

**NORME  
INTERNATIONALE  
INTERNATIONAL  
STANDARD**

**CEI  
IEC**

**60469-2**

Deuxième édition  
Second edition  
1987-12

---

---

**Techniques des impulsions et appareils**

**Deuxième partie:  
Mesure et analyse des impulsions,  
considérations générales**

**Pulse techniques and apparatus**

**Part 2:  
Pulse measurement and analysis,  
general considerations**



Numéro de référence  
Reference number  
CEI/IEC 60469-2: 1987

## Numéros des publications

Depuis le 1er janvier 1997, les publications de la CEI sont numérotées à partir de 60000.

## Publications consolidées

Les versions consolidées de certaines publications de la CEI incorporant les amendements sont disponibles. Par exemple, les numéros d'édition 1.0, 1.1 et 1.2 indiquent respectivement la publication de base, la publication de base incorporant l'amendement 1, et la publication de base incorporant les amendements 1 et 2.

## Validité de la présente publication

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

Des renseignements relatifs à la date de reconfirmation de la publication sont disponibles dans le Catalogue de la CEI.

Les renseignements relatifs à des questions à l'étude et des travaux en cours entrepris par le comité technique qui a établi cette publication, ainsi que la liste des publications établies, se trouvent dans les documents ci-dessous:

- «Site web» de la CEI\*
- **Catalogue des publications de la CEI**  
Publié annuellement et mis à jour régulièrement (Catalogue en ligne)\*
- **Bulletin de la CEI**  
Disponible à la fois au «site web» de la CEI\* et comme périodique imprimé

## Terminologie, symboles graphiques et littéraux

En ce qui concerne la terminologie générale, le lecteur se reportera à la CEI 60050: *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI)*.

Pour les symboles graphiques, les symboles littéraux et les signes d'usage général approuvés par la CEI, le lecteur consultera la CEI 60027: *Symboles littéraux à utiliser en électrotechnique*, la CEI 60417: *Symboles graphiques utilisables sur le matériel. Index, relevé et compilation des feuilles individuelles*, et la CEI 60617: *Symboles graphiques pour schémas*.

\* Voir adