time series, equations, or table of values).

SEE: Figure 1, Figure 2, Figure 3, Figure 4, and the figures of Annex A.

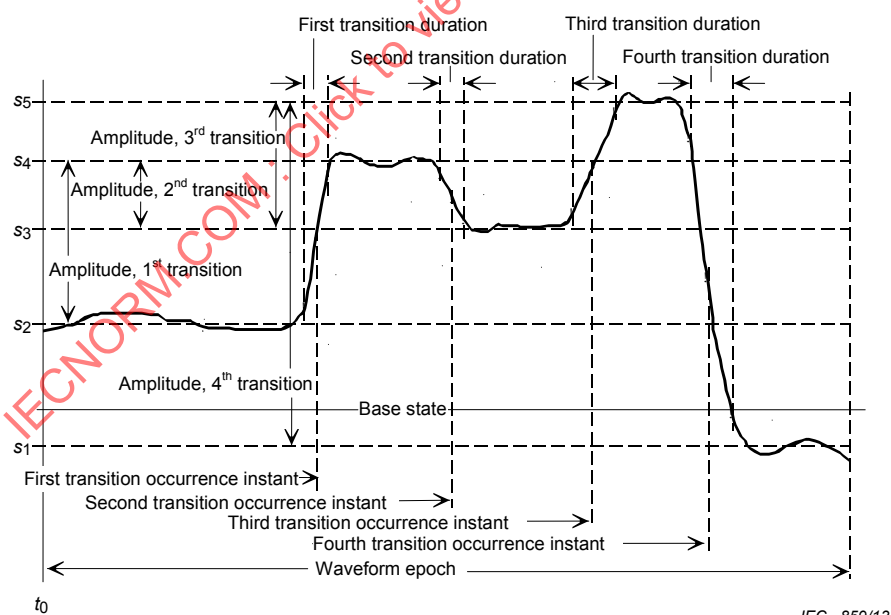
Note 1 to entry: Note that the term *waveform* refers to a measured or otherwise defined estimate of the physical phenomenon or *signal*.

3.2.54.1

compound waveform

waveform which may be completely represented by m *states* and n *transitions* where $(m + n) \geq 4$

SEE: Figure 8.



The dots indicate the intersection of the *waveform* with the 10 %, 50 %, and 90 % *reference levels*. The term “amplitude” is used in place of the defined term *waveform amplitude* because of space constraints. References to *transition durations* and *transition occurrence instants* for the *transitions* are abbreviated by, for example, “second transition duration” instead of the more accurate reference “*transition duration, second transition*.”

Figure 8 – Compound waveform

Note 1 to entry: Any *compound waveform* can be parsed (see 5.5) into n two-state *waveforms*.

3.2.54.2**impulse-like waveform**

waveform that, when convolved with an ideal step, yields a step-like waveform

SEE: Figure A.4.

3.2.54.3**reference waveform**

waveform against which other *waveforms* are compared.

Note 1 to entry: Clause 7 contains figures that depict different *reference waveforms*.

3.2.54.4**step-like waveform**

waveform whose *level* departs from one *state* and attains another *state*.

SEE: Figure 1 and Figure 2.

Note 1 to entry: Unless otherwise specified, multiple *transitions* are ordered from the earliest *transition occurrence instant* to the latest occurrence in time.

3.2.54.5**transition waveform**

waveform consisting of a *transition* and the two *states* joined by that *transition*

3.2.55**waveform aberration**

algebraic difference in *waveform* values between all corresponding *instants* in time of a *waveform* and a *reference waveform* in a specified *waveform epoch*

SEE: Figure 9.

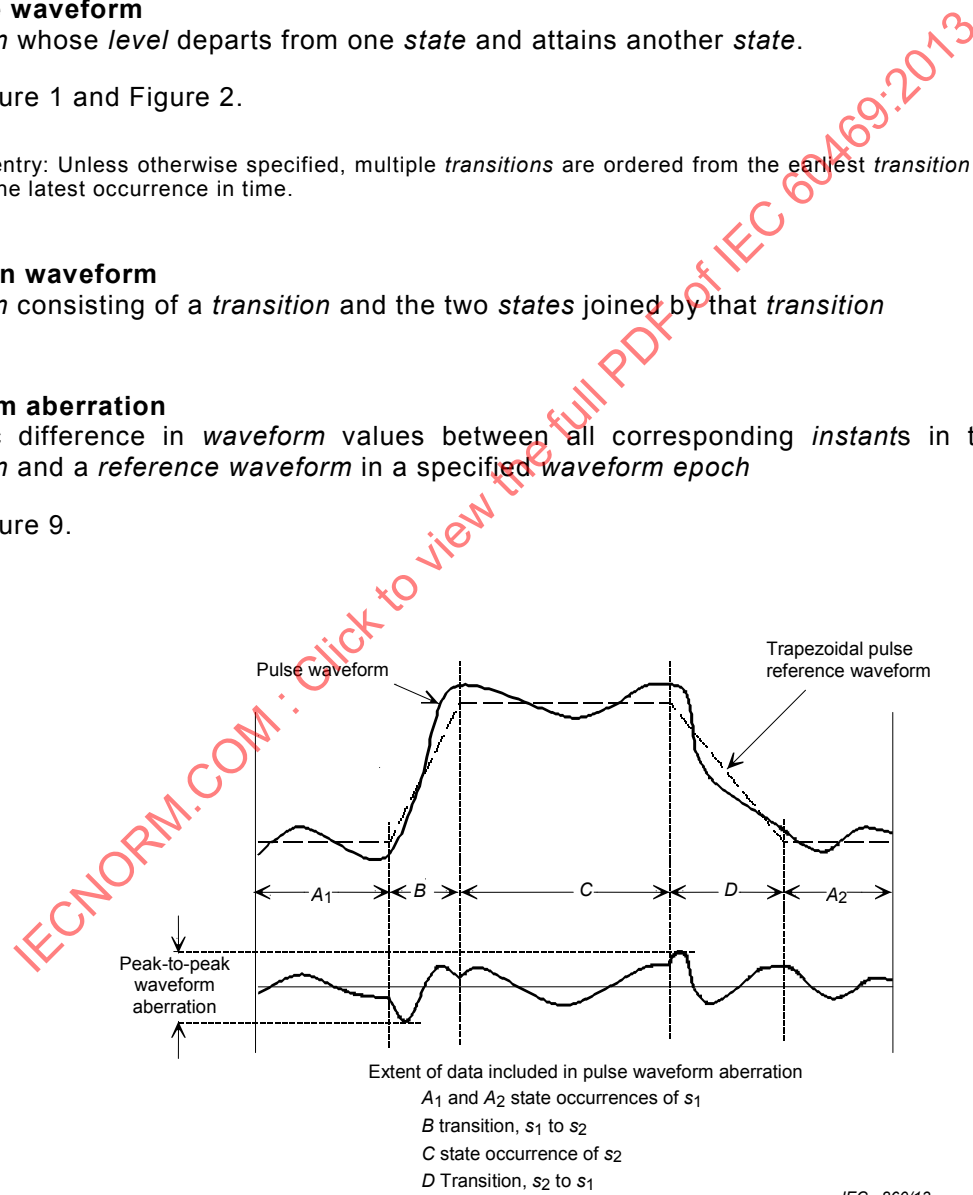


Figure 9 – Calculation of waveform aberration

3.2.55.1**percent waveform aberration**

for a two-state *waveform*, the *waveform aberration* expressed as a percentage of the *waveform amplitude* of the *reference waveform*, unless otherwise specified

Note 1 to entry: *Compound waveforms* may be parsed (see 5.5) into a set of two-state *waveforms* after which *percent waveform aberration* may be defined for each two-state *waveform* of that set.

3.2.56

waveform delay (advance)

duration between the first *transition occurrence instant* of two *waveforms*

3.2.57

waveform epoch

interval to which consideration of a *waveform* is restricted for a particular calculation, procedure, or discussion. Except when otherwise specified, the waveform epoch is assumed to be the span over which the *waveform* is measured or defined

SEE: Figure 1, Figure 2, Figure 3, and Figure 4.

3.2.58

waveform feature

specified portion or segment of a *waveform*

3.2.59

waveform measurement process

realization of a method of waveform measurement in terms of specific devices, apparatus, instruments, auxiliary equipment, conditions, operators, and observers

Note 1 to entry: In this process, a value (a number multiplied by a unit) of measurement is assigned to the elements of the *waveform*.

3.2.60

waveform period

the minimum *duration* after which a *periodic waveform* repeats

Note 1 to entry: The period of a repetitive two-state *waveform* is the *duration* between specified *reference level instants* for the same *transition*, either the *negative-going transition* or the *positive-going transition*, of two consecutive *pulses* in a *pulse train*. The period is equal to the sum of the *pulse separation* and the *pulse duration*.

3.2.61

waveform representation

3.2.61.1

pictorial waveform representation

graph, plot, or display in which a *waveform* is presented for observation or analysis

Note 1 to entry: Any of the *waveform* formats defined in 3.2.61.2 to 3.2.61.2.2 may be presented in the pictorial format.

3.2.61.2

sampled waveform representation

waveform which is a series of *sample* numerical values taken sequentially or nonsequentially as a function of time

Note 1 to entry: It is assumed that nonsequential samples may be rearranged in time sequence to yield either *aperiodically sampled waveform representations* (3.2.61.2.1) or *periodically sampled waveform representations* (3.2.61.2.2).

3.2.61.2.1

aperiodically sampled waveform representation,

format which is identical to the *periodically sampled format*, above, except that the sampling in real time is not *periodic* and wherein the data exists as coordinate *instant* pairs, $t_1, y_1; t_2, y_2; \dots; t_n, y_n$

3.2.61.2.2**periodically sampled waveform representation**

a finite sequence of *levels* $y_0, y_1, y_2, \dots, y_n$ each of which represents the value of the *waveform* at times $t_0, t_0 + \Delta t, t_0 + 2\Delta t, \dots, t_0 + n\Delta t$, wherein the data may exist in a pictorial format or as a list or table of numbers

3.3 Symbols

A : *waveform amplitude*

d_f : *duty factor*

i : *discrete time index*

n : *number of elements in a waveform*

O_{post} : *overshoot in the post-transition aberration region of a waveform*

O_{pre} : *overshoot in the pre-transition aberration region of a waveform*

s_k : *state level k*

t : *continuous time*

$t_{x\%}$: *x % reference level instant*

t_0 : *initial instant*

T : *waveform period*

t_d : *transition duration*

T_D : *waveform delay*

T_p : *pulse duration*

T_s : *pulse separation*

U_{post} : *undershoot in the post-transition aberration region of a waveform*

U_{pre} : *undershoot in the pre-transition aberration region of a waveform*

W_a : *waveform aberration, given as percentage of waveform amplitude*

$y(t)$: *waveform amplitude values for a continuous-time signal*

y_i : *waveform amplitude values for a discrete-time waveform, with discrete time index i*

y_{rms} : *root-mean-square (rms) level (see 3.2.17.5)*

y_{rss} : *root sum of squares (rss) level (see 3.2.17.6)*

$y_{x\%}$: *x % reference level*

$\bar{y}$: *average level (see 3.2.17.1)*

$\bar{y}_i$: *mean over a collection of waveforms $y_{k,i}$, where k is the waveform index*

Σ_i : *the standard deviation of a set of standard deviations*

3.4 Deprecated terms

The terms listed below on the left are the deprecated terms in alphabetical order and the terms on the right are the accepted terms:

Droop	<i>tilt</i>
Duty cycle	<i>duty factor</i>
Preshoot	<i>overshoot or undershoot in the pre-transition aberration region</i>
Pulse width	<i>pulse duration</i>
Falltime (fall time)	<i>transition duration</i>
Falling edge	<i>negative-going transition</i>
Leading edge	<i>first transition</i>
Risetime (rise time)	<i>transition duration</i>

Rising edge	<i>positive-going transition</i>
Trailing edge	<i>second transition</i>
Transition	<i>transition duration,</i>

NOTE *transition* is deprecated when used to refer to an *interval* within a *waveform epoch*. *Transition*, when referring to an event, as defined in 3.44, is not deprecated.

4 Measurement and analysis techniques

4.1 General

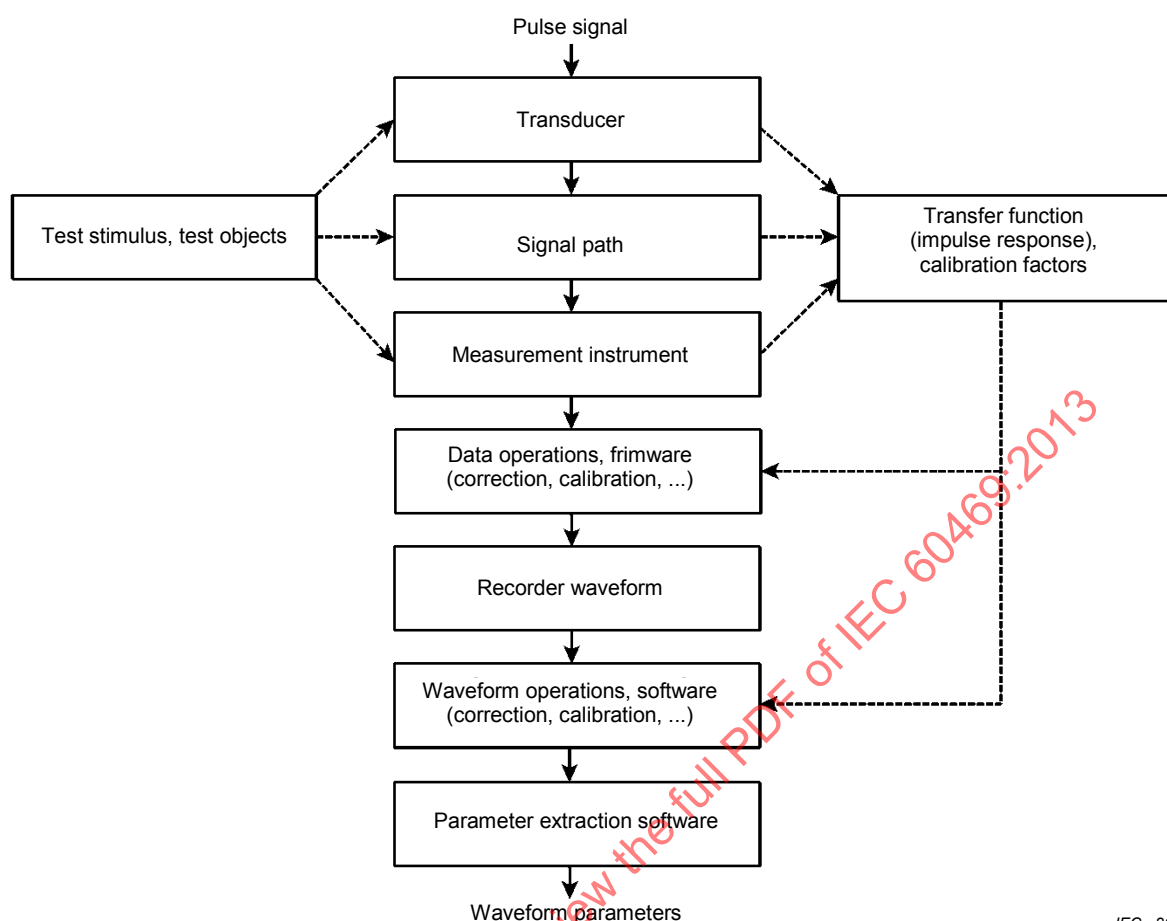
This clause provides descriptions of the techniques and procedures for time-domain waveform measurements. The descriptions provided are independent of specific devices, apparatus, instruments, or computing devices that may be used in these measurements and are prerequisite to:

- efficient communication of the results of *transition*, *pulse*, and *compound waveform* measurements;
- development and use of physical artifact standards for *transition*, *pulse*, and *compound waveform* apparatus;
- development and use of procedures for apparatus that employ *transition*, *pulse*, and *compound waveform* techniques.

4.2 Method of waveform measurement

A method of making a *waveform* measurement comprises:

- the complete specification of all relevant functional characteristics of the devices, apparatus, instruments, and auxiliary equipment to be used;
- the specification of all essential corrections required to compensate or adjust for departure of the measurement process from ideality;
- the procedures to be used in making essential corrections;
- the operations to be performed and their sequence;
- the conditions under which all operations are to be carried out.



IEC 861/13

Figure 10 – Waveform acquisition and measurement process

4.3 Description of the waveform measurement process

The object of any *waveform measurement process* is the determination to some *accuracy*, either expressed or implied, of the value of one or more *parameters* of a *waveform*. Figure 10 shows the constituent steps of any *waveform measurement process* where, as indicated, the process involves two distinct sequential subprocesses: *signal-to-waveform* conversion and *waveform* analysis. Thus, the *waveform measurement process* involves:

- the conversion of a *signal* into its transform, which is called its *waveform*;
- analysis of the *waveform* to determine the value of one or more *parameters*;
- the assertion or assumption that the value of the *waveform parameter* thus determined is, to some *accuracy*, identical to the value of the *signal parameter*.

The validity of the final assertion or assumption is dependent on the combined validity of the first two steps.

The vast array of devices, apparatus, instruments, and techniques which may be configured in virtually limitless combinations to provide *signal-to-waveform* conversion renders the discussion of specific implementations beyond the scope of this standard. Such discussion is deferred to other standards, documents, or specifications that describe or define the characteristics or methods of specific devices, apparatus, instruments, or techniques.

4.4 Waveform epoch determination

4.4.1 Selection of waveform epoch

A *waveform epoch* shall contain the *waveform features* under analysis. The *waveform epoch* shall contain sufficient data to yield all necessary *state levels* to the desired *accuracy* prescribed in the measurement process. These data may be augmented by *reference levels* that are determined using another *waveform epoch*.

4.4.2 Exclusion of data from analysis

A *waveform* may include *waveform features* or events that are non-pertinent in the circumstances of, or to the application of, the *waveform*. Non-pertinent data may be excluded from analysis, however, the basis for any such exclusion shall be stated.

When data within a *waveform epoch* are excluded from analysis the following shall be specified:

- a) the extent, in time or waveform value, of the excluded data;
- b) the basis for excluding the data;
- c) whether the excluded data is ignored (that is, the *waveform* that is analyzed is discontinuous) or replaced (that is, the excluded data are replaced with other assumed or derived data).

5 Analysis algorithms for waveforms

5.1 Overview and guidance

The analysis of a two-*state waveform* requires the sequential determination of the following:

- a) low or first *state level* and high or second *state level*;
- b) *transition* or *waveform amplitude*;
- c) necessary *percent reference levels* and corresponding *reference level instants* (unless otherwise specified, these are assumed to be the 10 %, 50 %, and 90 % *reference levels* and *reference level instants*);
- d) values of all other *waveform parameters* as computed from *level* or *instant* pairs;
- e) parameters contributing to the uncertainty in the computation of the *waveform parameters* should be identified and their relative importance assessed.

5.2 Selecting state levels

5.2.1 General

In the following sections, algorithms for determining *state levels* are described. There is no requirement that the same algorithm be used for determining different *state levels*. (These algorithms are described for single *transition waveforms* or single *pulse waveforms*, but they may also be applied to *compound waveforms* if desired.)

5.2.2 Data-distribution-based methods - Histograms

5.2.2.1 General

A histogram is an amplitude density representation of a *signal* whereas, for comparison, a *waveform* is an amplitude-versus-time representation of a *signal*. The amplitude density representation shows the number of occurrences of a given amplitude versus amplitude. To generate a histogram, the amplitude range must be divided into *M* unique, but not necessarily equal, amplitude intervals. For simplicity, however, we will consider only the equal-amplitude-interval case. The amplitude interval is called the histogram bin width and *M* is the number of

bins or the histogram size. The histogram is formed by counting the number of times a *waveform* value fits within a particular histogram bin; this is referred to as the bin count.

5.2.2.2 Algorithm:

- a) Determine the maximum and minimum amplitude values, $y_{\max}$ and $y_{\min}$, of the *waveform* or data using a)1) or a)2).
 - 1) Search the *waveform* or data for $y_{\min}$ and $y_{\max}$.
 - 2) Set $y_{\min}$ and $y_{\max}$ from criteria specified by the user of this standard or knowledge of the *waveform* or data.
- b) Calculate the amplitude range, y_R , of the *waveform* or data using: $y_R = y_{\max} - y_{\min}$.
- c) Calculate the bin width:
 - 1) For equal sized bins, Δy is found by dividing y_R by M (selection of M is discussed below):

$$\Delta y = \frac{y_R}{M} = \frac{y_{\max} - y_{\min}}{M}, \quad (1)$$

where

Δy is the histogram bin width

M is the number of histogram bins,

$y_{\max}$ is the maximum amplitude value of the signal, y

$y_{\min}$ is the minimum amplitude value of the signal, y ,

y_R is the range of the signal values

- 2) For unequal-sized bins, the user of this standard specifies an array of bin widths, Δy_i .
- d) Initially set $B_j = 0$ for $j = 1 \dots M$, where B_j is the count for the j^{th} histogram bin. Sort through the *waveform* or data values, y_i , $i = 1, N$, where N is the number of *waveform* values, and if y_i lies within the range of a bin, that is if: $(y_{\min} + [j-1]\Delta y) < y_i < (y_{\min} + j\Delta y)$ for $1 \leq j \leq M$, for equal size bins, or $(y_{\min} + \Delta y_j) < y_i < (y_{\min} + \Delta y_{j+1})$ for $1 \leq j \leq M$ for unequal-size bin widths, then set $B_j = B_j + 1$, where B_j is the count in the j^{th} histogram bin. If a data value equals the value of a bin boundary, that data value must be assigned to one of the bins located on either side (below or above) of that bin boundary. The side that is selected must be consistently applied to all such data values and specified by the user of this standard.

5.2.2.3 Selection of the number of histogram bins, M

5.2.2.3.1 General

Two methods are described in this section to select M for a waveform that exhibits a bimodal amplitude distribution and contains one *transition*. N_S -state waveforms ($N_S > 2$) and N_T -transition waveforms ($N_T > 1$) can also be operated on with the techniques mentioned here, however, these techniques will require that the *waveform* be parsed (see 5.5) into subwaveforms where each subwaveform contains one *transition* and two *states*. The limitations of each method for determining M are indicated. All of these methods are based on the requirement that the extracted pulse parameters agree with observation. The value of M has an upper and lower limit. The value of M should be large enough so that the desired amplitude resolution of the parameters that are derived from the histogram is not degraded or reduced. The value of M should not be so large that the histogram bin width is smaller than the amplitude quantization of the waveform. The amplitude quantization is dependent on the input range of the instrument over which the input range of the analog-to-digital converter (ADC) is applied, the number of bits in the ADC, and whether or not signal averaging was performed.

If the data for which a histogram is being made is obtained from an ADC, then it is usually important to make the histogram bin width compatible with the width of the quantization bins

of the analog-to-digital converter. The width of the quantization bin of an analog-to-digital converter is the interval of input values that produce a single output value, that is, the interval between transition *levels* of the analog-to-digital converter. If the data is the average of N readings of the analog-to-digital converter, then each analog-to-digital-converter bin is effectively divided into N equal-sized smaller bins. (Averaging effectively reduces the bin size of the analog-to-digital converter.)

Each histogram bin width shall be an integer number of ADC bin widths. If the histogram bin width used in 5.2.2.2 is equal to $(n + x)$ analog-to-digital-converter bin widths, where n is an integer and x is less than 1, then each histogram bin will actually have a width of either n analog-to-digital-converter bin widths or $(n + 1)$ analog-to-digital-converter bin widths. If n is very large, so that the relative difference between n and $n + 1$ is small, then this error in histogram bin width is not important.

There is an additional consideration if the selection of *state levels* is based on the mode of a histogram. Bin widths, which are intended to be equal, can be unequal due to the differential nonlinearity of the analog-to-digital converter. In this case, the mode may occur in the widest bin rather than in its correct bin. When this is a possibility, the histogram counts (the number of *waveform* values that lie within each histogram bin) should be corrected for the bin widths before the histogram is analyzed.

5.2.2.3.2 Method 1

Select a fixed value of M . The selection of M may be based on observation, common practice, or some other valid means.

5.2.2.3.3 Method 2

A large (or small) value of M is selected as initial value. The value of M is then decremented (or incremented) until a particular histogram criterion is attained. One criterion that has been used is that the least populated of the two mode bins contains a count that is equal to at least 1 % of the number of elements, N_e , in the *waveform*. This method assumes the *waveform* exhibits a bimodal amplitude distribution and that it is positioned such that the bin corresponding to $level(s_2)$ and $level(s_1)$ has a count greater than or equal $0.01N_e$. Typically this latter requirement is assured by positioning the *waveform* such that either the *duration* of $level(s_2)$ or $level(s_1)$ is no less than 10 % of the *waveform epoch*. (Although shorter *durations* may work, this has not been tested.) This method can be adapted to apply to *waveforms* containing more than one *transition* and more than two modes in the amplitude distribution if the *waveform* is appropriately parsed. However, for each segment, the *duration* of the the $level(s_2)$ or $level(s_1)$ in that *waveform* segment must provide at least $0.01N_e$ amplitude occurrences. If this method is implemented automatically, that is, without operator intervention, it requires that the $level(s_2)$ and $level(s_1)$ are located in opposite halves of y_R . An implementation of this method using equal sized bins is described in [1]¹, which also shows the effects of varying bin width on computed pulse parameters.

5.2.2.4 Splitting the bimodal histogram into two parts (subhistograms)

This procedure conceptually separates the histogram, computed as described in 5.2.2, into upper and lower histograms from which the modes for each are computed and subsequently used to determine *waveform state levels*. This procedure is based on the values of two *parameters*, f_1 and f_2 , where $f_1 \leq f_2$, defined by the user of this standard. Typical values for this pair of variables are $(f_1, f_2) = (0.5, 0.5)$ or $(f_1, f_2) = (0.4, 0.6)$. Let B_j , for $j = 1 \dots M$, be the bin counts in a histogram as defined in 5.2.2. Let j_{low} be the smallest value of j for which $B_j > 0$, and let j_{high} be the largest value of j for which $B_j > 0$. The range of the lower histogram is $j_{low} \leq j \leq f_1(j_{high} - j_{low})$. The range of the upper histogram is $(j_{low} + f_2[j_{high} - j_{low}]) \leq j \leq j_{high}$.

¹ Numbers in square brackets refer to the Bibliography.

Waveform aberrations and/or other spurious artifacts may adversely affect the ability of automated algorithms to find the appropriate *waveform level* around which the histogram is split. On the other hand, manual (operator) selection of the appropriate *waveform level* will not be confounded by spurious content

5.2.2.5 Determining state levels from the histogram

Split the bimodal histogram into two parts as described in 5.2.2.4. Find the means or modes of the two subhistograms found in 5.2.2.4. The low state level is given by the mode or mean of the lower histogram and the high state level is given by the mode or mean of the upper histogram. Solomon et al [2] examine the effect of different histogram methods on the values of the state levels.

5.2.3 Data-distribution-based methods - Shorth estimator

This discussion will address *step-like waveforms*. The shorth of a finite collection of data values is the shortest interval comprising a certain fraction, f_S , of the data values. The fraction $f_S = 1/2$ unless otherwise specified. The shorth estimator is a location estimator, similar to the least median of squares (LMS) estimator [3]. The first step in the shorth estimator method is to label or group *waveform* values as belonging to a particular *state*. The *k*-means method (4) is an effective approach for grouping the *waveform* values. In this method, the *waveform* values are grouped according to their difference relative to a particular *average level*, where in this case *average levels* are computed for the two *state occurrences* of the *step-like waveform*.

a) Grouping *waveform* values:

- 1) Initialize the *average levels*, $\bar{y}_1$ and $\bar{y}_2$, for the two *states occurrences*, $(s_1,1)$ and $(s_2,1)$ (note that in a *step-like waveform*, there are only two *state occurrences*):
 - i) $\bar{y}_1 = y_{\min}$, or as otherwise specified by the user of this standard
 - ii) $\bar{y}_2 = y_{\max}$, or as otherwise specified by the user of this standard, where $y_{\min}$ and $y_{\max}$ are the minimum and maximum amplitude values of the *waveform*, y .
- 2) Segregate each *waveform* value, y_i , into $(s_1,1)$ or $(s_2,1)$ based on the difference in amplitude between y_i and the *average levels*. The *average levels* are then updated by calculating the average values of the y_i assigned to each *state occurrences*. The process continues until the y_i values no longer switch *state occurrences*, or, equivalently, until the *average levels* no longer change. The following algorithm is now given:

do

$$\bar{y}_{1,old} = \bar{y}_1$$

$$\bar{y}_{2,old} = \bar{y}_2$$

for $i = 1 \dots N$

if $|y_i - \bar{y}_1| < |y_i - \bar{y}_2|$ then assign y_i to $(s_1,1)$

else assign y_i to $(s_2,1)$

endfor

$$\bar{y}_1 = \text{average level of } (s_1,1)$$

$$\bar{y}_2 = \text{average level of } (s_2,1)$$

while $\bar{y}_1 - \bar{y}_{1,old} \neq 0$ and $\bar{y}_2 - \bar{y}_{2,old} \neq 0$

where N is the number of samples in y .

After the algorithm converges, typically in two or three iterations, it yields $(s_1,1)$ and $(s_2,1)$, the two *state occurrences* of the *step-like waveform*. The set of N_1 *waveform*

values in $(s_1, 1)$ (the first *state occurrence*) is given by $(s_1, 1) = \{y_1^{(1)}, y_2^{(1)}, \dots, y_{N_1}^{(1)}\}$ and the set of N_2 waveform values in $(s_2, 1)$ is given by $(s_2, 1) = \{y_1^{(2)}, y_2^{(2)}, \dots, y_{N_2}^{(2)}\}$.

The next step in this process is to obtain the shorth and the corresponding shorth collection for both $(s_1, 1)$ and $(s_2, 1)$. The shorth collection comprises the data values that are contained in the shorth. As used here, the shorth of the i^{th} *state occurrence* is the shortest *interval* containing the specified fraction of the values assigned to the i^{th} *state occurrence*.

- b) Determining the shorth collection. The shorth collection is computed independently for $(s_1, 1)$ and $(s_2, 1)$ per the following procedure:

- 1) Reorder $(s_1, 1)$ into a non-decreasing sequence to give $(s_1, 1)_{nd} = y_{(1)}^{(1)} \leq y_{(2)}^{(1)} \leq \dots \leq y_{(N_1)}^{(1)}$,
- 2) Reorder $(s_2, 1)$ into a non-decreasing sequence to give $(s_2, 1)_{nd} = y_{(1)}^{(2)} \leq y_{(2)}^{(2)} \leq \dots \leq y_{(N_2)}^{(2)}$,

where

N_1 is the number of samples in $(s_1, 1)$ and

N_2 is the number of samples in $(s_2, 1)$. For clarity, $y_i^{(1)}$ is not necessarily equal to $y_{(i)}^{(1)}$ and $y_i^{(2)}$ is not necessarily equal to $y_{(i)}^{(2)}$.

- 3) Perform the following to compute the shorth collection for $(s_1, 1)$:

$h = \lfloor f_s N_1 \rfloor + 1$, where $\lfloor x \rfloor$ is the greatest integer less than or equal to x

$d = N_1 - h + 1$

$\text{min_diff} = 10^9$

for $i = 1 \dots d$

$\text{diff} = y_{(h+i-1)}^{(1)} - y_{(i)}^{(1)}$

if $(\text{diff} < \text{min_diff})$ then

$\text{min_diff} = \text{diff}$

$m = i$

endif

endfor

The shorth collection for $(s_1, 1)$: $= (y_{(m)}^{(1)}, \dots, y_{(h+m-1)}^{(1)})$

- 4) Perform the following to compute the shorth collection for $(s_2, 1)$:

$k = \lfloor f_s N_2 \rfloor + 1$

$d = N_2 - k + 1$

$\text{min_diff} = 10^9$

for $i = 1 \dots d$

$\text{diff} = y_{(k+i-1)}^{(2)} - y_{(i)}^{(2)}$

if $(\text{diff} < \text{min_diff})$ then

$\text{min_diff} = \text{diff}$

$n = i$

endif

endfor

The shorth collection for $(s_2, 1)$: $= (y_{(n)}^{(2)}, \dots, y_{(k+n-1)}^{(2)})$

NOTE The algorithm in Steps 3 and 4 produces a shorth collection that, if two or more successive intervals qualify for the shorth, selects the first interval. If the user of this standard implements a shorth collection criterion different from that used here, the user of this standard shall indicate the criterion used.

- c) Finally, the mean of the value, unless otherwise specified, of the shorth collection is used to estimate *levels* of each *state*(5).

1) The *level* of s_1 is computed using: $level(s_1) = \frac{1}{h} \sum_{j=m}^{h+m-1} y_{(j)}^{(1)}.$

2) The *level* of s_2 is computed using: $level(s_2) = \frac{1}{k} \sum_{j=n}^{k+n-1} y_{(j)}^{(2)}.$

As a simple illustration, suppose $N_1 = 11$ and

$$(y_{(1)}^{(1)}, \dots, y_{(N_1)}^{(1)}) = (10, 45, 50, 53, 56, 58, 60, 62, 63, 65, 75).$$

Then, $h = \lfloor 11/2 \rfloor + 1 = 6$, and the smallest of the differences in the corresponding set of differences, 58-10, 60-45, 62-50, 63-53, 65-56, and 75-58 is 9, which corresponds to the interval (56, 65), which is the shorth. The values contained in the shorth are 56, 58, 60, 62, 63, and 65. $Level(s_1)$ is calculated as $level(s_1) = (56+58+60+62+63+65)/6 = 60,67$.

5.2.4 Other methods

5.2.4.1 Peak magnitude

Determine the *maximum peak* and *minimum peak* values of the single *transition waveform* or the single *pulse waveform*:

- take the *minimum peak* value as the low or first *state level*;
- take the *maximum peak* value as the high or second *state level*.

This algorithm is best suited to the analysis of waveforms with *state levels* of negligible or relatively short *duration*.

5.2.4.2 Initial (final) instant

For a single *transition waveform*, determine the values of the *initial instant* and the *final instant*. Take the value at either the *initial instant* or the *final instant*, whichever is the more *negative*, as the low or first *state level*. Then, take the value at either the *initial instant* or the *final instant*, whichever is the more *positive*, as the high or second *state level*.

For a single *pulse waveform*, only one of the two *state levels* can be determined by the initial (final) instant method. In this case, determine the value of the *initial (final) instant*. For a *positive pulse waveform* take this value as the low or first *state level*. For a *negative pulse waveform* take this value as the high or second *state level*.

5.2.4.3 User defined

This method is based on assumptions made by, or expectations of, the user of this standard regarding the behavior of the waveform generator. These assumptions or expectations should be based on knowledge of, for example, the waveform generator circuitry, the interaction between the waveform generator and the load (measurement instrument), and/or previous observations. Using this information, the user of this standard states what the values are for the low and high *states* of the *waveform*.

5.2.4.4 Use of other waveform epochs

Two or more *waveform epochs* may be necessary because the *waveform* from which a given *parameter* is to be computed may not contain enough information for that computation. For example, in computing *transition duration*, if the *waveform* has not settled to its final or initial

states within a shorter *waveform epoch* from which *transition duration* can be computed, and the *waveform* of longer *epoch(s)* does not have the temporal resolution required to accurately compute the *transition duration*, then two or more *epochs* are necessary to compute *transition duration*. At least two *waveforms* will be required, one or more having a long *epoch* from which the *state levels* will be obtained, and one having a short *epoch* from which the *transition duration* will be computed.

- a) Identify the *waveform epochs* to be used, E_1 , E_2 and possibly E_3 . Three *waveforms* are necessary if the *low state* and *high state* are to be computed from different *waveforms*.
- b) Acquire the *waveform(s)* from which the *low state* and *high state* are to be determined.
- c) Compute the *low state* and *high state* of the appropriate *waveforms* by a method specified by the user of this standard.

The *low state* and *high state* thus determined are the *low state* and *high state* of the *waveform*.

5.2.4.5 Static levels

This method requires that the pulse generator used to generate the *step-like waveform* can be operated such that it also provides two static (constant-valued) *levels*, one corresponding to the *low state* of the pulse to be measured and the other to the *high state* of the same pulse. Furthermore, these static *levels* shall be supplied at the same connector from which the pulse is output and that these *levels* can be uniquely selected.

- a) Operate the pulse generator so that it outputs a static *level* that is equal to the *level* of the *low state* of the pulse.
- b) Acquire a *waveform* of this *low state level* and compute its value by a method specified by the user of this standard; this is the *low state* of the *waveform*.
- c) Operate the pulse generator to output a static *level* that is equal to the *high state* of the pulse and measure this *level*.
- d) Acquire a *waveform* of this *high state level* and compute its value by a method specified by the user of this standard; this is the *high state* of the *waveform*.

5.2.5 Algorithm switching

The above methods may be dynamically chosen based upon the input *waveform*. For example, some algorithms use a histogram method or a peak magnitude method depending upon the shape of the histogram. If several methods are combined or employed, the criteria for when a particular method is used should be stated.

5.3 Determination of other single *transition waveform* parameters

5.3.1 General

After the *low* or *state 1 level* and the *high* or *state 2 level* of a single *transition waveform* or a single *pulse waveform* have been determined, all other *transition* or *pulse waveform parameters* defined in this standard are calculable directly from the definitions of those *parameters* presented in this standard.

Some *waveform* recorders contain internal hardware or firmware for calculating *waveform parameters*. In the process of calculating these *waveform parameters*, the recorder may filter the *waveform* prior to interpolation. Consequently, the user of this standard should be aware of any internal filtering performed by the *waveform* recorder because this filtering may affect the value of the *parameter*. If filtering is performed in the process of calculating *waveform parameters*, the type of filter and its defining variables shall be specified.

5.3.2 Algorithm for calculating signed waveform amplitude

- a) Determine s_1 and s_2 using a method described in 5.2.
- b) The *waveform amplitude*, A , is the difference between $level(s_2)$ and $level(s_1)$

- 1) For positive-going transitions, A is given by:

$$A = \text{level}(s_2) - \text{level}(s_1), \quad (2)$$

where

A is the amplitude of the waveform,

$\text{level}(s_1)$ is the state level of s_1 , and

$\text{level}(s_2)$ is the state level of s_2 .

- 2) For negative-going transitions, A is given by:

$$A = \text{level}(s_1) - \text{level}(s_2). \quad (3)$$

5.3.3 Algorithm for calculating percent reference levels

- a) Calculate the waveform amplitude, A , as described in 5.3.2.
b) Calculate the value for the percent reference level, $y_x \%$, using:

$$y_x \% = \text{level}(s_1) + \frac{|A|}{100} x \%, \quad (4)$$

where

$y_x \%$, is the value of the percent reference level,

x represents the percentage for the percent reference level specified by the user of this standard, and

$\text{level}(s_1)$ is the state level of s_1 .

NOTE $y_x \%$ may or may not equal the value of a sample in the waveform.

5.3.4 Algorithms for calculating reference level instants

5.3.4.1 General

The algorithms for calculating reference level instants use linear interpolation between the instants at which the waveform is sampled. If the interval between successive waveform samples is too large for linear interpolation to be sufficiently accurate, the accuracy of the computed reference levels and associated reference level instants will be reduced. If this limitation causes errors in parameter values that are larger than a tolerance specified by the user of this standard, then a more sophisticated interpolation method based on more than two adjacent samples may be used. The selection of an alternate interpolation method depends on knowledge of the waveform and is beyond the scope of this standard. The interpolation method and the conditions in which it is used shall be specified.

5.3.4.2 Algorithm for calculating the 50 % reference level instant

- a) Calculate the 50 % reference level as described in 5.3.3.
b) Calculate the 50 % reference level instant for $y_{50 \%}$ using linear interpolation:

$$t_{50\%} = t_{50\%-} + \left(\frac{t_{50\%+} - t_{50\%-}}{y_{50\%+} - y_{50\%-}} \right) (y_{50\%} - y_{50\%-}) \quad (5)$$

where

$t_{50 \%}$ is the 50 % reference level instant,

$t_{50 \% -}$ and $t_{50 \% +}$ are two consecutive sampling instants corresponding to data nearest in value to $y_{50 \%}$ such that $y_{50 \% -} \leq y_{50 \%} \leq y_{50 \% +}$, and

$y_{50\% -}$ and $y_{50\% +}$ are the two consecutive waveform values corresponding to $t_{50\% -}$ and $t_{50\% +}$.

If there is more than one 50 % reference level instant, the first one is the 50 % reference level instant, unless otherwise specified.

5.3.4.3 Algorithm for calculating other reference level instants

- Supply a reference level, $y_x\%$, by either calculating the $y_x\%$ as described in 5.3.3 for a value of x or of $y_x\%$ specified or provided by the user of this standard
- Calculate the reference level instant for $y_x\%$ using linear interpolation:

$$t_{x\%} = t_{x\%-} + \left(\frac{t_{x\%+} - t_{x\%-}}{y_{x\%+} - y_{x\%-}} \right) (y_{x\%} - y_{x\%-}), \quad (6)$$

where

- $t_x\%$ is the reference level instant for the reference level selected by the user of this standard,
- $y_x\%$ is the reference level specified by the user of this standard
- $t_{x\%-}$ and $t_{x\%+}$ are two consecutive sampling instants corresponding to data nearest in value to $y_x\%$ such that $y_{x\%-} \leq y_x\% \leq y_{x\%+}$, and
- $y_{x\%-}$ and $y_{x\%+}$ are the two consecutive waveform values corresponding to $t_{x\%-}$ and $t_{x\%+}$.

If there is more than one reference level instant, the reference level instant closest to the 50 % reference level instant (see 5.3.4.2) is used, unless otherwise specified.

5.3.5 Algorithm for calculating transition duration between $x_1\%$ and $x_2\%$ reference levels

- Calculate the reference level instant, $t_{x_1\%}$, for the $x_1\%$ reference level in accordance with 5.3.4 that is nearest to the 50 % reference level instant, unless otherwise specified.
- Calculate the reference level instant, $t_{x_2\%}$, for the $x_2\%$ reference level in accordance with 5.3.4 that is nearest to the 50 % reference level instant, unless otherwise specified.
- Calculate the transition duration, $t_{x_1\%-x_2\%}$:

$$t_{x_1\%-x_2\%} = |t_{x_1\%} - t_{x_2\%}|, \quad (7)$$

where

- $t_{x_1\%-x_2\%}$ is the duration between the $x_1\%$ reference level and the $x_2\%$ reference level,
- $t_{x_1\%}$ is the reference level instant for the $x_1\%$ reference level, and
- $t_{x_2\%}$ is the reference level instant for the $x_2\%$ reference level.

5.3.6 Algorithm for calculating the undershoot and overshoot aberrations of step-like waveforms

- Determine $level(s_1)$ and $level(s_2)$ using a method described in 5.2 and define the upper boundary and lower boundary for the states corresponding to these levels.
- Determine the maximum and minimum waveform values, $y_{\max}$ and $y_{\min}$.
- Calculate the waveform amplitude, A , as described in 5.3.2.
- Calculate the $x_1\%$ and $x_2\%$ reference levels and the 50 % reference level as described in 5.3.3. Typically used reference levels are the 10 % and 90 % reference levels.

- e) Calculate the *reference level instants*, t_{x1} %, t_{50} % and t_{x2} %, as described in 5.3.4, for the *reference levels* determined in step (d).
- f) Calculate the *transition duration*, for the *reference levels instants* determined in step (e), as described in 5.3.5.
- g) Calculating the *overshoot* and *undershoot* in the *pre-transition aberrations region*.
 - 1) Calculate the last *instant*, t_{pre} , which occurs before t_{50} % when the waveform exits the upper (lower) *state boundary* of the *low state* (*high state*) for a *positive-going* (*negative-going*) *transition* using the method described in 5.3.4.
 - 2) Define the *pre-transition aberration region* as that between $t_{pre} - 3t_{10\% - 90\%}$ and t_{pre} (or as specified by the user of this standard).
 - 3) Search the *pre-transition aberration region* for the maximum value, $y_{max,pre}$, and the minimum value, $y_{min,pre}$. $y_{max,pre}$ is the maximum y_i in the *pre-transition aberration region* and $y_{min,pre}$ is the minimum y_i in the *pre-transition aberration region*.
 - 4) If $y_{max,pre}$ is equal to or less than the upper *state boundary* of s_1 (s_2) for a *positive-going* (*negative-going*) *transition* then the *overshoot* in the *pre-transition aberration region*, O_{pre} , is zero; otherwise compute the percentage *overshoot* in the *pre-transition aberration region* using:

$$O_{pre}(\%) = \frac{y_{max,pre} - level(s_k)}{|A|} 100\% \quad (8)$$

where

O_{pre} is the *overshoot* value in the *pre-transition aberration region*,

$y_{max,pre}$ is the maximum waveform value in the *pre-transition aberration region*,

A is the waveform amplitude,

$level(s_k)$ is the state level of the k^{th} state. $level(s_k) = level(s_1)$ for a positive-going transition and $level(s_k) = level(s_2)$ for a negative-going transition.

- 5) If $y_{min,pre}$ is equal to or greater than the lower *state boundary* s_1 (s_2) for a *positive-going* (*negative-going*) *transition*, then the *undershoot* in the *pre-transition aberration region*, U_{pre} , is zero, otherwise compute the percentage *undershoot* in the *pre-transition aberration region* using:

$$U_{pre}(\%) = \frac{level(s_k) - y_{min,pre}}{|A|} 100\% \quad (9)$$

where

U_{pre} is the *undershoot* value in the *pre-transition aberration region*,

$y_{min,pre}$ is the minimum waveform value in the *pre-transition aberration region*,

A is the waveform amplitude,

$level(s_k)$ is the state level of the k^{th} state. $level(s_k) = level(s_1)$ for a positive-going transition and $level(s_k) = level(s_2)$ for a negative-going transition.

- h) Calculating the *overshoot* and *undershoot* in the *post-transition aberration region*.
 - 1) Calculate the first *instant*, t_{post} , that occurs after t_{50} % when the waveform enters the lower (upper) *state boundary* of the *high state* (*low state*) for a *positive-going* (*negative-going*) *transition* using the method described in 5.3.4.
 - 2) Define the *post-transition aberration region* as that between t_{post} and $t_{post} + 3t_{10\% - 90\%}$ (or as specified by the user of this standard).
 - 3) Search the *post-transition aberration region* for the maximum value, $y_{max,post}$ and the minimum value, $y_{min,post}$. $y_{max,post}$ is the maximum y_i in the *post-transition aberration region* and $y_{min,post}$ is the minimum y_i in the *post-transition aberration region*.

- 4) If $y_{\max, \text{post}}$ is equal to or less than the upper *state boundary* of s_2 (s_1) for a *positive-going* (*negative-going*) *transition* then the *overshoot* in the *post-transition aberration region*, O_{post} , is zero, otherwise compute the percentage *overshoot* in the *post-transition aberration region* using:

$$O_{\text{post}}(\%) = \frac{y_{\max, \text{post}} - \text{level}(s_k)}{|A|} 100\%, \quad (10)$$

where

O_{post} is the *overshoot* value in the *post-transition aberration region*,

$y_{\max, \text{pre}}$ is the maximum *waveform* value in the *post-transition aberration region*,

A is the *waveform amplitude*,

$\text{level}(s_k)$ is the state level of the k^{th} state. $\text{Level}(s_k) = \text{level}(s_1)$ for a *positive-going* transition and $\text{level}(s_k) = \text{level}(s_2)$ for a *negative-going* transition.

- 5) If $y_{\min, \text{post}}$ is equal to or greater than the lower *state boundary* s_2 (s_1) for a *positive-going* (*negative-going*) *transition*, then the *undershoot* in the *post-transition aberration region*, U_{post} , is zero, otherwise compute the percentage *undershoot* in the *post-transition aberration region* using:

$$U_{\text{post}}(\%) = \frac{\text{level}(s_k) - y_{\min, \text{post}}}{|A|} 100\%, \quad (11)$$

where

U_{post} is the *undershoot* value in the *post-transition aberration region*,

$y_{\max, \text{pre}}$ is the minimum *waveform* value in the *post-transition aberration region*,

A is the *waveform amplitude*,

$\text{level}(s_k)$ is the state level of the k^{th} state. $\text{Level}(s_k) = \text{level}(s_1)$ for a *positive-going* transition and $\text{level}(s_k) = \text{level}(s_2)$ for a *negative-going* transition.

5.3.7 Algorithm for calculating waveform aberrations

- Calculate the $x1\%$ and $x2\%$ *reference levels* as described in 5.3.3. Typically used *reference levels* are the 10% and 90% *reference levels*.
- Calculate the *reference level instants*, $t_{x1\%}$ and $t_{x2\%}$, as described in 5.3.4, for the *reference levels* determined in step (a).
- Determine the *pre-transition aberration region* and *post-transition aberration region* as described in 5.3.6 and exclude those regions in the calculation of *waveform aberration*.
- Calculate the parameters for generating the *reference waveform*, $r(t)$. Unless otherwise specified, the trapezoidal *pulse waveform* (see Fig. A.6) will be used as the *reference waveform* for calculating *waveform aberrations*.
 - Calculate the slope through the *reference levels* and *reference level instants* of the *waveform* using:

$$S = \left(\frac{y_{x2\%} - y_{x1\%}}{t_{x2\%} - t_{x1\%}} \right).$$

- Calculate the *reference level instants*, $t_0\%$ and $t_{100\%}$, that will be used to generate $r(t)$ in step (e).
 - The *reference levels* and their associated *reference level instants* of the *reference waveform* should be chosen such that the slope of the line through these points is a close fit to the corresponding *waveform* values.
 - Compute the $t_{100\%}$ *reference level instant* using:

$$t_{100\%} = t_{x2\%} + \frac{\text{level}(s_2) - y_{x2\%}}{S}$$

iii) Compute the t_0 % *reference level instant* using:

$$t_{0\%} = t_{x1\%} + \frac{\text{level}(s_1) - y_{x1\%}}{S}$$

e) Generate the trapezoidal *reference waveform*, $r(t)$, using:

$$r(t_n) = \begin{cases} y_{0\%}, & \text{for } t_{0\%} \\ S(t_n - t_{0\%}) + y_{0\%}, & \text{for } t_{0\%} \leq t_n \leq t_{100\%} \\ y_{100\%}, & \text{for } t_n > t_{100\%} \end{cases}$$

f) The *waveform aberrations* are calculated as the maximum positive and negative deviation of the measured *waveform* from the *reference waveform* and are presented as a percentage of the *waveform amplitude*. Calculate *waveform aberration* using:

$$W_a = \begin{cases} \left(\frac{\max\{y_n - r(t_n)\}}{y_{100\%} - y_{0\%}} \right) T_{ab} \\ \left(\frac{\min\{y_n - r(t_n)\}}{y_{100\%} - y_{0\%}} \right) T_{ab} \end{cases} 100\% \quad (12)$$

where

W_a is the *waveform aberration*,

$\max\{\dots\}$ return the maximum value of its argument,

$\min\{\dots\}$ returns the minimum value of its argument,

$y_{100\%}$ is the value of the 100 % *reference level*,

$y_{0\%}$ is the value of the 0 % *reference level*,

$r(t_n)$ is the *reference waveform*,

n is the discrete time index of the *waveform*,

T_{ab} is the *interval* over which the *waveform aberration* is being calculated.

5.3.8 Algorithm for calculating transition settling duration

- a) Calculate the 50 % *reference level*, as described in 5.3.3.
- b) Calculate the 50 % *reference level instant* as described in 5.3.4.
- c) Specify the *state boundaries* of the specified *state* (usually state 2).
- d) Determine the *instant* at which the *waveform* enters and subsequently remains within the specified *state boundary*.
 - 1) Starting at the end of the waveform epoch, check each waveform value against the specified state boundaries.
 - 2) Record the sampling instant of the first waveform value encountered that is found outside the state boundary.
 - 3) Calculate the instant that the waveform crosses the state boundary using the method described in 5.3.4.
 - 4) Calculate the transition settling duration by finding the difference between the instant determined in step (d)3) and the 50 % reference level instant determined in step (a).

5.3.9 Algorithm for calculating transition settling error

- Calculate the 50 % *reference level instant* as described in 5.3.4.2.
- Specify which *state level*, $level(s_1)$ or $level(s_2)$, will be used to compute the *transition settling error*.
- Specify the *instant*, t_s , for $t_s > t_{50\%}$, and its corresponding *waveform* sample index, i_s , at which *interval* over which the *transition settling error* is to be determined starts.
- Specify the *instant* t_f after t_s , and its corresponding *waveform* sample index, i_f , at which *interval* over which the *transition settling error* is to be determined ends.
- Transition settling error*, E_{settling} , is determined using:

$$E_{\text{settling}} = \max \left\{ \left| \frac{y_i - level(s_k)}{level(s_2) - level(s_1)} \right| \right\}, i_s \leq i \leq i_f, \quad (13)$$

where

E_{settling} , is the *transition settling error*,

$\max\{\dots\}$ returns the maximum value of its argument,

$level(s_k)$ is the *state level* of the k^{th} *state*,

$k = 1$ or 2 depending on whether the *state level* selected in step (b) was s_1 or s_2 .

5.4 Analysis of single and repetitive pulse waveforms

5.4.1 General

The algorithms in 5.4 assume the *repetitive pulse waveform* is a *compound waveform* comprised of either *positive pulse waveforms* or *negative pulse waveforms*. In either case, the user of this standard shall specify whether the computed parameters of the *repetitive pulse waveform* were based on it being comprised of *positive pulse waveforms* or *negative pulse waveforms*.

5.4.2 Algorithm for calculating pulse duration

- Select a *waveform epoch* or subepoch that contains exactly one *pulse waveform*.
- Select the x % *reference level*. Typically the $y_{50\%}$ is used.
- Calculate the *reference level instant*, $t_{1,x\%}$, for the x % *reference level* in accordance with 5.3.4 for the *positive-going* (*negative-going*) *transition* of the *waveform* selected in step (a).
- Calculate the *reference level instant*, $t_{2,x\%}$, for the x % *reference level* in accordance with 5.3.4 for the *negative-going* (*positive-going*) *transition* of the *waveform* used in step (c) above.
- The *pulse duration*, T_P , is the absolute value of the difference between the *reference level instants* found in steps (c) and (d):

$$T_P = |t_{2,x\%} - t_{1,x\%}|, \quad (14)$$

where

T_P is the *pulse duration*,

$t_{1,x\%}$ and $t_{2,x\%}$ are the *reference level instants*.

5.4.3 Algorithm for calculating waveform period

- Select a *waveform epoch* or subepoch that contains exactly two *pulse waveforms* within that *waveform epoch*.
- Determine $level(s_1)$ and $level(s_2)$ using a method from 5.2.

- c) Select the y_x % *reference level*. Typically the y_{50} % is used.
- d) Calculate the *reference level instant*, $t_{1,x}$ %, for the y_x % *reference level* in accordance with 5.3.4 for either the *positive-going* (or *negative-going*) *transition* on a *pulse* in the *waveform*.
- e) Calculate the *reference level instant*, $t_{2,x}$ %, for the y_x % *reference level* in accordance with 5.3.4 for either the *positive-going* (or *negative-going*) *transition* (consistent with the choice made in step (d)) on a *pulse* immediately following or preceding the *pulse* used in step (d) above.
- f) The *period*, T , is the difference between the *reference level instants* found in steps (d) and (e):

$$T = |t_{2,x\%} - t_{1,x\%}|, \quad (15)$$

where

T is the *period*,

$t_{1,x}$ % and $t_{2,x}$ % are the *reference level instants*.

5.4.4 Algorithm for calculating pulse separation

There are two methods given here for calculating pulse separation.

a) Method 1

- 1) Select a *waveform epoch* or subepoch that contains exactly two *pulse waveforms* within that *waveform epoch*.
- 2) Determine $level(s_1)$ and $level(s_2)$ using a method from 5.2.
- 3) Select the y_x % *reference level*. Typically the y_{50} % is used.
- 4) Calculate the *reference level instant*, $t_{1,x}$ %, for the y_x % *reference level* in accordance with 5.3.4 for the second (or first) *transition* of a *pulse* in the *waveform*.
- 5) Calculate the *reference level instant*, $t_{2,x}$ %, for the y_x % *reference level* in accordance with 5.3.4 for the first (or second) *transition* on the *pulse* immediately following or preceding the *pulse* used in step (a)4) above.
- 6) The *pulse separation*, T_S , is the difference between the *reference level instants* found in step a)4) and step (a)5):

$$T_S = |t_{2,x\%} - t_{1,x\%}|, \quad (16)$$

where

T_S is the *pulse separation*,

$t_{1,x}$ % and $t_{2,x}$ % are the *reference level instants*.

b) Method 2

- 1) Calculate the *pulse duration* according to 5.4.2.
- 2) Calculate the *waveform period* according to 5.4.3.
- 3) The *pulse separation*, T_S , is the difference between the *waveform period* and the *pulse duration*:

$$T_S = T - T_P, \quad (17)$$

where

T_S is the *pulse separation*,

T is *pulse period* determined in 5.4.3,

T_P is *pulse period* determined in 5.4.2.

5.4.5 Algorithm for calculating duty factor

- a) Calculate the *pulse duration* according to 5.4.2.
- b) Calculate the *waveform period* according to 5.4.3.
- c) The *duty factor*, d_f , is given by the ratio of the *pulse duration* to the *waveform period*:

$$d_f = \frac{T_P}{T}, \quad (18)$$

where

d_f is the duty factor,

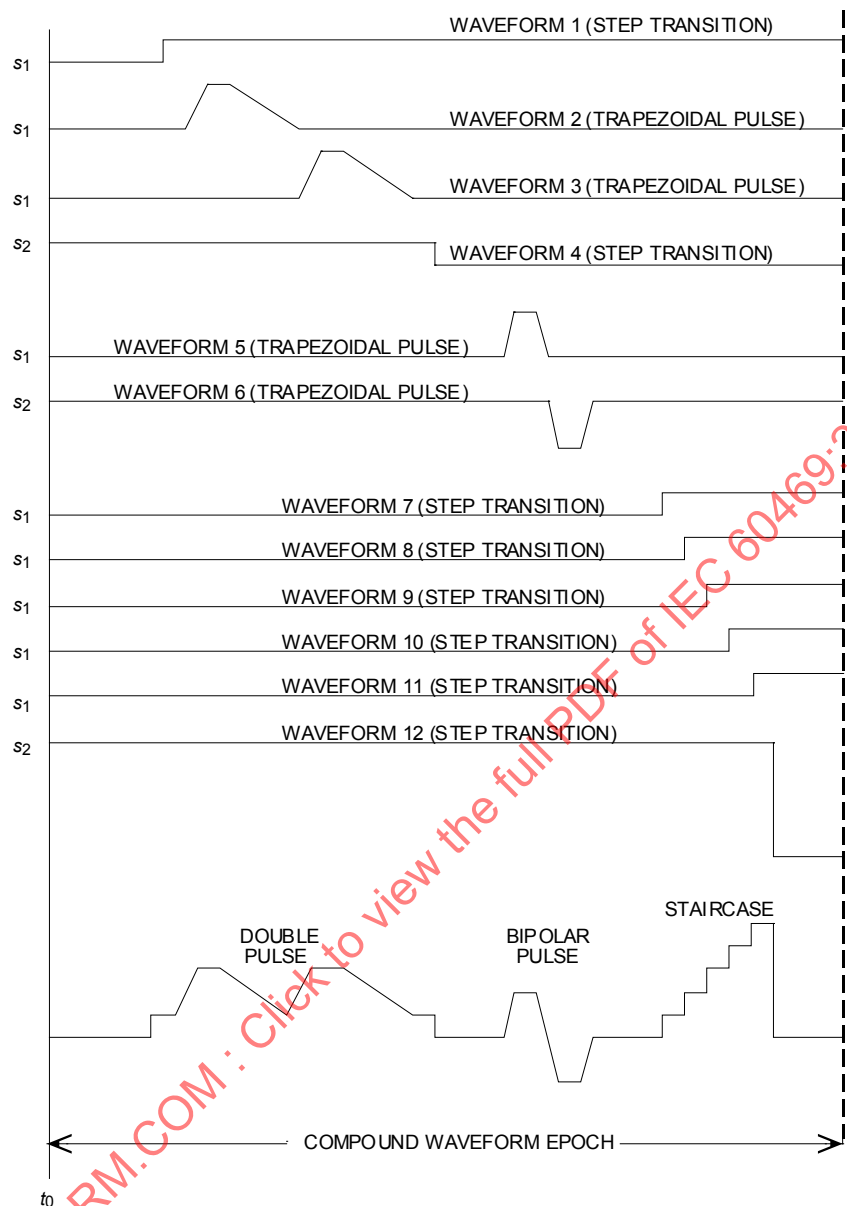
T is *pulse period* determined in 5.4.3,

T_P is *pulse period* determined in 5.4.2.

5.5 Analysis of compound waveforms

5.5.1 General

Typically, the analysis of a *compound waveform* involves three steps. The first step is to decompose the *waveform epoch* of the *compound waveform* into subepochs, where each subepoch contains an elementary component of the *waveform* (see Figure 11). An elementary component includes those defined in this standard (*transitions*, *state levels*, *runts*, *spikes*, *transients*, *terminal features*) and those that may be defined by the user of this standard. This decomposition of the *waveform epoch* into appropriate subepochs is the parsing process. The second step of *compound waveform* analysis is to classify or categorize the *waveform* subepochs. This process involves identifying each subepoch as containing a specific elementary component of a *waveform*. The last step in compound waveform analysis is to recombine those subepochs required to compute the desired waveform parameter. In any analysis of *compound waveforms*, the algorithms or procedures used in these processes shall be specified.



IEC 862/13

Figure 11 – Generation of a compound waveform

5.5.2 Waveform parsing

This subclause contains a set of algorithms for decomposing the *compound waveform* into subepochs that contain either *transitions*, *transients*, *terminal features*, or *state levels*. The inputs for this process are:

- $y[]$ is the array containing the *waveform* amplitude values
- i is the *waveform* sample index, $i = 1, \dots, N_samples$
- $N_samples$ is the number of samples in the *compound waveform*
- $state_upper[]$ is the array containing the values defined by the user of this standard for the upper *boundary* for each *state* in the *waveform*
- $state_lower[]$ is the array containing the values defined by the user of this standard for the lower *boundary* for each *state* in the *waveform*

- j is the *state* index, $j = 1, \dots, N_states$. $j = 1$ is the *base state* (see 3.2.40.1).
- N_states is the number of states in the *compound waveform*. For example, for a *pulse train* of *pulses* having equal *pulse amplitude*, $N_states = 2$.
- d_{min} is the minimum *duration* (given in number of samples) required for a *state occurrence*

The outputs of this decomposition process are:

- *assigned_state[]* is an integer array containing *state* assignments for each sample of the *waveform*. These assignments are necessary to complete the parsing process.
- N_sub is the number of subepochs determined
- *sub_start[]* is the array containing the starting *waveform* sample index for each subepoch
- *sub_end[]* is the array containing the ending *waveform* sample index for each subepoch
- k is the subepoch index, $k = 1, \dots, N_sub$
- *sub_type[]* is an array containing a temporary subepoch classification index.

If *sub_type[k]* is a positive integer, then the associated subepoch contains a *state occurrence* and the value of *sub_type[k]* is the state number. The value of *sub_type* = 0 is used as a temporary classification to indicate that a subepoch is not a *state occurrence* but has not yet been further classified.

The first step in the parsing process assigns *state levels* to each *waveform* value by comparing the *waveform* value to the upper and lower *boundaries* of all the *states* defined for the *compound waveform*. If the *waveform* value is contained within *state boundaries* of a *state*, then that *waveform* value is assigned a *state level* indicator, such as “1” for s_1 , “2” for s_2 , etc. If the *waveform* value is not within the *state boundaries* of any *state*, then the value of its associated *assigned_state[]* is set to zero. Once this step is completed, each *waveform* value has an associated value in the array *assigned_state[]*.

```

for i = 1 .. N_samples
    assigned_state[i] = 0
    for j = 1 .. N_states
        if (state_lower[j] <= y[i] <= state_upper[j]) assigned_state[i] = j
    endfor
endfor

```

The following algorithm decomposes the *compound waveform* into subepochs based on values in the array *assigned_state[]*. This is the second step in parsing the *compound waveform*. The subepochs provided at the end of this step are not the final subepochs because they may contain parts of *transitions* or *transients*. These parts will be recombined in a subsequent step (as described later). Once this step is complete, each temporary subepoch has an associated starting *waveform* sample index (found in *sub_start[]*), an associated ending *waveform* sample index (found in *sub_end[]*), and an assigned classification (found in *sub_type[]*).

```

i = 1
k = 1
do
    current_assignment = assigned_state[i]
    sub_start[k] = i
    sub_type[k] = current_assignment
    while( (assigned_state[i] = current_assignment) and i < N_samples) i = i + 1 endwhile
    sub_end[k] = i - 1
    if (sub_end[k] - sub_start[k] < d_min - 1) sub_type[k] = 0
    k = k + 1
    i = i + 1
while(i < N_samples)
N_sub = k - 1

```


The next step in parsing the *compound waveform* is to examine the temporary subepochs created in the previous step and merge those temporary subepochs that together form a *transition* or a *transient*. This step is performed by the following algorithm.

```

j = 1
while(j < N_sub)
  if (sub_type[j] = 0)
    while (sub_type[j+1] = 0) Merge(j) endwhile
  endif
  j = j + 1
endwhile

```

This algorithm uses the function Merge(j), which merges the j^{th} and $(j+1)^{\text{st}}$ subepochs into one subepoch. This function is given by:

```

Merge(j)
  sub_end[j] = sub_end[j+1]
  N_sub = N_sub - 1
  for i = j+1 .. N_sub
    sub_start[i] = sub_start[i+1]
    sub_end[i] = sub_end[i+1]
    sub_type[i] = sub_type[i+1]
  endfor
end Merge

```

Once this parsing process is complete, the *compound waveform* has been decomposed into subepochs containing either *state levels*, *terminal features*, *transients*, and/or *transitions*. The next step in the analysis of the *compound waveform* is to classify the subepochs.

5.5.3 Subepoch classification

The subepochs found using the process described in 5.5.1 will be classified. The following algorithm provides a classification scheme. This classification scheme will only classify subepochs as either *terminal features*, *state levels*, *transients*, or *transitions*. Subepochs that contain a *state occurrence* are given a number corresponding to the *state level* numbering described in 3.2.42, in which the number is related to the *level* of the *state*. When this process is complete, each subepoch will be uniquely defined by its classification and stop and start indices. The input for this algorithm is array *sub_type[]* and output is the array *sub_class[]*. The array *sub_class[]* contains the final classification of each subepoch.

```

terminal = -1
transient = -2
transition = -3
if (sub_type[1] = 0) sub_class[1] = terminal
if (sub_type[N_sub] = 0) sub_class[N_sub] = terminal
for k = 2 .. N_sub - 1
  if ((sub_type[k] = 0) and (sub_type[k+1] ≠ sub_type[k-1])) then sub_class[k] = transition
  else sub_class[k] = transient
  endif
if (sub_type[k] ≠ 0) sub_class[k] = sub_type[k]
endfor

```

5.5.4 Waveform reconstitution

Once the original *waveform epoch* has been parsed into subepochs and these subepochs appropriately classified, the appropriate sequential subepochs shall be selected for calculating the desired *waveform parameters*. These sequential subepochs create a new *waveform*, which is a subset of the original *waveform* and that has a *duration* shorter than the original *waveform*. For example, if the first *transition duration* of the n^{th} pulse in a *pulse train* of *positive pulses* is desired, where this *transition* is located in the j^{th} subepoch, then the $(j-1)^{\text{th}}$, j^{th} , and $(j+1)^{\text{th}}$ subepochs are selected to create the new *waveform*, which starts at

$sub_start[j-1]$ and ends at $sub_end[j+1]$. The algorithms for computing the *transition duration* (see 5.3.5) are then applied to this new *waveform*.

5.6 Analysis of impulse-like waveforms

5.6.1 Algorithm for calculating the impulse amplitude

- Determine $level(s_1)$ using a method described in 5.2.
- Determine the maximum *waveform* value and the sampling *instant* at which it occurs.
- Fit a parabola (or function specified by the user of this standard) to five (or a number specified by the user of this standard) points of the *waveform* with the third (middle) point being the maximum *waveform* value determined in step (b).
- The *impulse amplitude* is the value of the fitted parabola at the vertex.

5.6.2 Algorithm for calculating impulse center instant

- Determine the *amplitude* of the *impulse-like waveform* as described in 5.6.1.
- The *impulse center instant* is the instant associated with the vertex of the fitted parabola.

5.7 Analysis of time relationships between different waveforms

5.7.1 General

The time relationships between different *waveforms* may be analyzed by:

- applying the methods described earlier in the analysis of the different *waveforms* and;
- determining the time relationships between different *waveforms* as computed *intervals* or *durations* as described in 5.3.5 and 5.4.2.

5.7.2 Algorithm for calculating delay between different waveforms

- Calculate $t_{50\%}$ for each *waveform* as described earlier in the algorithm for calculating *transition duration* between the $x1\%$ and $x2\%$ *reference levels*.
- Calculate the *delay* as the difference between $t_{50\%}$ for the different *waveforms*:

$$T_D = t_{mid,W1} - t_{mid,W2}, \quad (19)$$

where

T_D is the delay,

$t_{mid,W1}$ is the 50 % *reference level instant* for one of the *waveforms*,

$t_{mid,W2}$ is the 50 % *reference level instant* for the other *waveforms*.

NOTE *Delay* can be either positive or negative (negative *delay* can also be called "advance").

5.8 Analysis of waveform aberration

The analysis of *waveform aberration* (See 5.3.7.) entails the determination of the differences between a *waveform* and a *reference waveform*. In any *aberration* determination the type of *reference waveform* shall be specified.

The *reference waveform* shall be properly located, in time and in *level*, relative to the *waveform* being analyzed.

5.9 Analysis of fluctuation and jitter

5.9.1 General

The analysis of *fluctuation* and *jitter* involves making repeated independent measurements of the same quantity and evaluating the standard deviation of the results. In many cases, the measurement of *fluctuation* and *jitter* includes the *fluctuation* and *jitter* of the instrument used

for the measurements, and this should be taken into account. Also, in many cases the result of a measurement of either *fluctuation* or *jitter* is influenced by the presence of the other. The correct determination of *fluctuation* and *jitter* often requires multiple measurements taken under different conditions and the solution of simple algebraic equations to determine the individual *parameters*.

5.9.2 Determining standard deviations

5.9.2.1 General

There are two commonly used methods for determining the standard deviations required for *fluctuation* and *jitter* analysis: the direct method and the histogram method. Both will be described here. Any method of measuring a standard deviation includes an inherent statistical error. An estimate of that error will be given here. This subclause also gives the standard method for correcting standard deviation results for the contributions from interfering sources.

5.9.2.2 Standard deviation – Direct method

A number, M , of independent measurements are made of the same *parameter*, p_i . The standard deviation of these measurements is determined as follows:

- a) Calculate the mean value, $\bar{p}$, using the following formula:

$$\bar{p} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M p_i, \quad (20)$$

where

M is the number of independent measurements,

p_i is the value of the i^{th} measurement of the parameter.

- b) Calculate the standard deviation using the following formula:

$$\sigma_p = \sqrt{\frac{1}{M-1} \sum_{i=1}^M (p_i - \bar{p})^2}. \quad (21)$$

5.9.2.3 Standard deviation -- Histogram method

The histogram method has the advantage that it does not require storage of each of the M measurement values. This method is often incorporated into instruments. In this method, a histogram is generated of the M measurement values using the method of 5.2.2.2 if applicable. The histogram is comprised of B histogram bins numbered from 1 through B . The value at the center of the k^{th} histogram bin is denoted by v_k , and the count in the k^{th} bin is denoted by c_k . The standard deviation is calculated as follows:

- a) Determine the mean of the *parameter* value by using:

$$\bar{p} = \frac{1}{M} \sum_{k=1}^B c_k v_k, \quad (22)$$

where

c_k is the count in the k^{th} bin,

v_k is the center of the k^{th} bin,

B is the number of histogram bins.

- b) Calculate the standard deviation of the parameter value using:

$$\sigma_p = \sqrt{\left(\frac{1}{M-1} \sum_{k=1}^B v_k^2 c_k \right) - \bar{p}^2}. \quad (23)$$

For these results to be valid, there are restrictions on the histogram parameters. First, the bin width, that is the value of $v_k - v_{k-1}$, should be small compared to the value determined for the standard deviation. The histogram calculation of the standard deviation can be as large as one-half of the bin width. Second, the values associated with the most negative bin and with the most positive bin should be sufficient to include the tails of the distribution. If the bins include $\bar{p} \pm 3\sigma$, this error will be less than 3 % of σ .

5.9.2.4 Accuracy of standard deviation

The value of the standard deviation calculated by either of the above methods is a random variable and has an inherent statistical error. Under the assumption that the values of the *parameter* for which the standard deviation was found have normal distributions, the standard deviation of the calculated standard deviation is given by:

$$\Sigma_p = \sigma_p \sqrt{1 - \frac{2}{M-1} \left(\frac{\Gamma\left(\frac{M}{2}\right)}{\Gamma\left(\frac{M-1}{2}\right)} \right)^2}, \quad (24)$$

where

Σ_p is the standard deviation of the calculated standard deviation,

σ_p is the calculated standard deviation (see 5.9.2.2 and 5.9.2.3), and

Γ is the gamma function.

This formula can be approximated by the following:

$$\Sigma_p \cong \frac{\sigma_p}{\sqrt{2(M-1)}}. \quad (25)$$

Table 1 shows the ratio of Σ_p calculated using Equation (24) to that calculated using Equation (25):

Table 1 – Comparison of the results from the exact and approximate formulas for computing the standard deviation of the calculated standard deviations

<i>M</i>	Σ_p calculated using [24]	Σ_p calculated using [25]	ratio
5	$0,341063\sigma_p$	$0,353553\sigma_p$	0,965
10	$0,232197\sigma_p$	$0,235702\sigma_p$	0,985
20	$0,161225\sigma_p$	$0,162221\sigma_p$	0,994
50	$0,100756\sigma_p$	$0,101015\sigma_p$	0,997
100	$0,070943\sigma_p$	$0,071067\sigma_p$	0,998

5.9.2.5 Correcting the standard deviation

Often the measured standard deviation for the *parameter* of interest will have a contribution due to interfering sources. Examples will be given later. This section gives the standard method for correcting for the interference. If σ_{obs} is the observed standard deviation and σ_I is the contribution to the standard deviation from the interfering source, then the estimate for the true standard deviation is

$$\sigma_p = \sqrt{\sigma_{\text{obs}}^2 - \sigma_I^2}, \quad (26)$$

where

σ_p is the estimated standard deviation,

σ_I is the contribution to the standard deviation from the interfering source,

σ_{obs} is the observed standard deviation.

If the values of σ_{obs} and σ_I are close to each other, then one should assure that the error in each is sufficiently small, as described in 5.9.2.6. If there are n different interfering sources, each with standard deviation σ_j , then the value for σ_I is given by the square root of the sum of their squares:

$$\sigma_I = \sqrt{\sum_{j=1}^n \sigma_j^2}, \quad (27)$$

where

σ_j is the standard deviation from each j^{th} interfering source,

n is the number of interfering sources.

5.9.2.6 Errors in the corrected standard deviation

The standard deviation of the corrected standard deviation is given by:

$$\frac{\Sigma_p}{\sigma_p} = \frac{\sqrt{\sigma_{\text{obs}}^2 \Sigma_{\text{obs}}^2 + \sigma_I^2 \Sigma_I^2}}{\sigma_p^2}, \quad (28)$$

where

σ_p is the calculated standard deviation,

Σ_I is the standard deviation of the standard deviation of the interfering sources,

Σ_{obs} is the standard deviation of the observed standard deviation of the parameter.

If there are n different interfering sources contributing to σ_I , each with standard deviation σ_j that has standard deviation Σ_j , then the value for Σ_I is given by:

$$\Sigma_I = \frac{\sqrt{\sum_{j=1}^n \sigma_j^2 \Sigma_j^2}}{\sigma_I}.$$

If the ratio, Σ_p/σ_p , is not small, then there is significant error in the calculated value of σ_p . In the case that both of the standard deviations in the right hand side of Equation (28) were determined with the same number of measurements, M , this reduces to a simpler relation, namely,

$$\frac{\Sigma_p}{\sigma_p} \leq \frac{\alpha}{\sqrt{M}}, \quad (29)$$

where

M is the number of measurements,

$$\alpha = \max\left(\frac{\sigma_{\text{obs}}}{\sigma_p}, \frac{\sigma_I}{\sigma_p}\right),$$

where

$\max\{..\}$ returns the maximum value of its argument,
all other variables have been defined for Equation (28).

5.9.3 Measuring fluctuation and jitter of an instrument

5.9.3.1 General

Before using an instrument to measure the *fluctuation* and *jitter* of a *signal* source one should determine the *fluctuation* and *jitter* of the instrument. The instrument will typically be some form of digital oscilloscope. It is most convenient to measure *fluctuation* first.

5.9.3.2 Measuring *fluctuation* of an instrument

5.9.3.2.1 General

The measurement of the *fluctuation* of the instrument depends on the *level parameter* of interest and on the algorithm that will be used to determine the *level parameter*. The *parameter* calculations performed in the instrument *fluctuation* measurements shall be made with essentially the same algorithm as will be used for the *parameter* calculations in the *signal* source *fluctuation* measurements. Two approaches are presented in 5.9.3.2.2 and 5.9.3.2.3.

5.9.3.2.2 Measuring *fluctuation* of an instrument -- Simulation approach

This approach requires a input *signal* that is similar to the *signal* source to be tested and is known to have a *fluctuation* less than one-quarter of the *fluctuation* of the *signal* to be measured.

- Record M waveforms of the input *signal*.
- Calculate the value of the *level parameter* for each recorded *waveform* using one of the algorithms described in s 5.2 and 5.3, if applicable.
- Determine the standard deviation, σ_{obs} , of the values obtained in step (b) by any of the methods described in 5.9.2.

If the input *signal* does not have negligible *fluctuation* compared to that of the instrument, and if the instrument *fluctuation* will subsequently be used to correct the measured *fluctuation* value of a device under test, then the corrected *fluctuation* of the device under test will be underestimated.

5.9.3.2.3 Measuring *fluctuation* of an instrument – Constant *signal* approach

- a) Record M records of a constant *signal*.
- b) Calculate the value of the *level parameter* for each record obtained in step (a) using an algorithm essentially equivalent (see 5.2 and 5.3 if applicable) to the algorithm that will be used to determine the *level parameter* for the *signal* source.
- c) Determine the standard deviation of the values obtained in step (b) by any of the methods of 5.9.2.

Use of this method is valid with the assumption that the instrument's contribution to *fluctuation* is caused by additive random noise, which is often the case.

In step (b) it may not be possible to use the exact same algorithm to calculate the *level parameter* for a constant *signal* that will be used for the actual time-varying *signal*. For example, if the *level parameter* is the *amplitude* of a *transition*, the algorithm may involve taking a histogram of the entire record, separating it into two separate histograms based on the two modes, and taking the difference of the means, medians or modes of the two histograms. With the *waveform* of a constant *signal*, a bimodal histogram is not obtained. Therefore, a different method shall be supplied to obtain two separate histograms, one histogram each for the two constant-*signal waveforms*. Each of these two histograms should come from approximately the same time interval in the record, have the same histogram bin width, and have approximately the same number of total counts as the corresponding histogram for the time varying *signal*. The calculations done on these two histograms should be identical to those that will be done when a time-varying *signal* is present.

5.9.3.3 Measuring *jitter* of an instrument

5.9.3.3.1 General

There are two distinct kinds of *jitter*: *trigger jitter* and *relative jitter*. For an instrument, (as opposed to a *signal* source) *trigger jitter* refers to the variation between the *instant* the trigger *signal* occurs and the *instant* that a given *waveform* sample is taken. *Relative jitter* refers to the variation in the *interval* between two sample *instants* in the same record. *Relative jitter* may be dependent on the time *interval* between the two sample *instants*. *Trigger jitter* may depend on the *instant*, within the *waveform epoch*, of the sample used in the measurement. The interval between the trigger *instant* and the sample *instant* should be chosen to be as short as possible.

5.9.3.3.2 Measuring *trigger jitter* of an instrument

The measurement requires a *signal* with a rapid *transition*. How rapid will be discussed later. The *signal* is passively split into two *signals*, one to provide the trigger and one to be recorded on the instrument under test. The *signal* to be recorded may have to be *delayed* (with a passive *delay* line) in order to record, in the *waveform*, the rapid *transition* of the *signal*.

- a) Record M *waveforms*, each containing the rapid *transition* of the *signal*.
- b) Calculate the average, $\bar{y}_i$, of the M *waveforms* for every *instant* of the *waveform* using:

$$\bar{y}_i = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M y_{m,k}, \quad [30]$$

where

$\bar{y}_i$ is the average,

$y_{m,k}$ are the *waveform* values,
 M is the number of *waveforms*,
 m is the *waveform* index,
 k is the *waveform* sample index.

- c) Using $\bar{y}_i$, determine a *level*, v_0 , at which the instantaneous slope, S , in the *transition* of the *signal* is large and determine the value of S at v_0 by a method specified by the user of this standard.
- d) For each of the M *waveforms*, determine the *instant* at which the *waveform* value crosses v_0 using the method of 5.3.4.
- e) Determine the standard deviation, σ_{ToBS} , of the *instants* obtained in step (d).
- f) Correct the result found in step (d) for *fluctuation* using the following formula:

$$\sigma_{ITJ} = \sqrt{\sigma_{\tau,obs}^2 - \left(\sigma_{IF}/S\right)^2} \quad [31]$$

where

σ_{ITJ} is the corrected standard deviation (corrected *trigger jitter*),
 $\sigma_{\tau,obs}$ is the observed standard deviation of the *instants* (observed *trigger jitter*),
 σ_{IF} is the rms *fluctuation* of individual values from the instrument,
 S is the instantaneous slope in the *transition* of the *signal*.

To verify the result, the standard deviation of σ_{τ} should be calculated using the method of 5.9.2.6.

5.9.3.3.3 Measuring relative jitter of an instrument

This measurement requires a test *signal* with two rapid *transitions*, such as a *rectangular pulse*. The *interval* between the two *transitions* of the test *signal* should have *jitter* less than one-fourth of the *jitter* to be measured and be approximately the same as the *interval* over which the relative *jitter* is to be measured.

- a) Record M *waveforms*, each containing the two rapid *transitions* of the *signal*.
- b) Calculate the average, $\bar{y}_i$, of the M *waveforms* for every *instant* of the *waveform* as described in step (b) of 5.9.3.3.2.
- c) Using $\bar{y}_i$, determine *levels*, v_1 and v_2 , (one on each *transition*) at which the slope, S , in the *transition* of the *signal* is large. Determine S_1 for v_1 and S_2 for v_2 by a method specified by the user of this standard.
- d) Determine the *instant*, t_1 , when v_1 occurs using the method described in 5.3.4.
- e) Determine the *instant*, t_2 , when v_2 occurs using the method described in 5.3.4.
- f) For each of the *waveforms* from step (a) calculate the difference, $t_2 - t_1$.
- g) Determine the standard deviation, σ_{ToBS} , of the time differences calculated in step (f).
- h) Correct the result found in step (g) for *fluctuation* using the following formula:

$$\sigma_{\tau,IJ,rel} = \sqrt{\sigma_{\tau,obs}^2 - \left(\sigma_{IF}/S_1\right)^2 - \left(\sigma_{IF}/S_2\right)^2} \quad [32]$$

where

$\sigma_{\tau,IJ,rel}$ is the relative jitter of the instrument,
 S_1 and S_2 are the instantaneous slopes in the *transitions* of the *signal*.

To verify the result, the standard deviation of σ_T should be calculated using the method of 5.9.2.6.

5.9.4 Measuring *fluctuation* and *jitter* of a *signal* source

5.9.4.1 General

The measurements for a *signal* source are identical to those for an instrument except that the *signal* source is used instead of a test *signal*. The *signal* source measurements have an additional correction for the *fluctuation* and *jitter* of the instrument.

5.9.4.2 Measuring *fluctuation* of a *signal* source

a) Perform steps (a) through (c) of 5.9.3.2.2.

b) Determine the corrected standard deviation, $\sigma_p = \sqrt{\sigma_{obs}^2 - \sigma_I^2}$, where σ_I is the fluctuation of the instrument as determined by one of the methods of 5.9.3.2. To verify the result, the standard deviation of σ_p should be calculated using the method of 5.9.2.65.

5.9.4.3 Measuring the *trigger jitter* of a *signal* source

This requires triggering the oscilloscope with the trigger generated by the *signal* source and recording a rapid transition of the *signal* source on the oscilloscope.

a) Perform steps (a) through (e) of 5.9.3.3.2.

b) Correct the result found in step (a) for *fluctuation* of the *signal* source and *jitter* and *fluctuation* of the instrument using the following formula:

$$\sigma_{\tau,STJ} = \sqrt{\sigma_{\tau,obs}^2 - \sigma_{ITJ}^2 - \left(\sigma_{IF}/S\right)^2 - \left(\sigma_F/S\right)^2} \quad [33]$$

where

$\sigma_{\tau,STJ}$ is the trigger *jitter* of the *signal* source,

σ_F is the *fluctuation* of the instrument *signal* source,

To verify the result, the standard deviation of σ_T should be calculated using the method of 5.9.1.5.

5.9.4.4 Measuring a relative *jitter* of a *signal* source

There are several *jitter* values that involve the *interval* between two *instants*: *cycle-to-cycle jitter*, *period jitter*, and *pulse duration jitter*. The measurement method is the same for all of them.

a) Record M waveforms containing the two relevant *instants*.

b) Perform steps (b) through (e) of 5.9.3.3.3 for the *parameter* of interest.

c) Correct the result of step (b) for *fluctuation* and the relative *jitter* in the instrument using the following formula:

$$\sigma_{\tau,SJ,rel} = \sqrt{\sigma_{\tau,obs}^2 - \sigma_{ITJ}^2 - \left(\sigma_{IF}^2/S_1\right)^2 - \left(\sigma_{IF}^2/S_2\right)^2} \quad [34]$$

where

$\sigma_{\tau,SJ,rel}$ is the relative *jitter* of the *signal* source,

To verify the result, the standard deviation of σ_T should be calculated using the method of 5.9.2.6.

Annex A (informative)

Waveform examples

A.1 Reference waveform examples

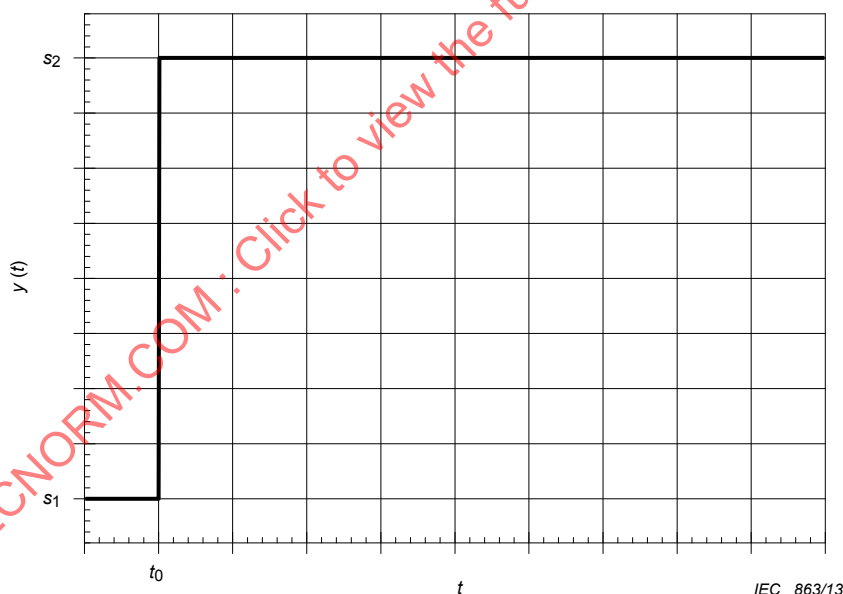
A.1.1 General

A reference *waveform* is a *waveform* that is used for comparison (quantitatively or qualitatively) with, or in evaluation of other *waveforms*. A reference *step-like waveform* may, or may not, be a *step waveform*. Some *waveforms* that are commonly used as reference *waveforms* are defined below (see Figures A.1 to A.8).

A.1.2 Step-like waveform

Figure A.1 shows a *waveform* defined by

$$y(t) = \begin{cases} s_1 & t < t_1 \\ s_2 & t \geq t_1 \end{cases}$$



IEC 863/13

Figure A.1 – Step-like waveform

A.1.3 Linear transition waveform

Figure A.2 shows a *waveform* defined by

$$y(t) = \begin{cases} s_1 & t < t_1 \\ s_1 + \frac{s_2 - s_1}{t_2 - t_1} (t - t_1) & t_1 \leq t \leq t_2 \\ s_2 & t > t_2 \end{cases}$$

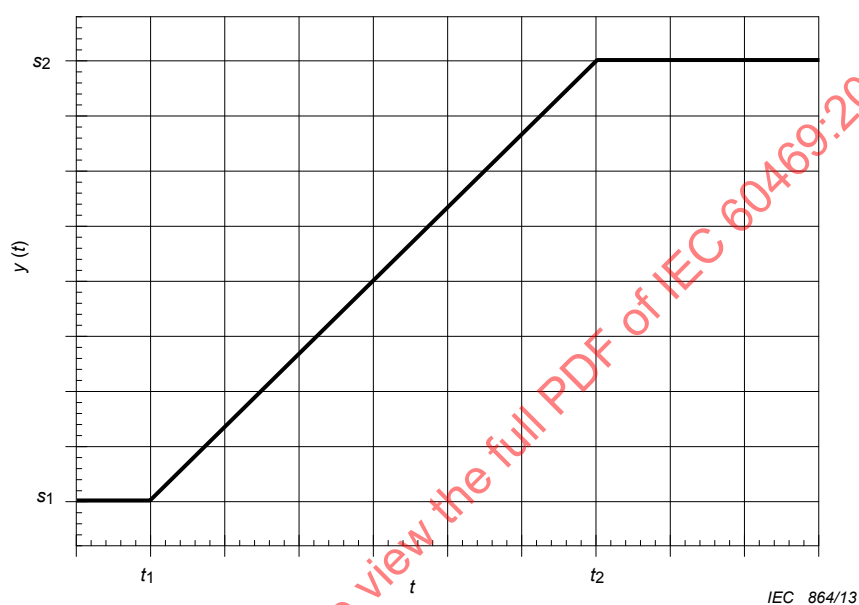


Figure A.2 – Linear transition waveform

A.1.4 Exponential waveform

Figure A.3 shows a transition waveform defined by

$$y(t) = \begin{cases} s_1 & t < t_1 \\ s_1 + (s_2 - s_1) \left[1 - e^{-(t-t_1)/b} \right] & t \geq t_1 \end{cases}$$

where

b = exponential time constant.

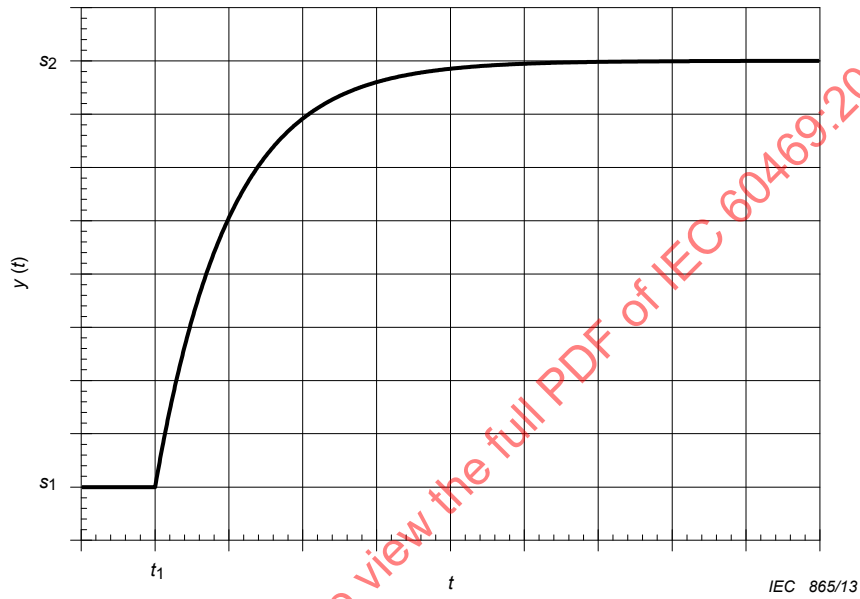


Figure A.3 – Exponential waveform

A.1.5 Impulse-like waveform

Figure A.4 shows a pulse waveform defined as

$$y(t) = \begin{cases} s_1 & t \neq t_1 \\ s_2 & t = t_1 \end{cases}$$

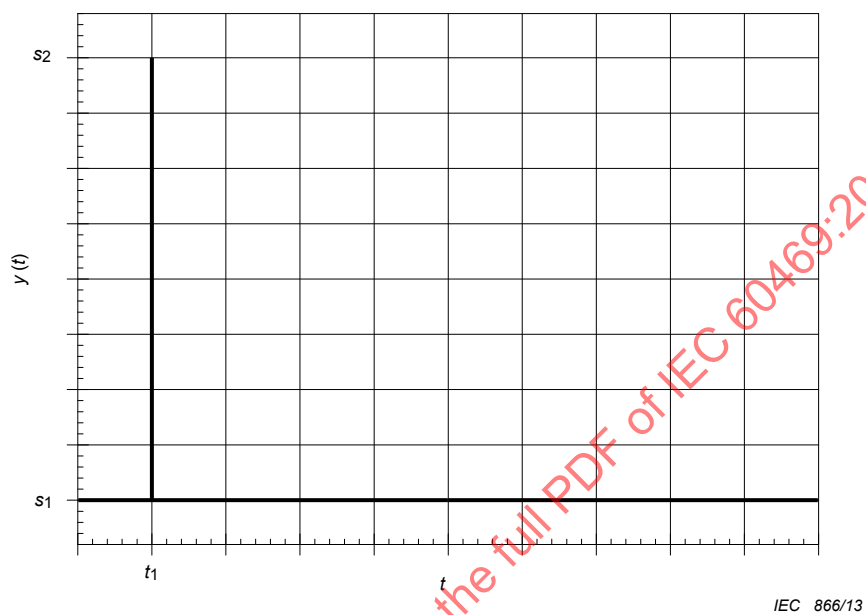
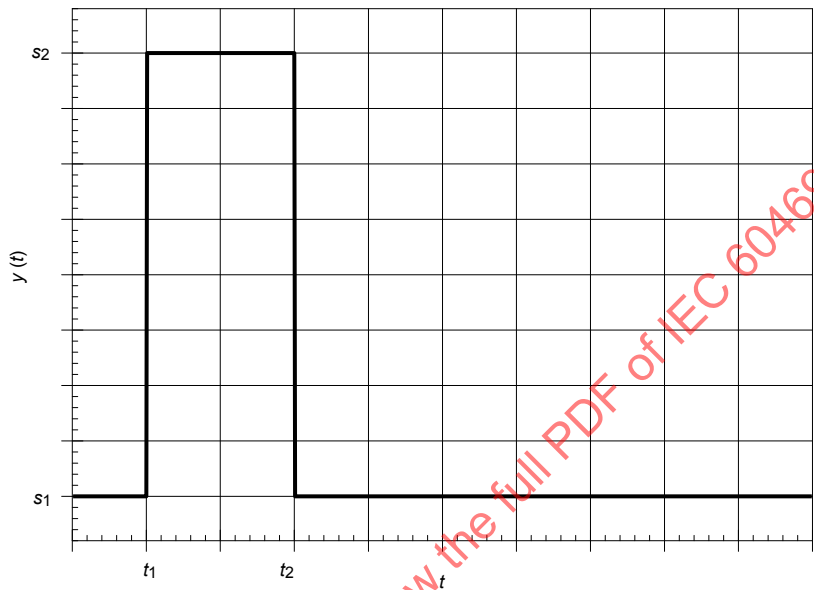


Figure A.4 – Impulse-like waveform

A.1.6 Rectangular *pulse waveform*

Figure A.5 shows a pulse waveform defined as

$$y(t) = \begin{cases} s_1 & t < t_1 \\ s_2 & t_1 \leq t \leq t_2 \\ s_1 & t > t_2 \end{cases}$$



IEC 867/13

Figure A.5 – Rectangular *pulse waveform*

A.1.7 Trapezoidal pulse waveform

Figure A.6 shows a pulse waveform defined as

$$y(t) = \begin{cases} s_1 & t < t_1 \\ s_1 + \frac{s_2 - s_1}{t_2 - t_1} (t - t_1) & t_1 \leq t \leq t_2 \\ s_2 & t_2 < t < t_3 \\ s_2 - \frac{s_2 - s_1}{t_4 - t_3} (t - t_3) & t_3 \leq t \leq t_4 \\ s_1 & t > t_4 \end{cases},$$

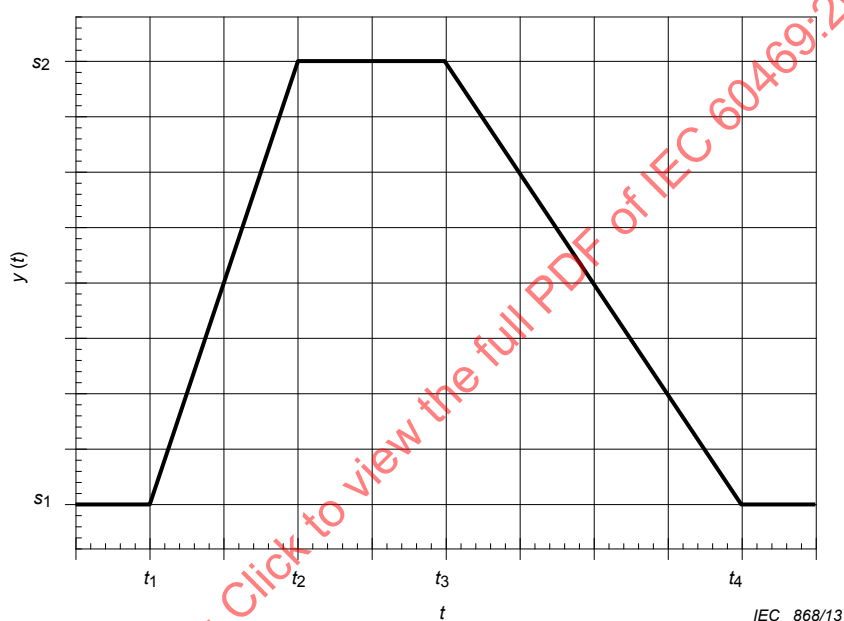
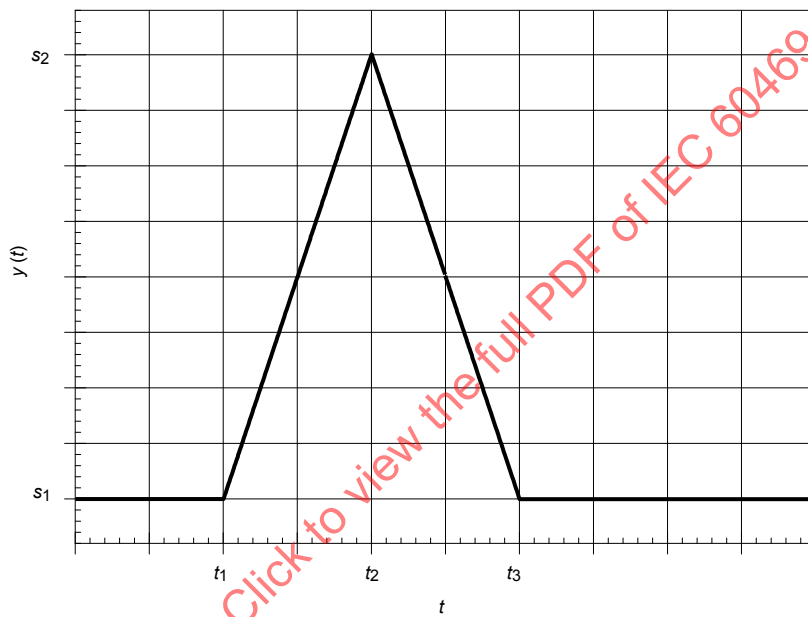


Figure A.6 – Trapezoidal pulse waveform

A.1.8 Triangular pulse waveform

Figure A.7 shows a *pulse waveform* defined as

$$y(t) = \begin{cases} s_1 & t < t_1 \\ s_1 + \frac{s_2 - s_1}{t_2 - t_1}(t - t_1) & t_1 \leq t < t_2 \\ s_2 & t = t_2 \\ s_1 - \frac{s_2 - s_1}{t_3 - t_2}(t - t_3) & t_2 < t \leq t_3 \\ s_1 & t > t_3 \end{cases}$$



IEC 869/13

Figure A.7 – Triangular pulse waveform

A.1.9 Exponential pulse waveform

Figure A.8 shows a pulse waveform defined as

$$y(t) = \begin{cases} s_1 & t < t_1 \\ s_1 + (s_2 - s_1) \left[1 - e^{-(t-t_1)/b} \right] & t_1 \leq t \leq t_2 \\ s_1 + (s_2 - s_1) \left[1 - e^{-(t-t_1)/b} \right] e^{-(t-t_2)/c} & t > t_2 \end{cases}$$

where

b = time constant of first *transition* and

c = time constant of second *transition*.

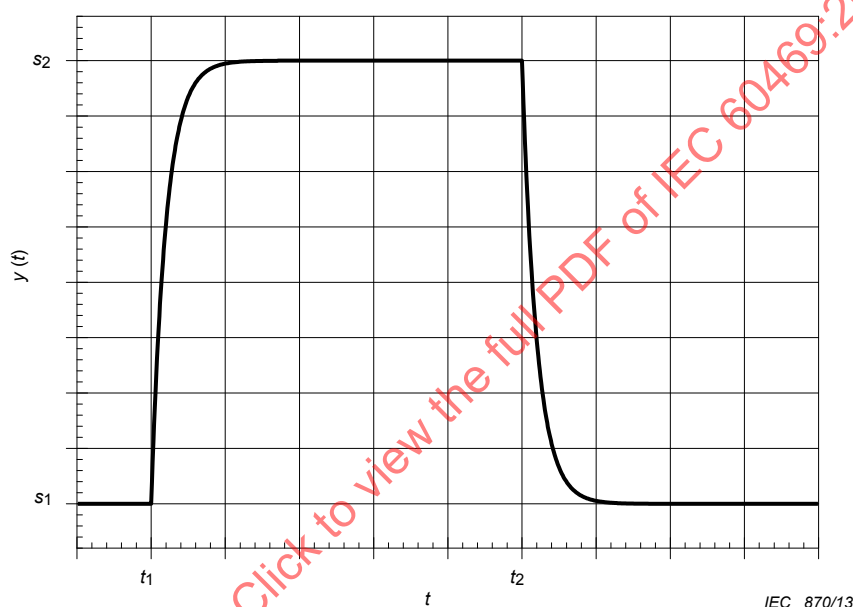


Figure A.8 – Exponential pulse waveform

A.2 Compound waveform examples

A.2.1 General

A *compound waveform* can be generated by concatenating or summing a finite number of single *step-like waveforms*, each of which is defined over an appropriate part of the *waveform epoch*. Examples of some *waveforms* of this type are defined here.

A.2.2 Double pulse waveform

Figure A.9 illustrates:

- the summation of two *pulse waveforms* of the same polarity that are adjacent in time and that are considered or treated as a single *waveform*;
- two pulses with the same polarity, *waveform amplitude* and *base level* that are not overlapping and are treated as a single *waveform*. A *compound waveform* with two *states* and four *transitions*.

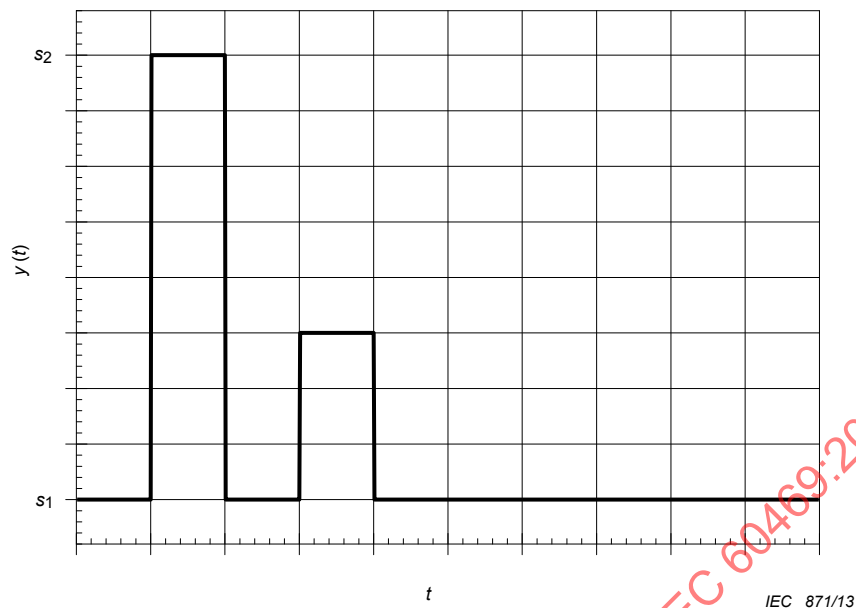


Figure A.9 – Double *pulse waveform*

A.2.3 Bipolar *pulse waveform*

Figure A.10 illustrates:

- 1) The summation of two *pulse waveforms* of opposite polarity that are adjacent in time and that are considered or treated as a single *waveform*.
- 2) Use a figure that stresses the order of the *states*. As an example, the order of the *states* for the figure below is s_2, s_3, s_2, s_1, s_2 . The *states* of the tri-state *waveform* in this example have the ordering $(s_2, 1) (s_3, 1) (s_2, 2) (s_1, 1) (s_2, 3)$.

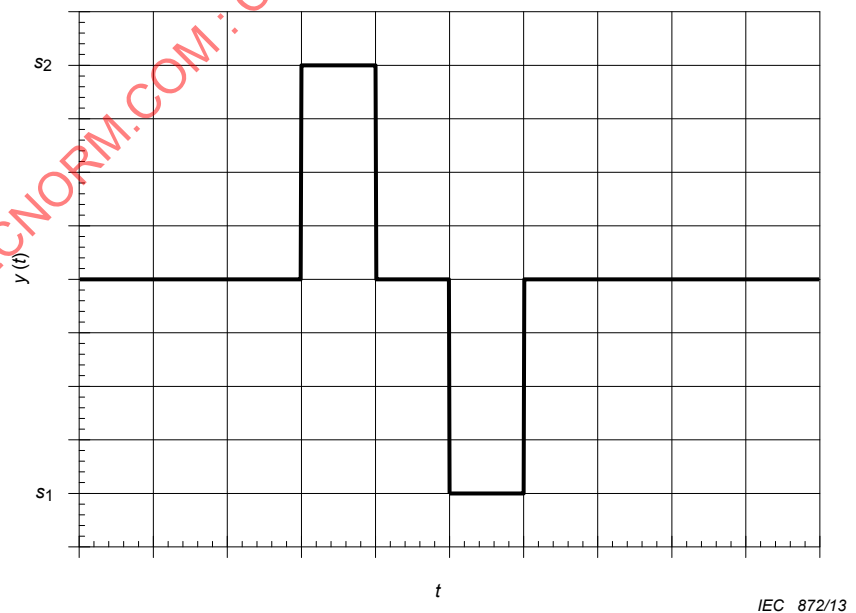


Figure A.10 – Bipolar *pulse waveform*

A.2.4 Staircase waveform

Figure A.11 illustrates the summation of a finite sequence of *step-like waveforms* of the same polarity.

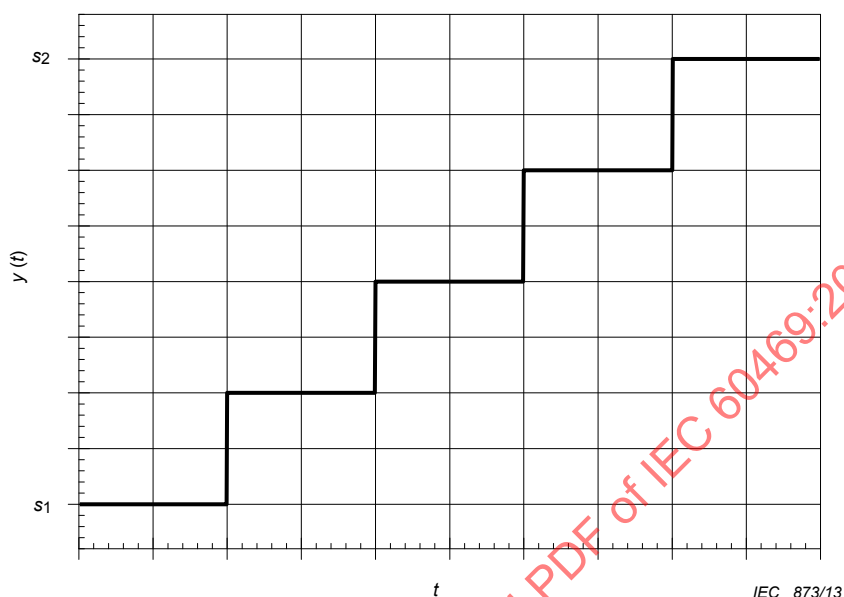


Figure A.11 – Staircase waveform

A.2.5 Pulse train

Figure A.12 illustrates a repetitive sequence of *pulse waveforms*. Unless otherwise specified, all of the *pulse waveforms* in the sequence are assumed to be identical.

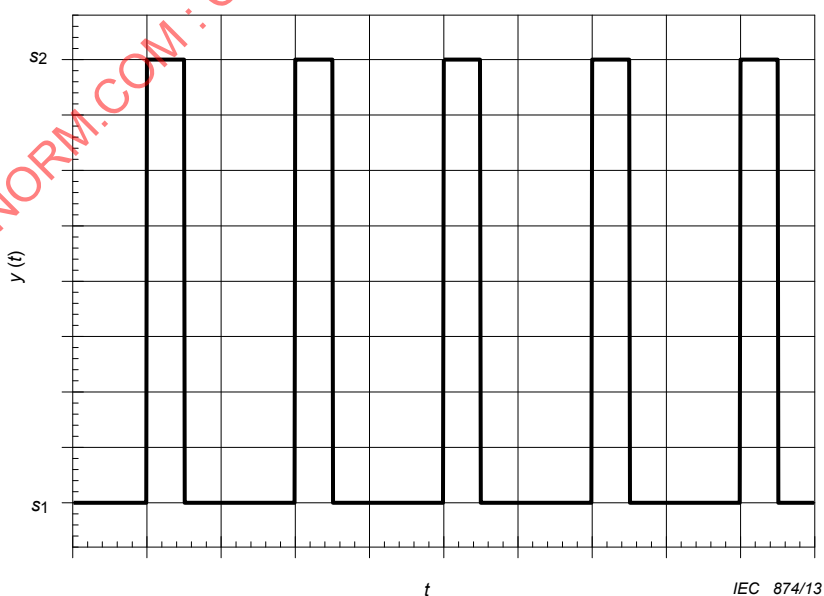


Figure A.12 – Pulse train

Bibliography

- [1] PAULTER, N.G. The effect of histogram size on histogram-derived pulse parameters. *IEEE Transaction on Instrumentation and Measurement*, Volume 47, June 1998, pp. 609-612
- [2] SOLOMON, O. M., LARSON, D.R., PAULTER, N.G. *Comparison of Some Algorithms to Estimate the Low and High State Level of Pulses*. IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference, Budapest, Hungary, 21-23 May 2001
- [3] ROUSSEUW P. and LEROY, A. *Robust Regression and Outlier Detection*, John Wiley & Sons, 2003
- [4] HARTIGAN, J. A. *Clustering Algorithms: Probability and Mathematical Statistics*, John Wiley & Sons, 1975
- [5] HALE P. D. and WANG, C. M. Calculation of pulse parameters and propagation of uncertainty. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol. 58, no. 3, pp. 639-648, Mar. 2009
- [6] THOMPSON, Ambler, TAYLOR Barry N. *Guide for the Use of the International System of Units (SI)*. NIST Special Publication 811, March 2008
- [7] IEEE 100. *The Authoritative Dictionary of IEEE Standards Terms*, Seventh Edition, Institute of Electrical and Electronics Engineers, NJ, USA, December 2000
- [8] 270-2006 *IEEE Standard Definitions for Selected Quantities, Units, and Related Terms, With Special Attention to the International System of Units (SI)*, Institute of Electrical and Electronics Engineers, NJ, USA, September 2006
- [9] SI10-2002 *IEEE/ASTM Standard for Use of the International System of Units (SI): The Modern Metric System*, Institute of Electrical and Electronics Engineers, NJ, USA, December 2002
- [10] IEC 60050 (all parts), *International Electrotechnical Vocabulary* (available at <<http://www.electropedia.org>>)
- [11] ISO/IEC Guide 98-3:2008, *Uncertainty of measurement – Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM: 1995)*
- [12] ISO/IEC Guide 99:2007, *International vocabulary of metrology – Basic and general concepts and associated terms (VIM)*
- [13] ISO 9000:2005, *Quality management systems – Fundamentals and vocabulary*
- [14] ISO 10012:2003, *Measurement management systems – Requirements for measurement processes and measuring equipment*

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60469:2013

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	68
INTRODUCTION.....	70
1 Domaine d'application	72
2 Références normatives.....	72
3 Termes, définitions et symboles	72
3.1 Généralités.....	72
3.2 Termes et définitions	72
3.3 Symboles	91
3.4 Termes déconseillés	91
4 Techniques de mesure et d'analyse.....	92
4.1 Généralités.....	92
4.2 Méthode pour la mesure de la forme d'onde	92
4.3 Description du procédé de mesure de la forme d'onde	93
4.4 Détermination de l'époque de la forme d'onde	94
4.4.1 Sélection d'une époque de forme d'onde	94
4.4.2 Exclusion de données de l'analyse	94
5 Algorithmes d'analyse pour les <i>formes d'onde</i>	94
5.1 Vue d'ensemble et recommandations	94
5.2 Sélection des <i>niveaux d'état</i>	94
5.2.1 Généralités.....	94
5.2.2 Méthodes fondées sur la répartition des données – Histogrammes.....	95
5.2.3 Méthodes fondées sur la répartition des données – Estimateur Shorth	97
5.2.4 Autres méthodes	100
5.2.5 Inversion de l'algorithme.....	101
5.3 Détermination des autres paramètres de forme d'onde à transition unique	101
5.3.1 Généralités.....	101
5.3.2 Algorithme pour le calcul de l'amplitude signée de forme d'onde	101
5.3.3 Algorithme pour le calcul des niveaux de référence en pourcents	102
5.3.4 Algorithmes pour le calcul des instants de niveau de référence	102
5.3.5 Algorithme pour le calcul de la durée de transition entre les niveaux de référence x1 % et x2 %.....	103
5.3.6 Algorithme pour le calcul des aberrations de dépassement négatif et de dépassement des formes d'onde échelonnées	104
5.3.7 Algorithme pour le calcul des aberrations de forme d'onde	105
5.3.8 Algorithme pour le calcul de la durée d'établissement de la transition.....	107
5.3.9 Algorithme pour le calcul de l'erreur d'établissement de la transition	107
5.4 Analyse des formes d'onde à impulsion unique ou répétitive	107
5.4.1 Généralités.....	107
5.4.2 Algorithme pour le calcul de la durée d'impulsion	108
5.4.3 Algorithme pour le calcul de la période de forme d'onde	108
5.4.4 Algorithme pour le calcul d'intervalle entre impulsions	108
5.4.5 Algorithme pour le calcul du taux de travail	109
5.5 Analyse des formes d'onde composées	109
5.5.1 Généralités.....	109
5.5.2 Décomposition d'une forme d'onde	110
5.5.3 Classification des sous-époques.....	112

5.5.4	Reconstitution de forme d'onde	113
5.6	Analyse des formes d'onde de choc	113
5.6.1	Algorithme pour le calcul de l'amplitude de choc.....	113
5.6.2	Algorithme pour le calcul de l'instant du centre de choc.....	113
5.7	Analyse des relations de temps entre les différentes formes d'onde	113
5.7.1	Généralités.....	113
5.7.2	Algorithme pour le calcul du retard entre les différentes formes d'onde	113
5.8	Analyse de l'aberration de forme d'onde	114
5.9	Analyse de la <i>fluctuation</i> et de la <i>gigue</i>	114
5.9.1	Généralités.....	114
5.9.2	Détermination des écarts types.....	114
5.9.3	Mesure de la fluctuation et de la gigue d'un instrument.....	117
5.9.4	Mesure de la <i>fluctuation</i> et de la <i>gigue</i> de la source du signal.....	120
Annexe A (informative) Exemples de <i>formes d'onde</i>		122
Bibliographie.....		132
Figure 1 – <i>Transition positive</i> unique		75
Figure 2 – <i>Transition négative</i> unique		76
Figure 3 – <i>Forme d'onde positive à impulsion</i> unique		78
Figure 4 – <i>Forme d'onde négative à impulsion</i> unique.....		78
Figure 5 – <i>Dépassement et dépassement négatif</i> dans une <i>transition positive</i> unique		80
Figure 6 – <i>Dépassement et dépassement négatif</i> dans une <i>transition négative</i> unique.....		81
Figure 7 – <i>Train d'impulsions</i>		83
Figure 8 – <i>Forme d'onde composée</i>		88
Figure 9 – Calcul de l'aberration de forme d'onde		89
Figure 10 – Procédé d'acquisition et de mesure de la forme d'onde		93
Figure 11 – Génération d'une <i>forme d'onde composée</i>		110
Figure A.1 – <i>Forme d'onde échelonnée</i>		122
Figure A.2 – <i>Forme d'onde à transition linéaire</i>		123
Figure A.3 – <i>Forme d'onde exponentielle</i>		124
Figure A.4 – <i>Forme d'onde de type impulsion</i>		125
Figure A.5 – <i>Forme d'onde à impulsion rectangulaire</i>		126
Figure A.6 – <i>Forme d'onde à impulsion trapézoïdale</i>		127
Figure A.7 – <i>Forme d'onde à impulsion triangulaire</i>		128
Figure A.8 – <i>Forme d'onde à impulsion exponentielle</i>		129
Figure A.9 – <i>Forme d'onde à impulsion double</i>		130
Figure A.10 – <i>Forme d'onde à impulsion bipolaire</i>		130
Figure A.11 – <i>Forme d'onde en escalier</i>		131
Figure A.12 – <i>Train d'impulsions</i>		131
Tableau 1 – Comparaison des résultats des méthodes exacte et approximative de calcul de l'écart type des écarts types calculés.		116

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

TRANSITIONS, IMPULSIONS ET FORMES D'ONDES ASSOCIÉES – TERMES, DÉFINITIONS ET ALGORITHMES

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 brevet. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de brevets et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme Internationale CEI 60469 a été établie par le comité d'études 85 de la CEI: Equipement de mesure des grandeurs électriques et électromagnétiques.

Cette première édition de la CEI 60469 annule et remplace la deuxième édition de la CEI 60469-1 et la deuxième édition de la CEI 60469-2, toutes les deux publiées en 1987. Elle constitue une révision technique.

Cette première édition de la CEI 60469:

- combine le contenu des CEI 60469-1:1987 et CEI 60469-2:1987;
- actualise la terminologie;
- ajoute des algorithmes de calcul des valeurs de paramètres d'impulsion;
- introduit une nouvelle méthode de calcul des niveaux d'état.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

CDV	Rapport de vote
85/409/CDV	85/433/RVC

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

Cette publication a été rédigée selon les Directives ISO/CEI, Partie 2.

Tous les termes définis à l'Article 3 sont composés en italiques dans ce document.

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant la date de stabilité 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 présente norme a pour objet, d'une part, de faciliter une communication précise et claire quant aux paramètres des transitions, des impulsions et des formes d'ondes associées, d'autre part, de définir les techniques et procédures permettant de les mesurer. Etant donné l'étendue du champ d'application de la technologie des impulsions électriques dans les différentes branches de l'industrie électronique (par exemple, secteur de l'informatique, secteur des télécommunications et secteur des appareillages d'essai), l'élaboration de définitions univoques des termes relatifs aux impulsions ainsi que la présentation de méthodes et/ou d'algorithmes de calcul de ces dernières sont essentielles à la communication entre les fabricants et les consommateurs dans l'industrie électronique. L'existence de termes, de définitions et de méthodes de calcul normalisés contribue à l'amélioration de la qualité des produits et aide le consommateur à mieux comparer les performances de différents produits. Les progrès, dans le domaine des enregistreurs numériques de formes d'ondes (y compris les oscilloscopes), ont rendu la capture, le partage et le traitement des formes d'ondes plus faciles. Ces enregistreurs de formes d'ondes ont souvent la capacité de traiter la forme d'onde et de fournir des paramètres d'impulsion, de manière automatique, sans intervention de l'opérateur. La présente norme peut être appliquée dans un grand nombre d'applications scientifiques et techniques autres que celles mentionnées ci-dessus (par exemple, optique, cosmologie, sismologie, médecine, etc.), allant de l'événement unique au signal très répétitif et des signaux de bande passante inférieure à 1 Hz aux signaux dont la bande passante dépasse 1 THz. Par conséquent, une norme est nécessaire afin de garantir la cohérence des définitions et des méthodes de calcul des paramètres d'impulsion.

La norme CEI 60469-1 traitait des termes et définitions visant à décrire les paramètres de forme d'onde, et la norme CEI 60469-2 décrivait le procédé de mesure des formes d'ondes. La présente norme vise à combiner le contenu des normes CEI 60469-1 et CEI 60469-2, à actualiser la terminologie, à corriger les erreurs, à ajouter des algorithmes de calcul des valeurs de paramètres d'impulsion et à introduire une nouvelle méthode de calcul des niveaux d'état. Par rapport aux normes CEI 60469-1 et CEI 60469-2, elle reflète deux grands changements, qui concernent les définitions de paramètres et les algorithmes. Les modifications apportées aux définitions comprennent l'ajout de nouveaux termes et définitions, la suppression de termes et définitions inutilisés, l'extension de la liste des termes déconseillés, de même que l'actualisation et la modification des définitions existantes. La présente norme définit quelque 100 termes couramment utilisés pour décrire le procédé de mesure et d'analyse des formes d'ondes, ainsi que les paramètres de forme d'onde. Beaucoup des termes provenant des normes CEI 60469-1 et CEI 60469-2 ont été supprimés ou placés dans la liste des termes déconseillés. Les termes déconseillés sont conservés dans la présente norme pour des raisons de cohérence avec les normes CEI 60469-1 et CEI 60469-2. Un terme est déconseillé lorsqu'il est impossible de le définir avec précision ou sans ambiguïté. L'élaboration d'un ensemble de termes et de définitions faisant l'objet d'un accord mutuel s'est révélée extrêmement difficile, car l'usage de termes impropres, erronés ou mal compris est très répandu. Les problèmes posés aux fabricants d'appareils par les anciens produits, ainsi que les termes d'usage courant, ont également dû être pris en compte. De plus, la rédaction de la présente norme a donné lieu à l'élaboration d'algorithmes de calcul des valeurs de certains paramètres de forme d'onde, dans tous les cas où ces algorithmes pouvaient être utiles ou instructifs pour l'utilisateur de la norme. L'ajout de ces algorithmes, dont l'utilisation est recommandée, visait à fournir une référence commune et communicable, concernant ces paramètres et leur calcul, aux membres de l'industrie concernée. Jusqu'alors, aucune référence de ce type n'était disponible, ce qui se traduisait par de longues discussions et de fréquentes incompréhensions entre groupes mesurant les mêmes paramètres. C'est également pour cette raison que plusieurs exemples de formes d'ondes fondamentales, avec leurs formules, ont été intégrés à la norme, en Annexe A. Les algorithmes portent principalement sur l'analyse des formes d'ondes à transition unique, à deux états. Pour analyser les formes d'ondes composées (formes d'ondes comportant deux états ou plus et/ou deux transitions ou plus), on décompose d'abord la forme d'onde composée en l'ensemble des formes d'ondes à transition unique et à deux états qui la constituent. Une méthode pour réaliser cette décomposition est fournie.

La présente norme comprend aussi des algorithmes visant à l'analyse de la fluctuation et de la gigue aléatoire des formes d'ondes. Ces algorithmes décrivent le calcul de l'écart moyen et

de l'écart-type de la gigue et de la fluctuation. La présente norme fournit également des méthodes d'évaluation de *l'exactitude* de l'écart-type et de correction de sa valeur.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60469:2013

TRANSITIONS, IMPULSIONS ET FORMES D'ONDES ASSOCIÉES – TERMES, DÉFINITIONS ET ALGORITHMES

1 Domaine d'application

La présente Norme internationale définit des termes relatifs aux transitions, impulsions et formes d'ondes associées, puis définit et décrit plusieurs techniques et procédures de mesure des paramètres correspondants. Les formes d'ondes abordées dans la présente norme sont celles qui présentent un certain nombre de transitions et restent relativement constantes dans l'intervalle de temps séparant les transitions. Les signaux et formes d'ondes associées auxquels la présente norme s'applique comprennent, sans s'y limiter, ceux utilisés dans: les communications numériques, les communications de données et l'informatique, l'étude des événements biologiques, cosmologiques et physiques transitoires; ainsi que les impulsions électriques, chimiques et thermiques rencontrées et utilisées dans diverses applications industrielles, commerciales et grand public.

La présente norme ne concerne pas les signaux à variation sinusoïdale et autres signaux à variation continue, ni leurs formes d'ondes associées.

La présente norme a pour objet, d'une part, de faciliter une communication précise et claire quant aux paramètres des transitions, des impulsions et des formes d'ondes associées, d'autre part, de définir les techniques et procédures permettant de les mesurer.

2 Références normatives

Les documents suivants sont cités en référence de manière normative, en intégralité ou en partie, dans le présent document et sont indispensables pour son application. 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).

Aucune.

3 Termes, définitions et symboles

3.1 Généralités

Outre les termes recommandés et leurs définitions, le présent article contient également un certain nombre de termes déconseillés, mais couramment utilisés. Les termes déconseillés et le motif de leur classement parmi les termes déconseillés figurent après la définition du terme recommandé.

Dans l'ensemble de la présente norme, le temps est considéré comme une variable indépendante représentée par la lettre t . Le terme "valeur de forme d'onde" désigne la variable dépendante représentée par $y(t)$. Pour les formes d'ondes particulières, "valeur de forme d'onde" sera synonyme de "tension", de "courant", de "puissance" ou d'un autre nom de grandeur. Tous les termes définis sont composés en italiques dans ce document.

3.2 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions suivants s'appliquent.

3.2.1

zone d'aberration

3.2.1.1

zone d'aberration post-transition

intervalle entre un *instant* spécifié par l'utilisateur et un *instant* fixe, l'*instant* fixe étant le premier *instant* d'échantillonnage après l'*instant de niveau de référence* 50 % pour lequel la valeur de *forme d'onde* correspondante se trouve dans les *limites d'état* de l'état suivant l'*instant de niveau de référence* 50 %.

Note 1 à l'article: L'*instant* spécifié par l'utilisateur survient après l'*instant* fixe et est en principe égal à l'*instant* fixe, plus trois fois la *durée de transition*

3.2.1.2

zone d'aberration pré-transition

intervalle entre un *instant* spécifié par l'utilisateur et un *instant* fixe, l'*instant* fixe étant le premier *instant* d'échantillonnage avant l'*instant de niveau de référence* 50 % pour lequel la valeur de *forme d'onde* correspondante se trouve entre les *limites d'état* de l'état précédant l'*instant de niveau de référence* 50 %.

Note 1 à l'article: L'*instant* spécifié par l'utilisateur survient avant l'*instant* fixe et est en principe égal à l'*instant* fixe, moins trois fois la *durée de transition*

3.2.2

exactitude

étroitesse de l'accord entre le résultat de mesure et la valeur vraie du mesurande

[ISO/IEC Guide 99:2007, 2.13]

3.2.3

amplitude

3.2.3.1

amplitude d'impulsion

différence entre le *niveau* spécifié, correspondant à la *crête maximale* (*crête minimale*) de la *forme d'onde de type impulsion* positive (négative) et le *niveau* de l'état qui précède la première *transition* de cette *forme d'onde de type impulsion*

3.2.3.2

amplitude de forme d'onde

différence entre les *niveaux* de deux états différents d'une *forme d'onde*

Note 1 à l'article: La présente norme reconnaît deux définitions de l'*amplitude*, car ces définitions sont couramment utilisées toutes les deux. Dans toutes les applications de la présente norme, la définition choisie doit être clairement identifiée. Les deux définitions sont les suivantes:

3.2.3.3

amplitude de forme d'onde signée

niveau de l'état suivant une *transition*, moins le *niveau* de l'état précédant la même *transition*

3.2.3.4

amplitude de forme d'onde non signée

valeur absolue de l'*amplitude signée*

3.2.4

correction

opération qui combine les résultats de l'opération de conversion avec les informations de la fonction de transfert afin de produire une *forme d'onde* qui représente le *signal* avec plus d'exactitude.

Note 1 à l'article: La correction peut être effectuée soit manuellement par un opérateur, soit par un procédé de calcul, soit encore par un dispositif ou un appareil compensateur. La correction doit être effectuée avec une *exactitude* en rapport avec l'*exactitude* globale souhaitée dans le *procédé de mesure de forme d'onde*

Note 2 à l'article: Voir 4.2 concernant l'opération de conversion.

3.2.5

cycle

partie d'une *forme d'onde périodique* de *durée* égale à une *période*

3.2.6

retardement

procédé faisant survenir l'arrivée d'un *signal* plus tard dans le temps

3.2.7

différenciation

procédé de mise en forme par lequel une *forme d'onde* est convertie en une *forme d'onde* dont la forme est la dérivée dans le temps de la *forme d'onde* ou s'en approche

3.2.8

durée

différence entre deux *instants* spécifiés

3.2.9

taux de travail

DÉCONSEILLÉ: cycle de travail

sauf spécification contraire, pour un *train d'impulsions périodiques*, rapport entre la *durée de l'impulsion* et la *période* de la *forme d'onde*

Note 1 à l'article: Le terme "cycle de travail" est déconseillé car, dans la présente norme, le terme *cycle* se rapporte à la *période* d'un *signal*.

3.2.10

fluctuation

variation (dispersion) d'un paramètre de *niveau* d'une série de *formes d'ondes répétitives*, eu égard à une *amplitude de référence* ou à un *niveau de référence*

Note 1 à l'article: Sauf spécification contraire donnée par un adjectif mathématique, c'est la fluctuation efficace (rms) qui est prise en compte

3.2.11

fréquence

inverse de la *période*

Note 1 à l'article: La *période* représente la *période de forme d'onde*.

[CEI 60050-103:2009, 103-06-02, modifiée – la note à l'article a été remplacée.]

3.2.12

pointe de conversion

transitoire qui quitte un *état* initial, franchit les limites d'un autre *état* pendant une *durée* inférieure à celle d'une *occurrence d'état*, puis revient à l'*état* initial

3.2.13

instant

valeur de temps particulière située dans une *époque de forme d'onde* et, sauf spécification contraire, référencée par rapport à l'*instant initial* de cette *époque de forme d'onde*

3.2.13.1

instant final

dernier *instant* échantillonné de la *forme d'onde*

3.2.13.2**instant du centre de choc**

instant auquel survient une approximation, spécifiée par l'utilisateur, de la *crête maximale* (*crête minimale*) de la *forme d'onde* de type *impulsion* positive (négative)

3.2.13.3**instant initial**

premier échantillon d'*instant* de la *forme d'onde*

3.2.13.4**instant du centre d'impulsion**

moyenne de deux *instants* utilisée pour calculer la *durée* de l'impulsion

3.2.13.5**instant du niveau de référence**

instant auquel la *forme d'onde* croise un *niveau de référence* spécifié

3.2.13.6**instant d'occurrence de transition**

premier *instant* de *niveau de référence* 50 %, sauf spécification contraire, dans la *transition* d'une *forme d'onde* étagée

VOIR: La Figure 1, la Figure 2, la Figure 3, et la Figure 4.

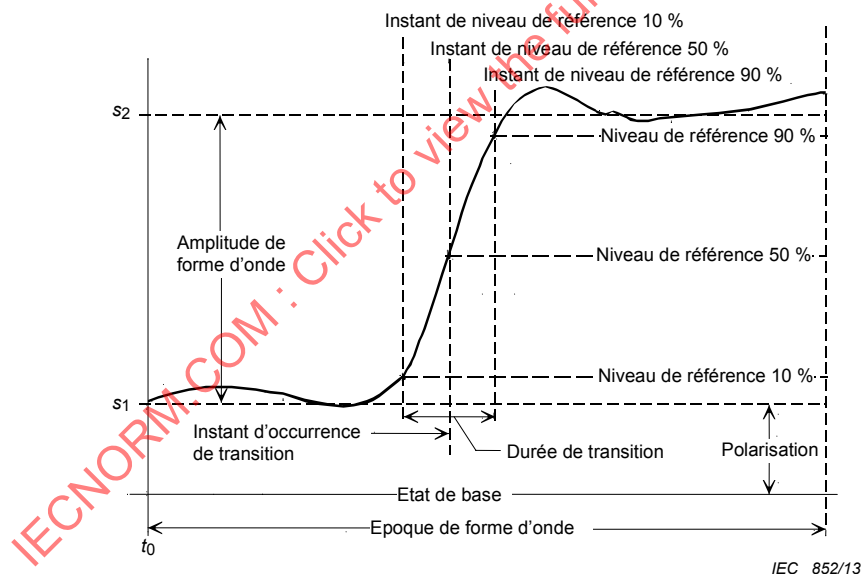


Figure 1 – Transition positive unique

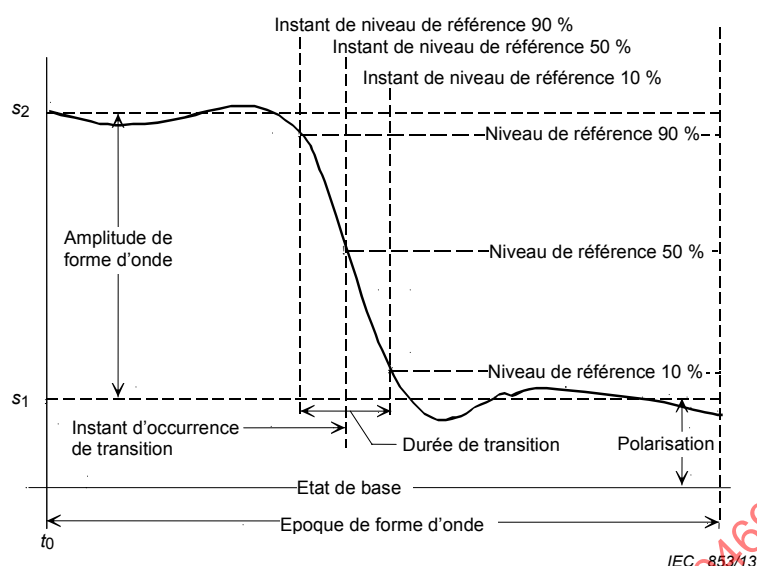


Figure 2 – Transition négative unique

Note 1 à l'article: Voir 5.3.4 concernant les *instants de niveau de référence*.

3.2.14

intégration

procédé de mise en forme par lequel une *forme d'onde* est convertie en une *forme d'onde* dont la forme est l'intégrale dans le temps de la *forme d'onde* ou s'en approche

3.2.15

intervalle

ensemble de valeurs de temps comprises entre un premier *instant* et un deuxième *instant*, le deuxième *instant* étant ultérieur au premier.

Note 1 à l'article: Les premier et deuxième *instants* sont appelés points limites de l'intervalle. Sauf spécification contraire, on suppose que les points limites font partie de l'intervalle

3.2.16

gigue

variation (dispersion) d'un paramètre de temps entre des *cycles* successifs d'un *signal* répétitif et/ou entre des *formes d'ondes* acquises successivement d'un *signal répétitif* pour une *durée* ou un *instant de niveau de référence*.

Note 1 à l'article: Sauf spécification contraire donnée par un adjectif mathématique, c'est la *gigue* efficace qui est prise en compte

3.2.16.1

gigue cycle-à-n^e-cycle

gigue entre des *instants de niveau de référence* spécifiés de deux *cycles* spécifiés quelconques d'un *signal répétitif*

3.2.16.2

gigue de période

gigue dans la période ou la forme d'onde d'un signal répétitif

3.2.16.3

gigue de durée d'impulsion

gigue dans la durée d'impulsion d'un signal ou de sa forme d'onde

3.2.16.4**gigue de déclencheur**

gigue entre un *signal répétitif* et l'événement déclencheur utilisé pour générer ou pour mesurer ce *signal*

3.2.17**niveau**

constante exprimée dans la même unité que y

3.2.17.1**niveau moyen**

moyenne du *niveau de forme d'onde*

Si la *forme d'onde* prend n valeurs discrètes y_j , toutes régulièrement espacées dans le temps, le *niveau moyen* est

$$\bar{y} = \left(\frac{1}{n} \right) \sum_{j=1}^n y_j.$$

Si la *forme d'onde* est une fonction continue du temps $y(t)$,

$$\bar{y} = \left(\frac{1}{t_2 - t_1} \right) \int_{t_1}^{t_2} y(t) dt.$$

Note 1 à l'article: La somme ou l'intégrale couvre toute l'*époque de forme d'onde* pour laquelle le *niveau moyen* est recherché ou, si la fonction est de type *périodique*, un nombre entier quelconque de répétitions *périodiques* de la fonction

3.2.17.2**niveau moyen absolu**

moyenne des valeurs absolues de la *forme d'onde*

Si la *forme d'onde* prend n valeurs discrètes y_j , toutes régulièrement espacées dans le temps, le *niveau moyen absolu* est

$$|\bar{y}| = \left(\frac{1}{n} \right) \sum_{j=1}^n |y_j|.$$

Si la *forme d'onde* est une fonction continue du temps $y(t)$,

$$|\bar{y}| = \left(\frac{1}{t_2 - t_1} \right) \int_{t_1}^{t_2} |y(t)| dt.$$

Note 1 à l'article: La somme ou l'intégrale couvre toute l'*époque de forme d'onde* pour laquelle le *niveau moyen absolu* est recherché ou, si la fonction est de type *périodique*, un nombre entier quelconque de répétitions *périodiques* de la fonction

3.2.17.3**niveau de référence x %**

niveau de référence spécifié par:

$$y_{x\%} = y_{0\%} + \frac{x}{100} (y_{100\%} - y_{0\%}),$$

où

$0\% < x < 100\%$

$y_{0\%}$ = niveau d'état bas

$y_{100} \%$ = niveau d'état haut

$y_0 \%$, $y_{100} \%$ et $y_x \%$ sont tous exprimés dans la même unité de mesure.

VOIR: la Figure 1, la Figure 2, la Figure 3 et la Figure 4.

Note 1 à l'article: Les *niveaux de référence* couramment utilisés sont: 0 %, 10 %, 50 %, 90 % et 100 %.

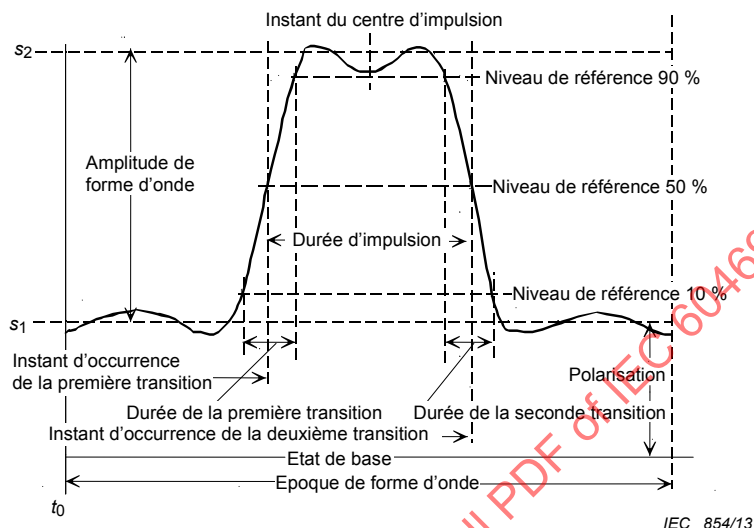


Figure 3 – Forme d'onde positive à impulsion unique

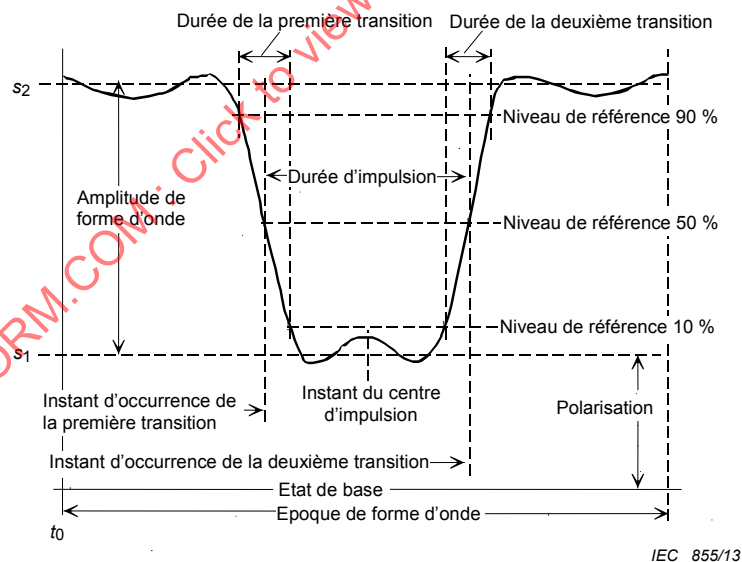


Figure 4 – Forme d'onde négative à impulsion unique

3.2.17.4

niveau de référence

DÉCONSEILLÉ: médian, proximal, rémotal

niveau spécifié par l'utilisateur, passant par tous les *instants* de l'époque de forme d'onde

Note 1 à l'article: Les termes "droite médiane", "droite proximale" et "droite rémotale" sont déconseillés pour les raisons suivantes:

- (a) droite se rapporte à des calculs et à des considérations basés sur une *représentation graphique de la forme d'onde*, alors que, de nos jours, les *formes d'ondes* sont essentiellement conservées sous la forme de *représentations numériques*, le calcul et la visualisation étant effectués à l'aide d'un ordinateur;
- (b) les termes *médian*, *proximal* et *rémodal* se rapportent à des *niveaux de référence* définis par l'utilisateur, et il est inutile de créer des définitions en double pour ces *niveaux de référence*;
- (c) les termes *proximal* et *rémodal* ne peuvent pas être utilisés de manière non ambiguë pour décrire les points et droites situés d'un certain côté d'une *transition* d'une *forme d'onde étagée*, car le sens de ces termes change selon que la *forme d'onde étagée* correspond à une *impulsion positive* ou à une *impulsion négative*. Par exemple, pour le point (3): dans le cas d'une *impulsion positive*, les points et la droite référencés par le *niveau de référence* 10 % se trouveront à gauche de la *transition*; dans le cas d'une *impulsion négative*, ils se trouveront à sa droite.

3.2.17.5

niveau efficace (rms)

racine carrée de la moyenne des carrés des valeurs de *forme d'onde*.

Si la *forme d'onde* prend n valeurs discrètes y_j , toutes régulièrement espacées dans le temps, le *niveau efficace* est

$$y_{\text{rms}} = \sqrt{\left(\frac{1}{n}\right) \sum_{j=1}^n y_j^2}.$$

Si la *forme d'onde* est une fonction continue du temps $y(t)$,

$$y_{\text{rms}} = \sqrt{\left(\frac{1}{t_2 - t_1}\right) \int_{t_1}^{t_2} y^2(t) dt}.$$

La somme ou l'intégrale couvre toute l'*époque de forme d'onde* pour laquelle le *niveau efficace* est recherché ou, si la fonction est de type *périodique*, un nombre entier quelconque de répétitions *périodiques* de la fonction.

3.2.17.6

niveau de résultante quadratique

niveau rss

racine carrée de la somme arithmétique des carrés des valeurs de *forme d'onde*.

Si la *forme d'onde* prend n valeurs discrètes y_j , toutes régulièrement espacées dans le temps, le *niveau de la résultante quadratique* est

$$y_{\text{rss}} = \sqrt{\sum_{j=1}^n y_j^2}.$$

Si la *forme d'onde* est une fonction continue du temps $y(t)$,

$$y_{\text{rss}} = \sqrt{\int_{t_1}^{t_2} y^2(t) dt}.$$

Note 1 à l'article: La somme ou l'intégrale couvre toute l'*époque de forme d'onde* pour laquelle le *niveau de la résultante quadratique* est recherché

3.2.18

polarisation

différence algébrique entre deux *niveaux* spécifiés.

VOIR: Figure 1, Figure 2, Figure 3 et la Figure 4.

Note 1 à l'article: Sauf spécification contraire, les deux *niveaux* sont l'*état 1* et l'*état de base*.

3.2.19

dépassement

aberration de forme d'onde située dans une zone d'aberration post-transition ou dans une zone d'aberration pré-transition et supérieure à la limite d'état supérieure du niveau d'état associé.

VOIR: Figure 5 et Figure 6.

Note 1 à l'article: S'il existe plusieurs aberrations de forme d'onde correspondant à cette définition, le dépassement est, sauf spécification contraire, la plus grande d'entre elles.

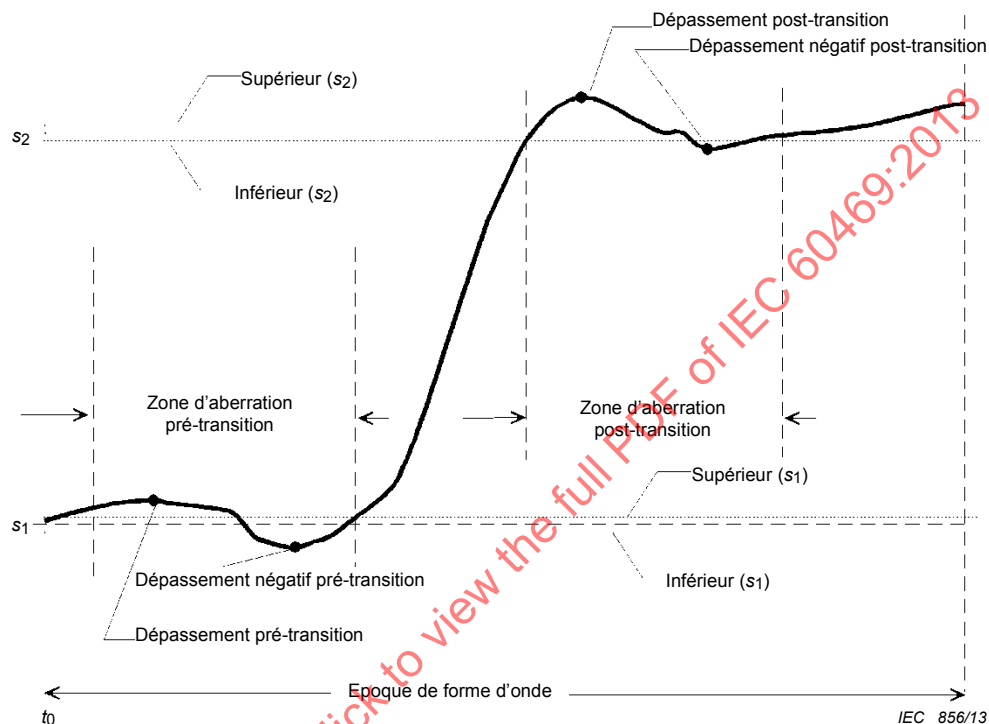


Figure 5 – Dépassement et dépassement négatif dans une transition positive unique

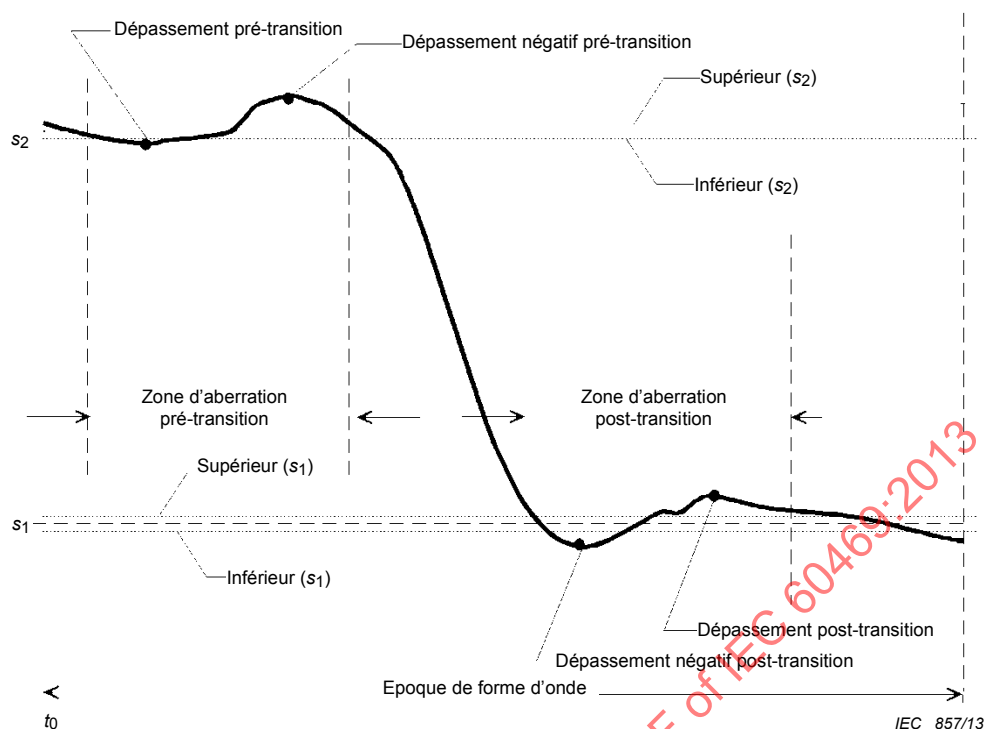


Figure 6 – Dépassement et dépassement négatif dans une transition négative unique

3.2.20

paramètre

toute valeur (nombre multiplié par une unité de mesure) pouvant être calculée à partir d'une forme d'onde

3.2.20.1

paramètre de niveau

paramètre exprimé dans les mêmes unités que les niveaux

3.2.20.2

paramètre de temps

paramètre exprimé dans une unité de temps

3.2.21

crête maximale

plus haute valeur de la forme d'onde

3.2.22

crête minimale

plus basse valeur de la forme d'onde

3.2.23

crête à crête

relatif à la valeur de la différence entre les extrema de la forme d'onde spécifiée

3.2.24

périodique

qui se reproduit identiquement pour des valeurs en progressions arithmétique de la variable indépendante

Note 1 à l'article: La variable indépendante est souvent le temps.

[IEC 60050-103:2009, 103-05-09, modifiée – la note à l'article a été remplacée.]

3.2.25

apériodique

ne se reproduit à l'identique pour des valeurs en progressions arithmétique de la variable indépendante

Note 1 à l'article: La variable indépendante est souvent le temps.

3.2.26

fidélité

étroitesse de l'accord entre les indications ou les valeurs mesurées obtenues par des mesurages répétés du même objet ou d'objets similaires dans des conditions spécifiées

[ISO/IEC Guide 99:2007, 2.15 modifiée – les notes de la définition originale ont été supprimées.]

3.2.27

durée d'impulsion

DÉCONSEILLÉ: largeur d'impulsion

différence entre le premier et le deuxième *instant d'occurrence de transition*

VOIR: la Figure 3 et la Figure 4.

Note 1 à l'article: Les termes *largeur d'impulsion*, *pleine largeur à mi-hauteur (FWHM)* et *demi-largeur à mi-hauteur (HWHM)* sont généralement déconseillés, car le mot "largeur" désigne un paramètre spatial, alors que le paramètre étudié est le temps. Toutefois, dans certaines applications, il peut être souhaitable de décrire l'emplacement et la distribution spatiale d'une impulsion de propagation, c'est-à-dire la largeur d'impulsion dans la matière ou l'espace. Les termes "largeur à mi-hauteur (FWHM)", "demi-largeur à mi-hauteur (HWHM)" et "durée à mi-hauteur (FDHM)" sont déconseillés car ils font référence à la valeur maximale de la *forme d'onde*, alors que l'*amplitude de forme d'onde* peut être positive ou négative et que la forme d'onde peut comporter du bruit.

3.2.28

intervalle entre impulsions

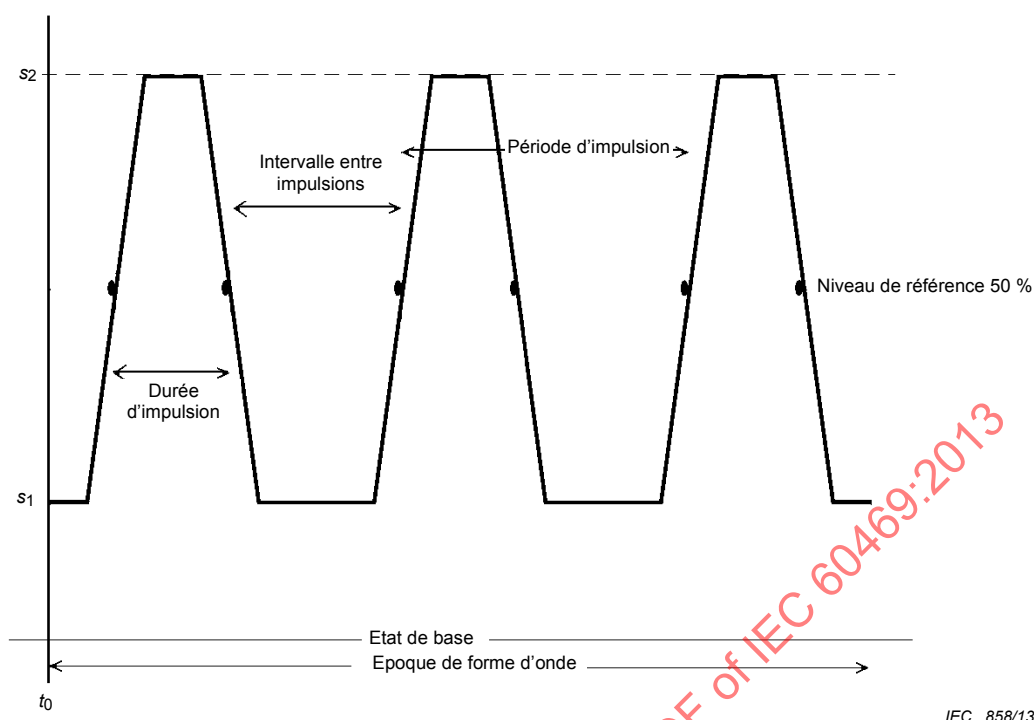
durée entre l'*instant de niveau de référence* 50 %, sauf spécification contraire, de la deuxième *transition* d'une *impulsion* d'un *train d'impulsions* et celui de la première *transition* de l'*impulsion* immédiatement suivante du même *train d'impulsions*

3.2.29

train d'impulsions

séquence répétitive de *formes d'onde à impulsion*. Sauf spécification contraire, on suppose que toutes les *formes d'onde à impulsion* de la séquence sont identiques

VOIR: Figure 7 et Figure A.12



IEC 858/13

Figure 7 – Train d'impulsions

3.2.30**forme d'onde d'impulsion**

DÉCONSEILLÉ: front avant

DÉCONSEILLÉ: front arrière

forme d'onde dont le niveau part d'un état, atteint un autre état, puis revient à l'état initial

VOIR: Figure 3 et Figure 4.

Note 1 à l'article: Une forme d'onde d'impulsion selon cette définition se compose de deux *transitions* et deux *états* (voir Article 4). Une *forme d'onde d'impulsion* peut également être décrite comme *forme d'onde composée* étant la somme d'une *forme d'onde étagée* positive (négative) et d'une *forme d'onde étagée* négative (positive) *retardée*, les deux formes d'ondes ayant la même *amplitude de forme d'onde non signée*

Note 2 à l'article: Les termes *front avant* et *front arrière* sont déconseillés car 1) le mot *front* décrit une propriété d'une figure géométrique qui n'est pas contenue dans le signal physique correspondant à la *forme d'onde* et ne le représente pas; et 2) les termes premier et deuxième rendent de manière adéquate et non ambiguë le sens des mots avant et arrière.

3.2.30.1**forme d'onde d'impulsion négative**

forme d'onde d'impulsion dont la première transition est une transition négative

VOIR: Figure 4.

3.2.30.2**forme d'onde d'impulsion positive**

forme d'onde d'impulsion dont la première transition est une transition positive

VOIR: Figure 3.

3.2.31

référence

se dit d'un moment, d'un *niveau*, d'un *élément particulier de forme d'onde* ou d'une *forme d'onde* utilisé(e) à des fins de comparaison avec d'autres moments, niveaux, éléments particuliers de forme d'onde ou formes d'ondes.

Note 1 à l'article: Une entité de *référence* peut être ou ne pas être une entité idéale.

3.2.32

répétitif

se dit d'une série de *formes d'ondes* ou d'*éléments particuliers de formes d'ondes* qui se répètent dans le temps

3.2.33

non répétitif

se dit d'une série de *formes d'ondes* ou d'*éléments particuliers de formes d'ondes* qui ne se répètent pas dans le temps

3.2.34

résolution

plus petit incrément perceptible dans lequel est divisée une grandeur mesurée

3.2.35

oscillation

aberration consistant en une *forme d'onde* oscillatoire superposée qui, lorsqu'elle est présente, suit habituellement une *transition*

3.2.36

impulsion avortée

transitoire qui quitte un *état* initial, n'atteint pas le *niveau* d'un autre *état*, et revient à l'*état* initial

3.2.37

échantillonnage

prise d'échantillons d'un signal, généralement à des intervalles de temps égaux

Note 1 to entry: Ces échantillons caractérisent des *niveaux* représentatifs à des instants sélectionnés d'une *forme d'onde*.

[IEC 60050-704:1993, 704-23-02, modifiée – la note à l'article a été remplacée.]

3.2.38

signal

phénomène physique dont une ou plusieurs caractéristiques sont susceptibles de varier en représentant des informations.

Note 1 à l'article: Ce phénomène est une fonction du temps.

[IEC 60050-701:1988, 701-01-02, modifiée – la note à l'article a été remplacée.]

3.2.39

pic

transitoire qui quitte un *état* initial, dépasse la *limite d'état* la plus éloignée d'un autre état quelconque, puis revient à l'*état* initial

3.2.40

état

niveau particulier ou, le cas échéant, *niveau* particulier et limites supérieure et inférieure (*limites d'état* supérieure et inférieure) faisant référence ou associées à ce *niveau*

Note 1 à l'article: Sauf spécification contraire, les *états*, lorsqu'il y en a plusieurs, sont classés du *niveau* le plus négatif au *niveau* le plus positif et les chevauchements de *niveaux d'état* sont interdits. L'*état* le plus négatif est appelé *état 1*. L'*état* le plus positif est appelé *état n*. Les *états* sont notés $s_1, s_2, \dots, s_n$; les *niveaux d'état* sont notés $\text{niveau}(s_1), \text{niveau}(s_2), \dots, \text{niveau}(s_n)$; les *limites d'état* supérieures sont notées $\sup(s_1), \sup(s_2), \dots, \sup(s_n)$; et les *limites d'état* inférieures sont notées $\inf(s_1), \inf(s_2), \dots, \inf(s_n)$.

Note 2 à l'article: Les *états*, *niveaux* et *limites d'état* sont définis pour tenir compte des applications numériques et de la métrologie des impulsions. En métrologie des impulsions, on mesure les *niveaux* d'une *forme d'onde*, puis on leur associe des *états* (avec ou sans *limites d'état* associées). Dans les applications numériques, on définit des *états* (avec des *limites d'état*) et l'on détermine si les valeurs de *forme d'onde* se trouvent ou non dans un *état*.

3.2.40.1

état de base

état d'une *forme d'onde* qui, sauf spécification contraire, possède le *niveau* le plus proche de zéro

Voir Figure 1, Figure 2, Figure 3, et Figure 4.

3.2.40.2

état haut

état le plus positif d'une *époque de forme d'onde*, sauf spécification contraire

Note 1 à l'article: Pour les *formes d'ondes* possédant exactement deux *états*, comme la *forme d'onde à transition unique*, il est permis d'utiliser les termes *état bas* et *état haut* à la place des termes *état 1* et *état 2*, respectivement.

3.2.40.3

état bas

état le plus négatif d'une *époque de forme d'onde*, sauf spécification contraire

Note 1 à l'article: Pour les *formes d'ondes* possédant exactement deux *états*, comme la *forme d'onde à transition unique*, il est permis d'utiliser les termes *état bas* et *état haut* à la place des termes *état 1* et *état 2*, respectivement.

3.2.40.4

état positif

état dont le *niveau* est supérieur à zéro

3.2.40.5

état négatif

état dont le *niveau* est inférieur à zéro

3.2.41

limites d'état

limites supérieures et inférieures des *états* d'une *forme d'onde*.

Note 1 à l'article: Toutes les valeurs d'une *forme d'onde* qui se trouvent entre les limites d'un *état* donné sont décrites comme étant dans cet *état*. Les *limites d'état* sont définies par l'utilisateur.

3.2.42

occurrence d'état

zone contiguë d'une *forme d'onde* qui est délimitée par les *limites d'état* supérieure et inférieure d'un *état*, et dont la *durée* est supérieure ou égale à la *durée* minimale spécifiée pour l'obtention de l'*état*. L'*occurrence d'état* est constituée de toute la partie de *forme d'onde* qui reste dans les limites de l'*état*.

Note 1 à l'article: Les occurrences d'état sont numérotées à l'aide de couples (s, n) , où s_i désigne le i^{e} *état* et n est le numéro de l'occurrence de l'*état* en question dans l'*époque de forme d'onde*. Dans une *époque de forme d'onde* donnée, lorsque la *forme d'onde* passe pour la première fois à l'*état* s_1 , l'occurrence d'état correspondante est notée $(s_1, 1)$. Lorsque la *forme d'onde* quitte cet *état*, le cas échéant, l'*occurrence d'état* prend fin. Lorsque la *forme d'onde* repasse et reste à l'*état* s_1 , le cas échéant, la nouvelle *occurrence d'état* est désignée $(s_1, 2)$, et ainsi de suite. Ainsi, les *occurrences d'état* d'une même *impulsion*, comme celles des Figure 3 et Figure 5, sont $(s_1, 1)$, $(s_2, 1)$, $(s_1, 2)$. Les *occurrences d'état* de la *forme d'onde composée* illustrée à la Figure 8 sont $(s_2, 1)$, $(s_4, 1)$, $(s_3, 1)$, $(s_5, 1)$, $(s_1, 1)$. Il est à noter qu'une *forme d'onde* peut quitter une *occurrence d'état* sans (nécessairement) passer immédiatement à une autre *occurrence d'état*. En d'autres termes, l'*état* de la *forme d'onde* peut être indéfini pendant un certain *intervalle* de temps entre deux *occurrences d'état*; cela arrive, par exemple, lors des *transitions* et dans le cas de *transitoires* (tels que les *impulsions avortées*).

3.2.43

synchronisation

procédé consistant à aligner l'*instant d'occurrence de transition* d'une *impulsion* ou un autre événement avec l'*instant d'occurrence de transition* d'une autre *impulsion* ou d'un autre événement.

Note 1 à l'article: Lorsque deux séries d'événements (par exemple, deux *trains d'impulsions*) sont synchronisées, leurs *périodes* doivent être des multiples entiers l'une de l'autre

3.2.44

élément particulier d'extrémité

zone contiguë d'une *forme d'onde* qui n'est ni une *occurrence d'état*, ni un *transitoire*, ni une *transition*.

Note 1 à l'article: Le cas échéant, cet élément particulier survient uniquement au début et/ou à la fin d'une *forme d'onde*

3.2.45

pente de palier

DÉCONSEILLÉ: affaissement

distorsion d'un *état de forme d'onde* dans laquelle la pente générale, sur toute l'étendue de l'*état de forme d'onde*, est essentiellement constante et différente de zéro.

Note 1 à l'article: La polarité de la pente de palier peut être positive ou négative

Note 2 à l'article: Le terme *affaissement* est déconseillé, car il implique une pente négative, et son emploi dans le cas de *formes d'ondes positives* et de *formes d'ondes négatives* peut donc entraîner des ambiguïtés.

3.2.46

transitoire

zone contiguë d'une *forme d'onde* qui commence dans un *état*, le quitte, puis y revient, et ne contient aucune *occurrence d'état*

3.2.47

transition

zone contiguë d'une *forme d'onde* qui relie, soit directement, soit par le biais de transitoires intermédiaires, deux *occurrences d'état* qui se suivent dans le temps, mais correspondent à des *états* différents

3.2.47.1

transition négative

DÉCONSEILLÉ: front descendant

transition dont l'*état* de fin est plus négatif que son *état* de départ

Note 1 à l'article: Les points limites de la *transition négative* sont celui où la *forme d'onde* passe pour la dernière fois la *limite de l'état* supérieur et celui où la *forme d'onde* passe pour la première fois la *limite de l'état* inférieur.

Note 2 à l'article: Le terme "front descendant" est déconseillé car 1) le mot front décrit une propriété d'une figure géométrique qui n'est pas contenue dans le signal physique correspondant à la *forme d'onde* et ne le représente pas, et 2) le mot descendant se rapporte au mouvement d'objets physiques.

3.2.47.2

transition directe

transition d'un *état* initial à un *état* non consécutif par le biais d'un nombre quelconque d'autres *états*, lorsque la *durée* du passage dans ces *états* est inférieure à celle d'une *occurrence d'état*

3.2.47.3

transition positive

DÉCONSEILLÉ: front montant

transition dont l'*état* de fin est plus positif que son *état* de départ

Note 1 à l'article: Les points limites de la *transition positive* sont celui où la *forme d'onde* passe pour la dernière fois la *limite de l'état* inférieur et celui où la *forme d'onde* passe pour la première fois la *limite de l'état* supérieur

Note 2 à l'article: Le terme *front montant* est déconseillé car 1) le mot front décrit une propriété d'une figure géométrique qui n'est pas contenue dans le signal physique correspondant à la *forme d'onde* et ne le représente pas, et 2) le mot montant se rapporte au mouvement d'objets physiques.

3.2.48

durée de transition

DÉCONSEILLÉ: temps de montée, temps de descente, temps de transition
différence entre les deux *instants de niveau de référence* de la même *transition*

VOIR: la Figure 1 et la Figure 2.

Note 1 à l'article: Sauf spécification contraire, les deux *niveaux de référence* pris en compte sont les *niveaux de référence* 10 % et 90 %

Note 2 à l'article: Les termes *temps de montée*, *temps de descente* et *temps de transition*, quoique couramment utilisés, sont déconseillés car ils sont ambigus et prêtent à confusion. Dans la présente norme, le mot "temps" n'est employé que pour désigner un *instant*, et non un *intervalle*. De plus, si la *première transition* d'une *forme d'onde* dans une *époque de forme d'onde* est une *transition négative*, certains utilisateurs risquent de désigner sa *durée de transition* comme son *temps de montée* et d'autres, de la désigner comme son *temps de descente*. S'il se révèle indispensable d'utiliser ces termes déconseillés, *temps de montée* désigne la *durée de transition* d'une *transition positive* et *temps de descente*, la *durée de transition* d'une *transition négative*. Si les *limites d'état* supérieure et inférieure des deux *états* sont différentes des *niveaux de référence* définis par l'utilisateur (par exemple, les *niveaux de référence* 10 % et 90 %), la *durée d'une transition* est différente de la *durée de transition*.

3.2.49

durée d'établissement de transition

DÉCONSEILLÉ: temps d'établissement
intervalle de temps entre l'*instant de niveau de référence* 50 %, sauf spécification contraire, et l'*instant* final où la *forme d'onde* coupe la *limite d'état* d'un *état* spécifié, tandis qu'elle approche de cet *état*

Note 1 à l'article: Le terme *temps d'établissement* est déconseillé, car dans la présente norme, le mot temps n'est employé que pour désigner un *instant*, et non un *intervalle*.

3.2.50

erreur d'établissement de transition

erreur maximale entre la valeur de la *forme d'onde* et un *niveau de référence* dans un *intervalle* de l'*époque de forme d'onde* spécifié par l'utilisateur. L'*intervalle* commence à un *instant* spécifié par l'utilisateur, par rapport à l'*instant de niveau de référence* 50 %

3.2.51

déclenchement

procédé dans lequel une *forme d'onde échelonnée*, une *impulsion* ou une *forme d'onde composée* provoque une réponse ou un événement prédéterminé

3.2.52

valeur vraie

valeur d'une grandeur compatible avec la définition de la grandeur

[SOURCE: Guide ISO/CEI 99:2007, définition 2.11, modifié – le libellé de la définition a été modifié y les notes dans la définition originale n'ont pas été retenues.]

3.2.53

dépassement négatif

DÉCONSEILLÉ: irrégularité préfrontale

aberration de forme d'onde située dans une *zone d'aberration post-transition* ou une *zone d'aberration pré-transition* et inférieure à la *limite d'état* inférieure du *niveau d'état* associé. S'il existe plusieurs *aberrations de forme d'onde* de ce type, le dépassement négatif est, sauf spécification contraire, la plus grande d'entre elles

VOIR: la Figure 5 et la Figure 6.

Note 1 à l'article: Le terme "irrégularité préfrontale" est déconseillé car "pré" est un préfixe temporel et "front", dans ce contexte, désigne un *paramètre de niveau*.

3.2.54

forme d'onde

représentation d'un *signal* (par exemple, graphique, tracé, représentation oscilloscopique, série chronologique à temps discret, équations ou tableau de valeurs).

VOIR: Figure 1, Figure 2, Figure 3, Figure 4 et les figures de l'Annexe A.

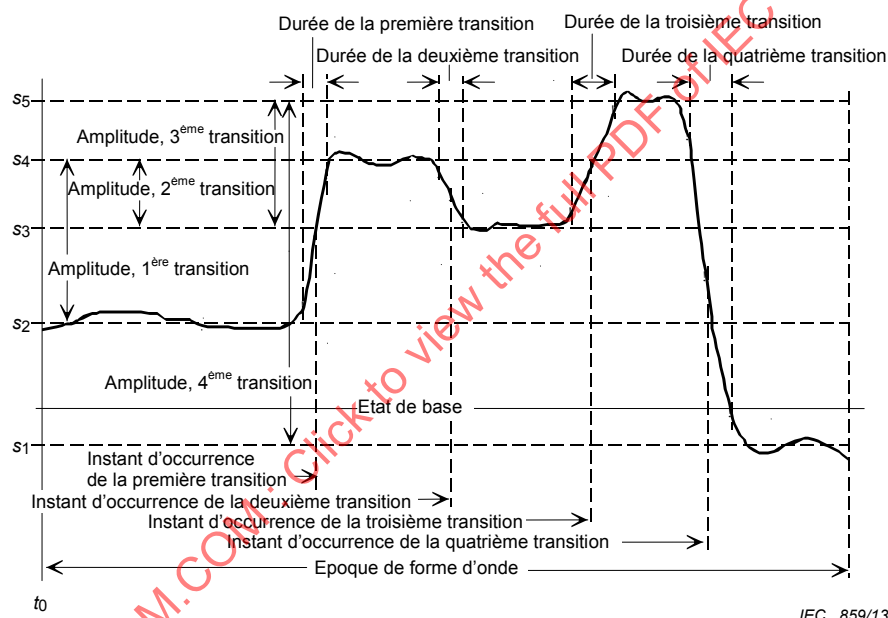
Note 1 à l'article: Il est à noter que le terme *forme d'onde* désigne une estimation, mesurée ou définie par une autre méthode, du phénomène ou *signal* physique

3.2.54.1

forme d'onde composée

forme d'onde pouvant être entièrement représentée par m états et n transitions, où $(m + n) \geq 4$

VOIR: Figure 8.



Les points indiquent l'intersection de la *forme d'onde* avec les *niveaux de référence* 10 %, 50 % et 90 %. Le terme "amplitude" est utilisé à la place du terme défini *amplitude de forme d'onde* en raison des contraintes spatiales. Les références à des *durées de transition* et à des *instants d'occurrences de transition* pour les *transitions* sont abrégées par "durée de deuxième transition" (par exemple) à la place de la référence plus précise "durée de transition, deuxième transition."

Figure 8 – Forme d'onde composée

Note 1 à l'article: Toute *forme d'onde composée* peut être décomposée (voir 5.5) en n *formes d'ondes* à deux états.

3.2.54.2

forme d'onde de type impulsion

forme d'onde qui, convolutionnée avec une fonction unité idéale, donne une forme d'onde échelonnée

VOIR: la Figure A.4.

3.2.54.3**forme d'onde de référence**

forme d'onde à laquelle d'autres formes d'ondes sont comparées.

Note 1 à l'article: L'article 7 contient des figures représentant différentes formes d'ondes de référence.

3.2.54.4**forme d'onde échelonnée**

forme d'onde dont le niveau part d'un état et atteint un autre état

VOIR: la Figure 1 et la Figure 2.

Note 1 à l'article: Sauf spécification contraire, les transitions, lorsqu'il y en a plusieurs, sont ordonnées du premier instant d'occurrence de transition à la dernière occurrence dans le temps

3.2.54.5**forme d'onde de transition**

forme d'onde constituée d'une transition et des deux états reliés par cette transition

3.2.55**aberration de forme d'onde**

différence algébrique des valeurs de forme d'onde entre tous les instants, correspondants dans le temps, d'une forme d'onde et d'une forme d'onde de référence au sein d'une époque de forme d'onde spécifiée

VOIR: la Figure 9.

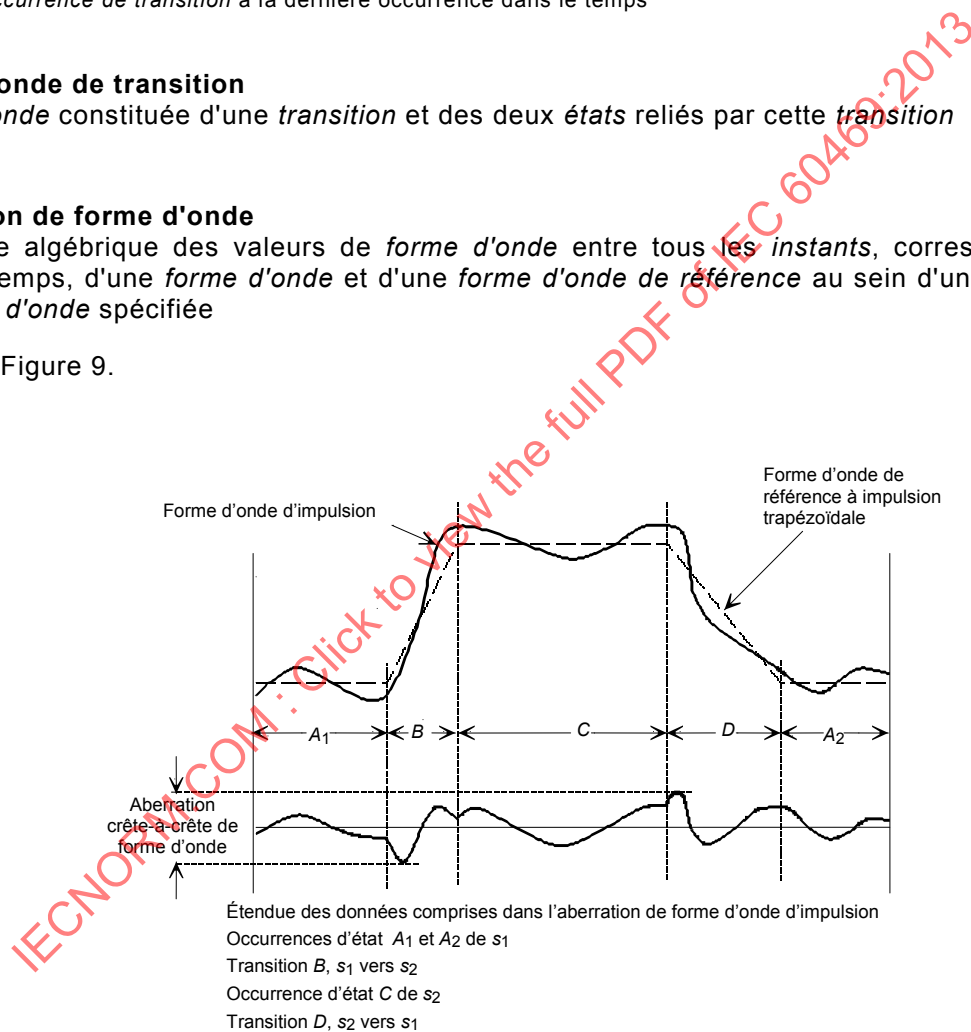


Figure 9 – Calcul de l'aberration de forme d'onde

3.2.55.1**aberration de forme d'onde en pourcentage**

pour une forme d'onde à deux états, l'aberration de forme d'onde exprimée en pourcentage de l'amplitude de la forme d'onde de référence, sauf spécification contraire

Note 1 à l'article: Il est possible de décomposer les formes d'ondes composées (voir 5.5) en un ensemble de formes d'ondes à deux états, puis de définir l'aberration de forme d'onde en pourcentage pour chaque forme d'onde à deux états de l'ensemble

3.2.56

retard (avance) de forme d'onde

durée séparant les deux premiers *instants d'occurrence de transition* de deux *formes d'ondes*

3.2.57

époque de forme d'onde

intervalle auquel la prise en considération d'une *forme d'onde* est limitée pour les besoins d'un calcul, d'une étude ou d'un procédé particuliers. Sauf spécification contraire, on suppose que l'époque de forme d'onde est la plage dans laquelle la *forme d'onde* est mesurée ou définie

VOIR: Figure 1, Figure 2, Figure 3, et la Figure 4.

3.2.58

élément particulier de forme d'onde

partie ou segment spécifié(e) d'une *forme d'onde*

3.2.59

procédé de mesure de forme d'onde

réalisation d'une méthode de mesure de forme d'onde en termes de dispositifs, d'appareils, d'instruments, d'équipement auxiliaire, de conditions, d'opérateurs et d'observateurs spécifiques.

Note 1 à l'article: Dans ce procédé, une valeur (nombre multiplié par une unité de mesure) est attribuée aux éléments de la *forme d'onde*

3.2.60

période de forme d'onde

durée minimale après laquelle une *forme d'onde périodique* se répète

Note 1 à l'article: La période d'une *forme d'onde* répétitive à deux états est la *durée* entre les *instants de niveau de référence* spécifiés d'une même *transition* (soit la *transition négative*, soit la *transition positive*) de deux *impulsions* consécutives dans un *train d'impulsions*. La période est égale à la somme de l'*intervalle entre impulsions* et de la *durée d'impulsion*

3.2.61

représentation de forme d'onde

3.2.61.1

représentation graphique de forme d'onde

graphique, tracé ou affichage représentant une *forme d'onde* à des fins d'observation ou d'analyse.

Note 1 à l'article: Chacun des formats de *forme d'onde* définis dans les paragraphes 3.2.61.2 à 3.2.61.2.2 peut être représenté sous forme d'image.

3.2.61.2

représentation graphique de forme d'onde à échantillonnage

forme d'onde constituée d'une série de valeurs numériques d'*échantillons* prélevés de manière séquentielle ou non séquentielle en fonction du temps

Note 1 à l'article: On suppose que les échantillons non séquentiels peuvent être reclassés dans l'ordre chronologique pour donner les formats à échantillonnage. *représentation graphique de forme d'onde à échantillonnage apériodique* (3.2.61.2.1) ou *représentation graphique de forme d'onde à échantillonnage périodique* (3.2.61.2.2).

3.2.61.2.1

représentation graphique de forme d'onde à échantillonnage apériodique

format identique au *format à échantillonnage périodique*, décrit ci-dessus, à ceci près que l'échantillonnage en temps réel n'est pas *périodique*, et dans lequel les données sont des paires de coordonnées d'*instant*, $t_1, y_1; t_2, y_2; \dots; t_n, y_n$

3.2.61.2.2**représentation graphique de forme d'onde à échantillonnage périodique**

séquence finie de *niveaux* $y_0, y_1, y_2, \dots, y_n$, dont chacun représente la valeur de la *forme d'onde* aux instants $t_0, t_0 + \Delta t, t_0 + 2\Delta t, \dots, t_0 + n\Delta t$, respectivement, les données pouvant se présenter sous forme d'image, de liste ou de tableau de nombres

3.3 Symboles

A : *amplitude de forme d'onde*

d_f : *taux de travail*

i : *indice de temps discret*

n : *nombre d'éléments d'une forme d'onde*

O_{post} : *dépassement dans la zone d'aberration post-transition d'une forme d'onde*

O_{pre} : *dépassement dans la zone d'aberration pré-transition d'une forme d'onde*

s_k : *niveau d'état k*

t : *temps continu*

$t_x \%$: *instant de niveau de référence $x \%$*

t_0 : *instant initial*

T : *période de forme d'onde*

t_d : *durée de transition*

T_D : *retard de forme d'onde*

T_p : *durée d'impulsion*

T_s : *intervalle entre impulsions*

U_{post} : *dépassement négatif dans la zone d'aberration post-transition d'une forme d'onde*

U_{pre} : *dépassement négatif dans la zone d'aberration pré-transition d'une forme d'onde*

W_a : *aberration de forme d'onde, exprimée en pourcentage de l'amplitude de forme d'onde*

$y(t)$: *valeurs d'amplitude de forme d'onde d'un signal en temps continu*

y_i : *valeurs d'amplitude d'une forme d'onde à temps discret, avec l'indice de temps discret i*

y_{rms} : *niveau efficace (voir 3.2.17.5)*

y_{rss} : *niveau de résultante quadratique (voir 3.2.17.6)*

$y_x \%$: *niveau de référence $x \%$*

$\bar{y}$: *niveau moyen (voir 3.2.17.1)*

$\bar{y}_i$: *moyenne sur un ensemble de formes d'ondes $y_{k,i}$, où k est l'indice de forme d'onde*

Σ_i : *écart-type d'un ensemble d'écarts-types*

3.4 Termes déconseillés

Les termes répertoriés ci-dessous sur la gauche sont les termes déconseillés classés par ordre alphabétique; les termes sur la droite sont les termes acceptés.

Affaïssement	<i>pente de palier</i>
Cycle de travail	<i>taux de travail</i>
Irrégularités préfrontales	<i>dépassement ou dépassement négatif dans la zone d'aberration pré-transition</i>
Largeur d'impulsion	<i>durée d'impulsion</i>
Temps de descente	<i>durée de transition</i>
Front descendant	<i>transition négative</i>

Bord d'attaque	<i>première transition</i>
Temps de montée	<i>durée de transition</i>
Front montant	<i>transition positive</i>
Bord arrière	<i>deuxième transition</i>
Transition	<i>durée de transition,</i>

NOTE *transition* est déconseillé lorsque l'on se réfère à un *intervalle* à l'intérieur d'une *époque de forme d'onde*. *Transition*, lorsque l'on se réfère à un événement tel que défini dans 3.44, n'est pas déconseillé.

4 Techniques de mesure et d'analyse

4.1 Généralités

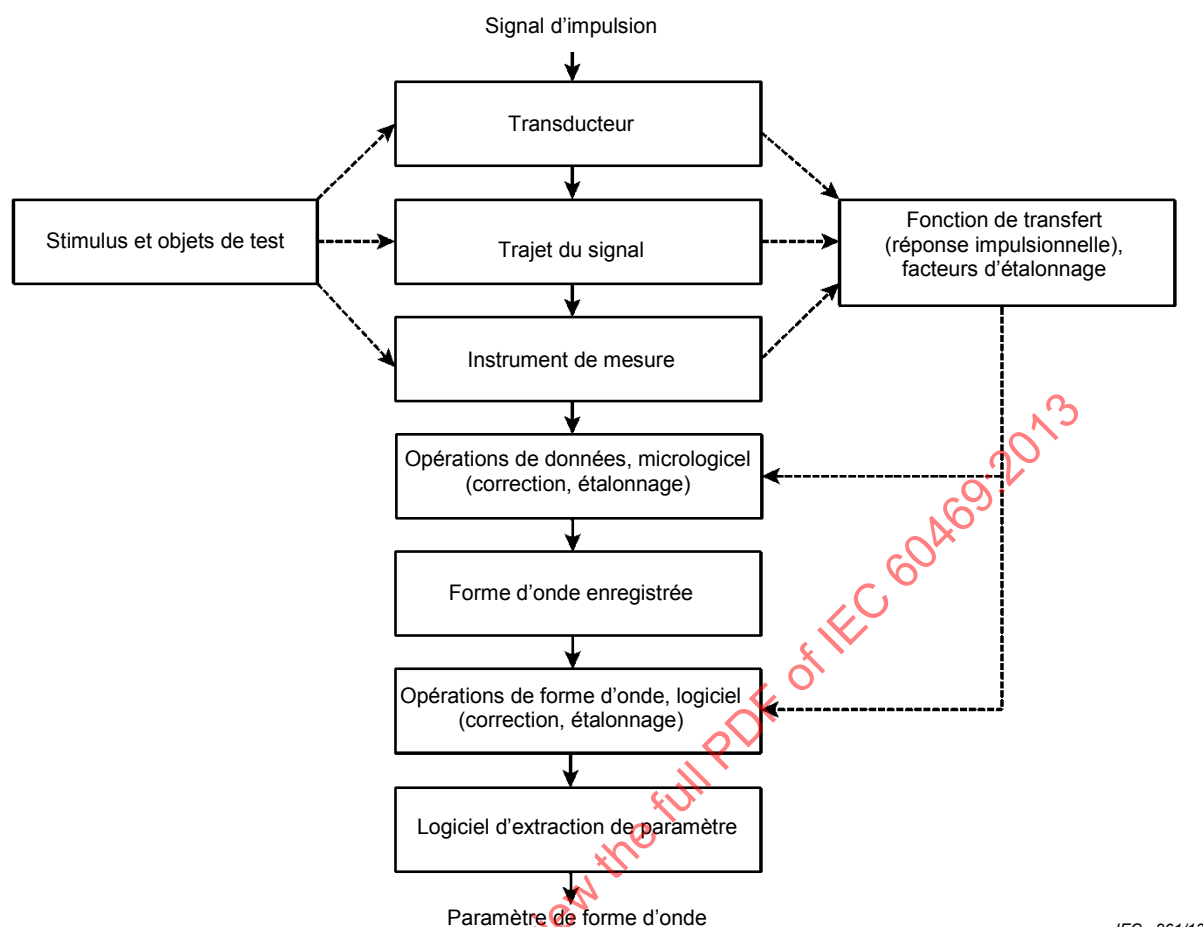
Le présent article décrit les techniques et procédures pour la mesure de forme d'onde avec indication temporelle. Les descriptions données sont indépendantes des dispositifs, appareils, instruments spécifiques ou dispositifs de calcul qui peuvent être utilisés pour ces mesures et constituent des prérequis pour:

- a) une communication efficace des résultats des mesures de la *transition*, de l'*impulsion* et de la *forme d'onde composée*;
- b) le développement et l'utilisation des normes physiques de l'artefact pour l'appareil de la *transition*, de l'*impulsion* et de la *forme d'onde composée*;
- c) le développement et l'utilisation des procédures pour un appareil faisant appel aux techniques de *transition*, d'*impulsion* et de *forme d'onde composée*.

4.2 Méthode pour la mesure de la forme d'onde

La méthode pour la mesure d'une *forme d'onde* intègre:

- a) la spécification complète de toutes les caractéristiques fonctionnelles pertinentes des dispositifs, appareils, instruments et équipement auxiliaire à utiliser;
- b) la spécification de l'ensemble des corrections nécessaires à la compensation ou à l'ajustement des écarts de la mesure par rapport à un idéal dans l'absolu;
- c) les procédures à utiliser pour la réalisation de ces corrections essentielles;
- d) les opérations à effectuer et leur ordre;
- e) les conditions dans lesquelles doivent être menées toutes les opérations.



IEC 861/13

Figure 10 – Procédé d'acquisition et de mesure de la forme d'onde

4.3 Description du procédé de mesure de la forme d'onde

L'objectif du *procédé de mesure de la forme d'onde* est de déterminer avec *exactitude*, explicite ou implicite, la valeur d'au moins un *paramètre* d'une *forme d'onde*. La Figure 10 indique l'échelonnement des étapes de tout *procédé de mesure de forme d'onde* où, comme on l'indique, le procédé comprend deux sous-procédés successifs distincts: la conversion d'un *signal* en une *forme d'onde* et l'analyse de la *forme d'onde*. Ainsi, le *procédé de mesure de la forme d'onde* comprend:

- la conversion d'un *signal* en sa transformée, également désignée par sa *forme d'onde*;
- l'analyse de la *forme d'onde* afin de déterminer la valeur d'au moins un *paramètre*;
- l'affirmation ou la présomption que la valeur du *paramètre de la forme d'onde* ainsi déterminée est, dans un certain degré d'*exactitude*, identique à la valeur du *paramètre du signal*.

La validité de l'affirmation ou de la présomption finales dépend de la combinaison des validités des deux premières étapes.

Le large éventail de dispositifs, d'appareils, d'instruments et de techniques qui peuvent être associés en nombre pratiquement illimité de combinaisons pour effectuer la conversion d'un *signal* en une *forme d'onde* exclue l'étude de l'instrumentation spécifique du domaine d'application de la présente norme. Une telle étude est du ressort d'autres normes, documents ou spécifications qui décrivent ou définissent les caractéristiques ou les méthodes concernant les dispositifs, appareils, instruments ou techniques spécifiques.

4.4 Détermination de l'époque de la forme d'onde

4.4.1 Sélection d'une époque de forme d'onde

Une *époque de forme d'onde* doit contenir les *éléments particuliers de la forme d'onde* en cours d'analyse. L'*époque de forme d'onde* doit contenir des données en quantité suffisante pour tous les *niveaux d'état* nécessaires à l'obtention de l'*exactitude* souhaitée prescrite dans le procédé de mesure. Le nombre de ces données peut être augmenté par les *niveaux de référence* déterminés à l'aide d'une autre *époque de forme d'onde*.

4.4.2 Exclusion de données de l'analyse

Une *forme d'onde* peut inclure des *éléments particuliers de forme d'onde* ou des événements non pertinents dans le contexte ou l'application de la *forme d'onde*. Les données non pertinentes peuvent être exclues de l'analyse. Toutefois, il doit être fait état de la raison d'une telle exclusion.

Lorsque des données comprises dans l'*époque de forme d'onde* sont exclues de l'analyse, les éléments suivants doivent être spécifiés:

- a) l'étendue, en valeur de temps ou de forme d'onde, des données exclues;
- b) la raison de cette exclusion de données;
- c) Si les données exclues sont ignorées (c'est-à-dire si la *forme d'onde* analysée est discontinue) ou remplacées (c'est-à-dire si les données exclues sont remplacées par d'autres données supposées ou dérivées).

5 Algorithmes d'analyse pour les formes d'onde

5.1 Vue d'ensemble et recommandations

L'analyse d'une *forme d'onde* à deux *états* requiert la détermination successive des éléments suivants:

- a) le premier *niveau d'état* (ou inférieur) et le deuxième *niveau d'état* (ou supérieur);
- b) l'*amplitude* de la *transition* ou de la *forme d'onde*;
- c) les *niveaux de références en pourcents* nécessaires et les *instants de niveau de référence* correspondants (sauf spécification contraire, on suppose que ces derniers se situent à hauteur de 10 %, 50 % et 90 % des *niveaux de référence* et des *instants de niveau de référence*);
- d) les valeurs de tous les autres *paramètres de forme d'onde* calculées depuis les paires de *niveaux* ou d'*instants*;
- e) il convient d'identifier les paramètres qui contribuent à l'incertitude dans le calcul des *paramètres de forme d'onde* et de faire une estimation de leur importance relative.

5.2 Sélection des *niveaux d'état*

5.2.1 Généralités

Dans les rubriques suivantes sont décrits les algorithmes servant à la détermination des *niveaux d'état*. Il n'est pas obligatoire d'utiliser un même algorithme pour la détermination de différents *niveaux d'état*. (Ces algorithmes sont décrits pour des *formes d'ondes à transition* unique ou pour des *formes d'onde à impulsion* unique, mais ils peuvent s'appliquer à des *formes d'onde composées* si nécessaire.)

5.2.2 Méthodes fondées sur la répartition des données – Histogrammes

5.2.2.1 Généralités

Un histogramme est la représentation de la densité de l'amplitude d'un *signal*; à titre comparatif, une *forme d'onde* est la représentation du rapport amplitude-temps d'un *signal*. La représentation de la densité de l'amplitude indique le nombre d'occurrences d'une amplitude donnée par rapport à l'amplitude globale. Pour générer un histogramme, la plage d'amplitude doit être divisée en M intervalles d'amplitudes uniques, mais non nécessairement égaux. Cependant, par souci de simplification, nous ne prendrons en considération que le cas où les intervalles d'amplitudes sont égaux. L'intervalle d'amplitude est appelé taille de classe d'histogramme et M représente le nombre de classes ou la taille de l'histogramme. L'histogramme est élaboré sur la base du nombre de fois qu'une valeur de *forme d'onde* tombe dans une classe en particulier; nous appelons cela l'effectif de la classe.

5.2.2.2 Algorithme:

- a) Déterminez les valeurs d'amplitude maximale et minimale, $y_{\max}$ et $y_{\min}$, de la *forme d'onde* ou des données à l'aide de a)1) ou de a)2)
 - 1) Recherchez la *forme d'onde* ou les données pour $y_{\min}$ et $y_{\max}$.
 - 2) Définissez $y_{\min}$ et $y_{\max}$ à partir des critères spécifiés par l'utilisateur de cette norme ou de la connaissance de la *forme d'onde* ou des données.
- b) Calculez la plage d'amplitude, y_R , de la *forme d'onde* ou des données en utilisant la formule: $y_R = y_{\max} - y_{\min}$.
- c) Calculez la taille de la classe:
 - 1) Pour des classes de taille égale, on trouve la valeur Δy en divisant y_R par M (la sélection de M est évoquée plus bas):

$$\Delta y = \frac{y_R}{M} = \frac{y_{\max} - y_{\min}}{M}, \quad (1)$$

où

Δy représente la taille de la classe de l'histogramme

M représente le nombre de classes de l'histogramme,

$y_{\max}$ est la valeur d'amplitude maximale du signal, y

$y_{\min}$ est la valeur d'amplitude minimale du signal, y ,

y_R représente la plage de valeurs du signal.

- 2) Pour des tailles de classe inégales, l'utilisateur de cette norme spécifie un ensemble de tailles de classes, Δy_j .
- d) Réglez initialement $B_j = 0$ pour $j = 1 \dots M$, où B_j représente le compte pour la $j^{\text{ème}}$ classe de l'histogramme. Triez les valeurs de *forme d'onde* ou de données, y_i , $i = 1, N$, où N représente le nombre de valeurs de *forme d'onde*, et si la valeur y_i se situe à l'intérieur de la plage d'une classe, c'est-à-dire si: $(y_{\min} + [j-1]\Delta y) < y_i < (y_{\min} + j\Delta y)$, pour $1 \leq j \leq M$, pour des tailles de classes égales, ou $(y_{\min} + \Delta y_j) < y_i < (y_{\min} + \Delta y_{j+1})$ pour $1 \leq j \leq M$ pour des tailles de classes inégales, alors réglez $B_j = B_j + 1$, où B_j représente le compte dans la $j^{\text{ème}}$ classe de l'histogramme. Si une valeur de données est égale à la valeur d'une limite de classe, elle doit être affectée à l'une des classes situées de chaque côté (limite supérieure ou inférieure) de cette limite de classe. Le côté sélectionné doit être appliqué de façon cohérente à toutes les valeurs de données de ce type et spécifié par l'utilisateur de cette norme.

5.2.2.3 Sélection du nombre de classes de l'histogramme, M

5.2.2.3.1 Généralités

La présente rubrique décrit deux méthodes de sélection de M pour une forme d'onde qui affiche une répartition d'amplitude bimodale et contient une seule *transition*. Les formes d'onde N_S -état ($N_S > 2$) et les formes d'onde N_T -transition ($N_T > 1$) peuvent également être traitées à l'aide des techniques mentionnées dans le présent document; cependant, ces techniques requièrent que la *forme d'onde* soit décomposée (voir 5.5) en formes d'onde de niveau inférieur contenant chacune une transition et deux états. Les restrictions de chacune des méthodes de détermination de M sont indiquées. Toutes ces méthodes se fondent sur l'exigence selon laquelle les paramètres d'impulsion extraits sont conformes à ce qui a été observé. La valeur de M a une limite supérieure et une limite inférieure. Il est recommandé que la valeur de M soit suffisamment grande pour que la résolution de l'amplitude désirée pour les paramètres dérivés de l'histogramme ne soit pas dégradée ou réduite. Il n'est pas recommandé que la valeur de M soit si grande que la taille de la classe de l'histogramme en devienne inférieure à la quantification de l'amplitude de la forme d'onde. La quantification de l'amplitude dépend de la plage d'entrée de l'instrument sur lequel la plage d'entrée du convertisseur analogique-numérique (ADC) est appliquée, du nombre de bits dans l'ADC et de la réalisation (ou non) du calcul de la moyenne du signal.

Si les données pour lesquelles un histogramme est réalisé ont été obtenues depuis un ADC, il est en général important de rendre la taille de la classe de l'histogramme compatible avec la taille des classes de quantification du convertisseur analogique-numérique. La taille de la classe de quantification d'un convertisseur analogique-numérique correspond à l'intervalle des valeurs d'entrée qui produisent une seule valeur de sortie, c'est-à-dire l'intervalle entre les *niveaux* de transition du convertisseur analogique-numérique. Si les données correspondent à la moyenne des lectures de N du convertisseur analogique-numérique, alors chaque classe de convertisseur analogique-numérique est effectivement divisée en plusieurs classes N de taille plus petite et égale. (Le calcul de la moyenne réduit effectivement la taille de la classe du convertisseur analogique-numérique).

Chaque taille de classe de l'histogramme doit être un nombre entier de tailles de classe de l'ADC. Si la taille de la classe de l'histogramme utilisée dans 5.2.2.2 est égale à $(n + x)$ tailles de classe du convertisseur analogique-numérique, où n est un entier et x est inférieur à 1, alors chaque classe de l'histogramme aura effectivement une taille de n tailles de classe du convertisseur analogique-numérique ou de $(n + 1)$ tailles de classe du convertisseur analogique-numérique. Si n est une valeur très grande, de sorte que la différence relative entre n et $n + 1$ est faible, cette erreur dans la taille de classe de l'histogramme n'est pas importante.

Un élément supplémentaire est à prendre en considération si la sélection des *niveaux d'état* est fondée sur le mode d'un histogramme. Les tailles des classes, qui devraient être égales, peuvent être inégales en raison de la non-linéarité différentielle du convertisseur analogique-numérique. Dans un tel cas, le mode peut se produire sur la classe la plus grande plutôt que dans la classe adéquate. Lorsque cela est possible, il convient de corriger les comptes d'histogramme (nombre de valeurs de *forme d'onde* au sein de chacune des classes de l'histogramme) pour les tailles de classes avant d'analyser l'histogramme.

5.2.2.3.2 Méthode 1

Sélectionnez une valeur fixe de M . La sélection de M peut être fondée sur les observations, les pratiques habituelles ou par tout autre moyen valide.

5.2.2.3.3 Méthode 2

Une grande (ou petite) valeur de M est sélectionnée comme valeur initiale. La valeur de M est ensuite décrémentée (ou incrémentée) jusqu'à ce qu'un critère d'histogramme en particulier soit atteint. Un critère utilisé est que la classe la moins alimentée des deux modes contient un compte égal à au moins 1 % du nombre d'éléments, N_e , dans la *forme d'onde*. Cette méthode part du principe que la *forme d'onde* affiche une répartition d'amplitude bimodale et qu'elle est

située de telle façon que la classe correspondant au *niveau*(s_2) et au *niveau*(s_1) a un compte supérieur ou égal à $0,01N_e$. Habituellement, cette dernière exigence est garantie en positionnant la *forme d'onde* de telle manière que la *durée* du *niveau*(s_2) ou du *niveau*(s_1) n'est pas inférieure à 10 % de l'*époque de forme d'onde*. (Bien que des *durées* plus courtes puissent fonctionner, cela n'a pas été testé.) Cette méthode peut être adaptée pour une application aux *formes d'onde* contenant plus d'une *transition* et plus de deux modes dans la répartition d'amplitude si la *forme d'onde* est décomposée en conséquence. Toutefois, pour chaque segment, la *durée* du *niveau*(s_2) ou du *niveau*(s_1) dans ce segment de *forme d'onde* doit fournir au moins $0,01N_e$ d'occurrences d'amplitude. Si cette méthode est mise en œuvre automatiquement, c'est-à-dire sans intervention d'un opérateur, elle nécessite que le *niveau*(s_2) et le *niveau*(s_1) soient situés dans des moitiés opposées de la valeur y_R . La mise en œuvre de cette méthode à l'aide de classes de taille égale est décrite dans [1]¹, qui montre également les effets de la variation des tailles des classes sur les paramètres d'impulsion calculés.

5.2.2.4 Scinder l'histogramme bimodal en deux parties (sous-histogrammes)

Cette procédure est fondée sur le concept de séparation de l'histogramme, calculé conformément à la description fournie dans 5.2.2, en histogrammes supérieurs et inférieurs à partir desquels les modes de chacun sont calculés puis utilisés successivement pour déterminer les *niveaux d'état de forme d'onde*. Cette procédure fait appel aux valeurs de deux *paramètres*, f_1 et f_2 , où $f_1 \leq f_2$, définis par l'utilisateur de cette norme. Les valeurs standard pour cette paire de variables sont $(f_1, f_2) = (0,5, 0,5)$ ou $(f_1, f_2) = (0,4, 0,6)$. Si B_j , pour $j = 1 \dots M$, représente les effectifs de classe dans un histogramme défini dans 5.2.2. Si j_{low} représente la plus petite valeur de j pour laquelle $B_j > 0$, et si j_{high} représente la valeur la plus élevée de j pour laquelle $B_j > 0$, alors la plage de l'histogramme inférieur est $j_{low} \leq j \leq f_1(j_{high} - j_{low})$. La plage de l'histogramme supérieur est $(j_{low} + f_2(j_{high} - j_{low})) \leq j \leq j_{high}$.

Les *aberrations de forme d'onde* et/ou les autres artefacts parasites peuvent affecter défavorablement la capacité des algorithmes automatisés à trouver le *niveau de forme d'onde* approprié autour duquel l'histogramme est divisé. D'un autre côté, la sélection manuelle (par l'opérateur) du *niveau de forme d'onde* approprié ne sera pas corrompue par du contenu parasite.

5.2.2.5 Détermination des niveaux d'état depuis l'histogramme

Scindez l'histogramme bimodal en deux parties selon la procédure décrite dans 5.2.2.4. Trouvez les valeurs moyennes ou les modes des deux sous-histogrammes présents dans 5.2.2.4. Le *niveau d'état bas* est fourni par le mode ou la valeur moyenne de l'histogramme inférieur et le *niveau d'état haut* est donné par le mode ou la valeur moyenne de l'histogramme supérieur. Solomon et al [2] examinent l'effet de différentes méthodes d'histogramme sur les valeurs des niveaux d'état.

5.2.3 Méthodes fondées sur la répartition des données – Estimateur Shorth

La présente section couvre les *formes d'onde échelonnées*. Le shorth d'une collection finie de valeurs de données est le plus petit intervalle contenant une certaine fraction, f_S , de ces valeurs de données. Cette fraction est $f_S = 1/2$, sauf spécification contraire. L'estimateur shorth est un estimateur d'emplacement semblable à l'estimateur de la moindre médiane des résidus au carré (LMS) [3]. La première étape dans la méthode de l'estimateur shorth est de marquer ou de regrouper les valeurs de *forme d'onde* appartenant à un *état* en particulier. La méthode *k-means* [4] constitue une approche efficace pour le regroupement des valeurs de *forme d'onde*. Dans cette méthode, les valeurs de *forme d'onde* sont regroupées en fonction de leur différence relative à un *niveau moyen* en particulier, où dans ce cas les *niveaux moyens* sont calculés pour les deux *occurrences d'état* de la *forme d'onde échelonnée*.

¹ Les chiffres entre crochets se réfèrent à la Bibliographie.

a) Regroupement des valeurs de *forme d'onde*:

1) Initialisez les *niveaux moyens* $\bar{y}_1$ et $\bar{y}_2$, pour les deux *occurrences d'état* $(s_1,1)$ et $(s_2,1)$ (notez qu'il n'y a que deux *occurrences d'état* dans une *forme d'onde échelonnée*):

i) $\bar{y}_1 = y_{\min}$, sauf spécification contraire par l'utilisateur de la présente norme

ii) $\bar{y}_2 = y_{\max}$, sauf spécification contraire par l'utilisateur de la présente norme,

où $y_{\min}$ et $y_{\max}$ sont les valeurs d'amplitude minimale et maximale de la *forme d'onde y*.

2) Isolez chaque valeur de *forme d'onde*, y_i , dans $(s_1,1)$ ou $(s_2,1)$ en fonction de la différence d'amplitude entre y_i et les *niveaux moyens*. Les *niveaux moyens* sont ensuite mis à jour en calculant les valeurs moyennes de y_i affectées à chacune des *occurrences d'état*. Ce procédé se poursuit jusqu'à ce que les valeurs y_i ne changent plus d'*occurrence d'état* ou, de façon similaire, jusqu'à ce que les *niveaux moyens* ne changent plus. Nous obtenons ainsi l'algorithme suivant:

do

$$\bar{y}_{1,old} = \bar{y}_1$$

$$\bar{y}_{2,old} = \bar{y}_2$$

for $i = 1 \dots N$

if $|y_i - \bar{y}_1| < |y_i - \bar{y}_2|$ then assign y_i to $(s_1,1)$

else assign y_i to $(s_2,1)$

endfor

$$\bar{y}_1 = \text{niveau moyen de } (s_1,1)$$

$$\bar{y}_2 = \text{niveau moyen de } (s_2,1)$$

while $\bar{y}_1 - \bar{y}_{1,old} \neq 0$ and $\bar{y}_2 - \bar{y}_{2,old} \neq 0$

où N est le nombre d'échantillons dans y .

Après convergence de l'algorithme, deux ou trois itérations en général, il retourne $(s_1,1)$ et $(s_2,1)$, les deux *occurrences d'état* de la *forme d'onde échelonnée*. L'ensemble de valeurs de *forme d'onde* N_1 dans $(s_1,1)$ (la première *occurrence d'état*) est donné par $(s_1,1) = \{y_1^{(1)}, y_2^{(1)}, \dots, y_{N_1}^{(1)}\}$ et l'ensemble de valeurs de la *forme d'onde* N_2 dans $(s_2,1)$ est donné par $(s_2,1) = \{y_1^{(2)}, y_2^{(2)}, \dots, y_{N_2}^{(2)}\}$.

L'étape suivante de ce procédé consiste à obtenir le shorth et la collection shorth correspondante pour $(s_1,1)$ et $(s_2,1)$. La collection shorth comporte les valeurs de données contenues dans le shorth. Dans le présent exemple, le shorth de la $i^{\text{ème}}$ *occurrence d'état* est le plus petit *intervalle* contenant la fraction spécifiée des valeurs affectées à la $i^{\text{ème}}$ *occurrence d'état*.

b) Détermination de la collection shorth. La collection shorth est calculée de façon indépendante pour $(s_1,1)$ et $(s_2,1)$ à l'aide de la procédure suivante:

1) Réordonnez $(s_1,1)$ en une séquence non-décroissante pour obtenir $(s_1,1)_{nd} = y_{(1)}^{(1)} \leq y_{(2)}^{(1)} \leq \dots \leq y_{(N_1)}^{(1)}$,

2) Réordonnez $(s_2,1)$ en une séquence non-décroissante pour obtenir $(s_2,1)_{nd} = y_{(1)}^{(2)} \leq y_{(2)}^{(2)} \leq \dots \leq y_{(N_2)}^{(2)}$,

où

N_1 est le nombre d'échantillons dans $(s_1,1)$ et

N_2 est le nombre d'échantillon dans $(s_2, 1)$. Par souci de clarté, $y_i^{(1)}$ n'est pas nécessairement égal à $y_{(i)}^{(1)}$ et $y_i^{(2)}$ n'est pas nécessairement égal à $y_{(i)}^{(2)}$.

- 3) Effectuez les actions suivantes pour calculer la collection shorth pour $(s_1, 1)$:

$h = \lfloor f_s N_1 \rfloor + 1$, où $\lfloor x \rfloor$ est l'entier le plus grand inférieur ou égal à x

$d = N_1 - h + 1$

$diff_min = 10^9$

for $i = 1 \dots d$

$diff = y_{(h+i-1)}^{(1)} - y_{(i)}^{(1)}$

if $(diff < diff_min)$ then

$diff_min = diff$

$m = i$

endif

endfor

La collection shorth pour $(s_1, 1) = (y_{(m)}^{(1)}, \dots, y_{(h+m-1)}^{(1)})$

- 4) Effectuez les actions suivantes pour calculer la collection shorth pour $(s_2, 1)$:

$k = \lfloor f_s N_2 \rfloor + 1$

$d = N_2 - k + 1$

$diff_min = 10^9$

for $i = 1 \dots d$

$diff = y_{(k+i-1)}^{(2)} - y_{(i)}^{(2)}$

if $(diff < diff_min)$ then

$diff_min = diff$

$n = i$

endif

endfor

La collection shorth pour $(s_2, 1) = (y_{(n)}^{(2)}, \dots, y_{(k+n-1)}^{(2)})$

NOTE L'algorithme des étapes 3 et 4 produit une collection shorth qui sélectionne le premier intervalle lorsqu'au moins deux intervalles successifs qualifient le shorth. Si l'utilisateur de la présente norme met en œuvre un critère de collection shorth différent de celui utilisé ici, il doit indiquer le critère utilisé.

- c) Enfin, la moyenne de la valeur de la collection shorth est utilisée, sauf spécification contraire, pour faire une estimation des *niveaux* de chaque *état* [5].

1) Le *niveau* de s_1 est calculé comme suit: $level(s_1) = \frac{1}{h} \sum_{j=m}^{h+m-1} y_{(j)}^{(1)}$.

2) Le *niveau* de s_2 est calculé comme suit: $level(s_2) = \frac{1}{k} \sum_{j=n}^{k+n-1} y_{(j)}^{(2)}$.

A titre de simplification, imaginons que $N_1 = 11$ et que

$$(y_{(1)}^{(1)}, \dots, y_{(N_1)}^{(1)}) = (10, 45, 50, 53, 56, 58, 60, 62, 63, 65, 75).$$

Alors, $h = \lfloor 11/2 \rfloor + 1 = 6$, et la plus petite des différences dans l'ensemble de différences correspondant, 58-10, 60-45, 62-50, 63-53, 65-56 et 75-58 est 9, ce qui correspond à l'intervalle (56, 65), qui est le shorth. Les valeurs contenues dans le shorth sont 56, 58, 60,

62, 63 et 65. Le *niveau* (s_1) est calculé comme *niveau* (s_1) = (56+58+60+62+63+65)/6 = 60,67.

5.2.4 Autres méthodes

5.2.4.1 Niveau de crête

Déterminez les valeurs de crête maximale et de crête minimale de la forme d'onde à transition unique ou de la forme d'onde à impulsion unique:

- a) Prenez la valeur de *crête minimale* comme premier *niveau d'état* (ou inférieur)
- b) Prenez la valeur de *crête maximale* comme second *niveau d'état* (ou supérieur).

Cet algorithme est le plus adapté à l'analyse des formes d'onde avec des *niveaux d'état* d'une *durée* négligeable ou relativement courte.

5.2.4.2 Instant initial (final)

Pour une *forme d'onde à transition* unique, déterminez les valeurs de l'*instant initial* et de l'*instant final*. Prenez soit la valeur de l'*instant initial*, soit celle de l'*instant final*, en tout cas la plus *négative* des deux, en tant que *premier niveau d'état* ou *niveau d'état bas*. Ensuite, prenez soit la valeur de l'*instant initial*, soit celle de l'*instant final*, en tout cas la plus *positive* des deux, en tant que *deuxième niveau d'état* ou *niveau d'état haut*.

Pour une *forme d'onde à impulsion* unique, seul l'un des deux *niveaux d'état* peut être déterminé par la méthode de l'instant initial (final). Dans ce cas, déterminez la valeur de l'*instant initial* (final). Pour une *forme d'onde à impulsion positive*, prenez cette valeur en tant que *premier niveau d'état* ou *niveau d'état bas*. Pour une *forme d'onde à impulsion négative*, prenez cette valeur en tant que *deuxième niveau d'état* ou *niveau d'état haut*.

5.2.4.3 Méthode définie par l'utilisateur

Cette méthode repose sur les présomptions ou les attentes de l'utilisateur de la présente norme concernant le comportement du générateur de forme d'onde. Il est recommandé de fonder ces présomptions ou attentes sur la connaissance, par exemple, des circuits du générateur de forme d'onde, de l'interaction entre le générateur de forme d'onde et la charge (instrument de mesure) et/ou des observations précédentes. A l'aide de ces informations, l'utilisateur de la présente norme indique quelles sont les valeurs pour les états *inférieur* et *supérieur* de la *forme d'onde*.

5.2.4.4 Utilisation d'autres époques de forme d'onde

Au moins deux *époques de forme d'onde* peuvent être requises, car la *forme d'onde* à partir de laquelle un *paramètre* donné doit être calculé peut ne pas contenir suffisamment d'informations pour la réalisation de ce calcul. Par exemple, lors du calcul de la *durée de transition*, si la *forme d'onde* ne s'est pas stabilisée à son *état* initial ou final à l'intérieur d'une *époque de forme d'onde* plus courte à partir de laquelle la *durée de transition* peut être calculée, et si la *forme d'onde* de la/des *époque(s)* plus longues ne dispose pas de la résolution temporelle requise pour calculer avec précision la *durée de transition*, alors au moins deux *époques* sont nécessaires pour calculer la *durée de transition*. Au moins deux *formes d'onde* seront requises, dont au moins une ayant une longue *époque* à partir de laquelle les *niveaux d'état* seront obtenus, et une ayant une courte *époque* à partir de laquelle la *durée de transition* sera calculée.

- a) Identifiez les *époques de forme d'onde* à utiliser, E_1 , E_2 et éventuellement E_3 . Trois *formes d'onde* sont nécessaires si l'*état bas* et l'*état haut* doivent être calculés à partir de différentes *formes d'onde*.
- b) Acquérez la/les *forme(s) d'onde* partir de laquelle/desquelles l'*état bas* et l'*état haut* doivent être déterminés.

- c) Calculez l'*état bas* et l'*état haut* des *formes d'onde* adéquates à l'aide d'une méthode spécifiée par l'utilisateur de la présente norme.

L'*état bas* et l'*état haut* ainsi déterminés représentent l'*état bas* et l'*état haut* de la *forme d'onde*.

5.2.4.5 Niveaux statiques

Cette méthode nécessite que le générateur d'impulsion utilisé pour la génération de la *forme d'onde échelonnée* puisse fonctionner de sorte à fournir deux *niveaux* statiques (à valeur constante), l'un correspondant à l'*état bas* de l'impulsion à mesurer, l'autre à l'*état haut* de cette même impulsion. Par ailleurs, ces *niveaux* statiques doivent être fournis au même connecteur à partir duquel l'impulsion est émise et ces *niveaux* doivent pouvoir être sélectionnés de façon unique.

- Utilisez le générateur d'impulsion pour qu'il produise un *niveau* statique égal au *niveau* de l'*état bas* de l'impulsion.
- Acquérez une *forme d'onde* de ce *niveau d'état bas* et calculez-en la valeur à l'aide d'une méthode spécifiée par l'utilisateur de la présente norme; il s'agit de l'*état bas* de la *forme d'onde*.
- Utilisez le générateur d'impulsion pour qu'il produise un *niveau* statique égal à l'*état haut* de l'impulsion et mesurez ce *niveau*.
- Acquérez une *forme d'onde* de ce *niveau d'état haut* et calculez-en la valeur à l'aide d'une méthode spécifiée par l'utilisateur de la présente norme; il s'agit là de l'*état haut* de la *forme d'onde*.

5.2.5 Inversion de l'algorithme

Les méthodes évoquées ci-dessus peuvent être choisies de façon dynamique sur la base de la *forme d'onde* d'entrée. Par exemple, certains algorithmes utilisent une méthode d'histogramme ou une méthode de niveau de crête en fonction de la forme de l'histogramme. Si plusieurs méthodes sont combinées ou utilisées, il est recommandé de spécifier les critères justifiant leur utilisation.

5.3 Détermination des autres paramètres de forme d'onde à transition unique

5.3.1 Généralités

Après détermination du *niveau d'état bas* ou d'*état 1* et du *niveau d'état haut* ou d'*état 2* d'une *forme d'onde à transition* unique ou d'une *forme d'onde à impulsion* unique, tous les autres *paramètres de forme d'onde à transition* ou à *impulsion* définis dans la présente norme peuvent être calculés directement depuis les définitions de ces paramètres décrites dans la présente norme.

Certains enregistreurs de *forme d'onde* disposent d'un logiciel ou micrologiciel interne pour le calcul des *paramètres de forme d'onde*. Lors du procédé de calcul de ces *paramètres de forme d'onde*, l'enregistreur peut filtrer la *forme d'onde* avant interpolation. Par conséquent, il est recommandé à l'utilisateur de la présente norme de vérifier l'existence d'un tel filtrage interne potentiellement effectué par l'enregistreur de *forme d'onde* car ce filtrage peut affecter la valeur du *paramètre*. Si ce filtrage est effectué lors du procédé de calcul des *paramètres de forme d'onde*, le type de filtre et les variables qui le définissent doivent être spécifiés.

5.3.2 Algorithme pour le calcul de l'amplitude signée de forme d'onde

- Déterminez s_1 et s_2 à l'aide de la méthode décrite à 5.2.
- L'*amplitude de forme d'onde*, A , représente la différence entre le *niveau* (s_2) et le *niveau* (s_1)
 - Pour les *transitions positives*, A est donné par:

$$A = \text{level}(s_2) - \text{level}(s_1), \quad (2)$$

où

A représente l'amplitude de la *forme d'onde*,

le *niveau* (s_1) représente le *niveau d'état* de s_1 et

le *niveau* (s_2) représente le *niveau d'état* de s_2 .

2) Pour les *transitions négatives*, A est donné par:

$$A = \text{level}(s_1) - \text{level}(s_2). \quad (3)$$

5.3.3 Algorithme pour le calcul des niveaux de référence en pourcents

a) Calculez l'*amplitude de forme d'onde* A , conformément à la description de l'Article 5.3.2.

b) Calculez la valeur du *niveau de référence en pourcents*, $y_x \%$, comme suit:

$$y_{x\%} = \text{level}(s_1) + \frac{|A|}{100} x\%, \quad (4)$$

où

$y_{x\%}$, représente la valeur du *niveau de référence en pourcents*,

x représente le pourcentage du *niveau de référence en pourcents* spécifié par l'utilisateur de la présente norme, et

le *niveau* (s_1) représente le *niveau d'état* de s_1 .

NOTE $y_{x\%}$ peut (ou non) être égal à la valeur d'un échantillon dans la *forme d'onde*.

5.3.4 Algorithmes pour le calcul des instants de niveau de référence

5.3.4.1 Généralités

Les algorithmes pour le calcul des *instants de niveau de référence* font appel à l'interpolation linéaire entre les *instants* auxquels la *forme d'onde* est échantillonnée. Si l'*intervalle* entre échantillons successifs de *forme d'onde* est trop grand pour que l'interpolation linéaire soit suffisamment exacte, le degré d'*exactitude* des *niveaux de référence* calculés et des *instants de niveau de référence* qui leur sont associés sera amoindri. Si cette restriction entraîne des erreurs au niveau des valeurs des paramètres qui s'avèrent être supérieures à un seuil de tolérance spécifié par l'utilisateur de la présente norme, une méthode d'interpolation plus élaborée fondée sur au moins deux échantillons adjacents peut être utilisée. La sélection d'une autre méthode d'interpolation dépend de la connaissance de la *forme d'onde* et se situe en-dehors du périmètre de la présente norme. La méthode d'interpolation et les conditions dans lesquelles elle est utilisée doivent être spécifiées.

5.3.4.2 Algorithme pour le calcul de l'instant de niveau de référence 50 %

a) Calculez le *niveau de référence 50 %* conformément à la description de 5.3.3.

b) Calculez l'*instant de niveau de référence 50 %* pour $y_{50\%}$ à l'aide de l'interpolation linéaire:

$$t_{50\%} = t_{50\%-} + \left(\frac{t_{50\%+} - t_{50\%-}}{y_{50\%+} - y_{50\%-}} \right) (y_{50\%} - y_{50\%-}) \quad (5)$$

où

$t_{50\%}$ représente l'*instant de niveau de référence 50 %*,

$t_{50\%-}$ et $t_{50\%+}$ représentent deux *instants* consécutifs d'échantillon correspondant aux données ayant la valeur la plus proche de $y_{50\%}$, tels que $y_{50\%-} \leq y_{50\%} \leq y_{50\%+}$, et

$y_{50\% -}$ et $y_{50\% +}$ représentent deux valeurs consécutives de *forme d'onde* correspondant à $t_{50\% -}$ et $t_{50\% +}$.

S'il y a plus d'un *instant de niveau de référence 50 %*, le premier est l'*instant de niveau de référence 50 %*, sauf spécification contraire.

5.3.4.3 Algorithme pour le calcul des autres *instants de niveau de référence*

- Fournissez un *niveau de référence*, $y_x\%$, en calculant $y_x\%$ conformément à la description de 5.3.3 pour une valeur de x ou de $y_x\%$ spécifiée ou fournie par l'utilisateur de la présente norme
- Calculez l'*instant de niveau de référence* pour $y_x\%$ à l'aide de l'interpolation linéaire:

$$t_{x\%} = t_{x\% -} + \left(\frac{t_{x\% +} - t_{x\% -}}{y_{x\% +} - y_{x\% -}} \right) (y_{x\%} - y_{x\% -}), \quad (6)$$

où

$t_{x\%}$ représente l'*instant de niveau de référence* pour le *niveau de référence* sélectionné par l'utilisateur de la présente norme,

$y_x\%$ représente le *niveau de référence* spécifié par l'utilisateur de la présente norme

$t_{x\% -}$ et $t_{x\% +}$ sont deux *instants* consécutifs d'échantillon correspondant aux données ayant la valeur la plus proche de $y_x\%$, tels que $y_{x\% -} \leq y_x\% \leq y_{x\% +}$, et

$y_{x\% -}$ et $y_{x\% +}$ sont deux valeurs consécutives de *forme d'onde* correspondant à $t_{x\% -}$ et $t_{x\% +}$.

S'il y a plus d'un *instant de niveau de référence*, l'*instant de niveau de référence* le plus proche de l'*instant de niveau de référence 50 %* (voir 5.3.4.2) est utilisé, sauf spécification contraire.

5.3.5 Algorithme pour le calcul de la durée de transition entre les niveaux de référence $x_1\%$ et $x_2\%$

- Calculez l'*instant de niveau de référence*, $t_{x_1\%}$, pour le *niveau de référence* $x_1\%$ conformément à 5.3.4 qui est le plus proche de l'*instant de niveau de référence 50 %*, sauf spécification contraire.
- Calculez l'*instant de niveau de référence*, $t_{x_2\%}$, pour le *niveau de référence* $x_2\%$ conformément à 5.3.4 qui est le plus proche de l'*instant de niveau de référence 50 %*, sauf spécification contraire.
- Calculez la *durée de transition*, $t_{x_1\% - x_2\%}$:

$$t_{x_1\% - x_2\%} = |t_{x_1\%} - t_{x_2\%}|, \quad (7)$$

où

$t_{x_1\% - x_2\%}$ représente la durée entre le *niveau de référence* $x_1\%$ et le *niveau de référence* $x_2\%$,

$t_{x_1\%}$, représente l'*instant de niveau de référence* pour le *niveau de référence* $x_1\%$, et

$t_{x_2\%}$, représente l'*instant de niveau de référence* pour le *niveau de référence* $x_2\%$.

5.3.6 Algorithme pour le calcul des aberrations de dépassement négatif et de dépassement des formes d'onde échelonnées

- Déterminez le *niveau* (s_1) et le *niveau* (s_2) à l'aide de la méthode décrite dans 5.2 et définissez la *limite supérieure* et la *limite inférieure* pour les états correspondant à ces niveaux.
- Déterminez les valeurs maximale et minimale de *forme d'onde*, $y_{\max}$ et $y_{\min}$.
- Calculez l'*amplitude de forme d'onde* A , conformément à la description de 5.3.2.
- Calculez les *niveaux de référence* x_1 % et x_2 % et le *niveau de référence* 50 % conformément à la description de 5.3.3. Les *niveaux de référence* généralement utilisés sont les *niveaux de référence* 10 % et 90 %.
- Calculez les *instants de niveau de référence*, t_{x_1} %, t_{50} % et t_{x_2} %, conformément à la description dans 5.3.4, pour les *niveaux de référence* déterminés au cours de l'étape (d).
- Calculez la *durée de transition* pour les *instants de niveau de référence* déterminés au cours de l'étape (e), conformément à la description de 5.3.5.
- Calcul du *dépassement* et du *dépassement négatif* dans la *zone d'aberration pré-transition*.
 - Calculez le dernier *instant*, t_{pre} , qui se produit avant t_{50} % lorsque la *forme d'onde* sort de la *limite d'état* supérieure (inférieure) de l'état bas (état haut) pour une *transition positive (négative)* à l'aide de la méthode décrite dans 5.3.4.
 - Définissez la *zone d'aberration pré-transition* comme celle entre $t_{\text{pre}} - 3t_{10\%-90\%}$ et t_{pre} (sauf spécification contraire par l'utilisateur de la présente norme).
 - Recherchez la *zone d'aberration pré-transition* pour la valeur maximale, $y_{\max,\text{pre}}$, et la valeur minimale, $y_{\min,\text{pre}}$. $y_{\max,\text{pre}}$ représente la valeur maximale y_i dans la *zone d'aberration pré-transition* et $y_{\min,\text{pre}}$ représente la valeur minimale y_i dans la *zone d'aberration pré-transition*.
 - Si $y_{\max,\text{pre}}$ est égal ou inférieur à la *limite d'état* supérieure de s_1 (s_2) pour une *transition positive (négative)*, alors le *dépassement* dans la *zone d'aberration pré-transition*, O_{pre} , est zéro; sinon, calculez le pourcentage de *dépassement* dans la *zone d'aberration pré-transition* comme suit:

$$O_{\text{pre}}(\%) = \frac{y_{\max,\text{pre}} - \text{level}(s_k)}{|A|} 100\%, \quad (8)$$

où

O_{pre} représente la valeur de *dépassement* dans la *zone d'aberration pré-transition*,
 $y_{\max,\text{pre}}$ représente la valeur maximale de *forme d'onde* dans la *zone d'aberration pré-transition*,

A représente l'*amplitude de forme d'onde*,

le *niveau* (s_k) représente le *niveau d'état* du $k^{\text{ème}}$ état. Le *niveau* (s_k) = *niveau* (s_1) pour une *transition positive* et le *niveau* (s_k) = *niveau* (s_2) pour une *transition négative*.

- Si $y_{\min,\text{pre}}$ est supérieur ou égal à la *limite d'état* inférieure s_1 (s_2) pour une *transition positive (négative)*, alors le *dépassement négatif* dans la *zone d'aberration pré-transition*, U_{pre} , est zéro; sinon, calculez le pourcentage de *dépassement négatif* dans la *zone d'aberration pré-transition* comme suit:

$$U_{\text{pre}}(\%) = \frac{\text{level}(s_k) - y_{\min,\text{pre}}}{|A|} 100\%, \quad (9)$$

où

U_{pre} représente la valeur de *dépassement négatif* dans la *zone d'aberration pré-transition*,

$y_{\min,\text{pre}}$ représente la valeur minimale de *forme d'onde* dans la *zone d'aberration pré-transition*,

A représente l'amplitude de forme d'onde,
 le niveau (s_k) représente le niveau d'état du $k^{\text{ème}}$ état. Le niveau (s_k) = niveau (s_1) pour une transition positive et le niveau (s_k) = niveau (s_2) pour une transition négative.

h) Calcul du dépassement et du dépassement négatif dans la zone d'aberration post-transition.

- 1) Calculez le premier instant, t_{post} , qui se produit après $t_{50\%}$ lorsque la forme d'onde entre dans la limite d'état inférieure (supérieure) de l'état haut (état bas) pour une transition positive (négative) à l'aide de la méthode décrite dans 5.3.4.
- 2) Définissez la zone d'aberration post-transition comme celle entre t_{post} et $t_{\text{post}} + 3t_{10\%-90\%}$ (ou spécification contraire par l'utilisateur de la présente norme).
- 3) Recherchez la zone d'aberration post-transition pour la valeur maximale, $y_{\text{max,post}}$, et la valeur minimale, $y_{\text{min,post}}$. $y_{\text{max,post}}$ représente la valeur maximale y_i dans la zone d'aberration post-transition et $y_{\text{min,post}}$ représente la valeur minimale y_i dans la zone d'aberration post-transition.
- 4) Si $y_{\text{max,post}}$ est égal ou inférieur à la limite d'état supérieure de s_2 (s_1) pour une transition positive (négative), alors le dépassement dans la zone d'aberration post-transition, O_{post} , est zéro; sinon, calculez le pourcentage de dépassement dans la zone d'aberration post-transition comme suit:

$$O_{\text{post}}(\%) = \frac{y_{\text{max,post}} - \text{level}(s_k)}{|A|} 100\%, \quad (10)$$

où

O_{post} est la valeur de dépassement dans la zone d'aberration post-transition,

$y_{\text{max,pre}}$ représente la valeur maximale de forme d'onde dans la zone d'aberration post-transition,

A représente l'amplitude de forme d'onde,

le niveau (s_k) représente le niveau d'état du $k^{\text{ème}}$ état. Le niveau (s_k) = niveau (s_1) pour une transition positive et le niveau (s_k) = niveau (s_2) pour une transition négative.

- 5) Si $y_{\text{min,post}}$ est supérieur ou égal à la limite d'état inférieure s_2 (s_1) pour une transition positive (négative), alors le dépassement négatif dans la zone d'aberration post-transition, U_{post} , est zéro; sinon, calculez le pourcentage de dépassement négatif dans la zone d'aberration post-transition comme suit:

$$U_{\text{post}}(\%) = \frac{\text{level}(s_k) - y_{\text{min,post}}}{|A|} 100\%, \quad (11)$$

où

U_{post} représente la valeur de dépassement négatif dans la zone d'aberration post-transition,

$y_{\text{max,pre}}$ représente la valeur minimale de forme d'onde dans la zone d'aberration post-transition,

A représente l'amplitude de forme d'onde,

le niveau (s_k) représente le niveau d'état du $k^{\text{ème}}$ état. Le niveau (s_k) = niveau (s_1) pour une transition positive et le niveau (s_k) = niveau (s_2) pour une transition négative.

5.3.7 Algorithme pour le calcul des aberrations de forme d'onde

- a) Calculez les niveaux de référence $x1\%$ et $x2\%$ conformément à la description de 5.3.3. Les niveaux de référence généralement utilisés sont les niveaux de référence 10% et 90% .

- b) Calculez les *instants de niveau de référence*, $t_{x1\%}$ et $t_{x2\%}$, conformément à la description de 5.3.4, pour les *niveaux de référence* déterminés au cours de l'étape (a).
- c) Déterminez la *zone d'aberration pré-transition* et la *zone d'aberration post-transition* conformément à la description de 5.3.6 et excluez ces zones du calcul de l'*aberration de forme d'onde*.
- d) Calculez les paramètres de génération de la *forme d'onde de référence*, $r(t)$. Sauf spécification contraire, la *forme d'onde à impulsion* trapézoïdale (voir la Figure A.6) sera utilisée comme *forme d'onde de référence* pour le calcul des *aberrations de forme d'onde*.
- 1) Calculez la pente grâce aux niveaux de référence et aux instants de niveau de référence de la forme d'onde comme suit:

$$S = \left(\frac{y_{x2\%} - y_{x1\%}}{t_{x2\%} - t_{x1\%}} \right).$$

- 2) Calculez les *instants de niveau de référence*, $t_{0\%}$ et $t_{100\%}$, qui seront utilisés pour la génération de $r(t)$ à l'étape (e).
- i) Il convient de choisir les *niveaux de référence* et les *instants de niveau de référence* de la *forme d'onde de référence* qui leur sont associés de sorte que la pente de la ligne reliant ces points soit quasi-identique aux valeurs de la *forme d'onde* correspondante.
- ii) Calculez l'*instant de niveau de référence* $t_{100\%}$ comme suit:

$$t_{100\%} = t_{x2\%} + \frac{\text{level}(s_2) - y_{x2\%}}{S}.$$

- iii) Calculez l'*instant de niveau de référence* $t_{0\%}$ comme suit:

$$t_{0\%} = t_{x1\%} + \frac{\text{level}(s_1) - y_{x1\%}}{S}.$$

- e) Générez la *forme d'onde de référence* trapézoïdale, $r(t)$, comme suit:

$$r(t_n) = \begin{cases} y_{0\%}, & \text{for } t_{0\%} \\ S(t_n - t_{0\%}) + y_{0\%}, & \text{for } t_{0\%} \leq t_n \leq t_{100\%} \\ y_{100\%}, & \text{for } t_n > t_{100\%} \end{cases}.$$

- f) Les *aberrations de forme d'onde* sont calculées comme déviation positive et négative maximale de la *forme d'onde* depuis la *forme d'onde de référence* et sont présentées sous la forme d'un pourcentage de l'*amplitude de forme d'onde*. Calculez l'*aberration de forme d'onde* comme suit:

$$W_a = \begin{cases} \left(\frac{\max\{y_n - r(t_n)\}_{T_{ab}}}{y_{100\%} - y_{0\%}} \right) 100\% \\ \left(\frac{\min\{y_n - r(t_n)\}_{T_{ab}}}{y_{100\%} - y_{0\%}} \right) 100\% \end{cases}, \quad (12)$$

où

W_a représente l'*aberration de forme d'onde*,

$\max\{\dots\}$ retourne la valeur maximale de son argument,

$\min\{\dots\}$ retourne la valeur minimale de son argument,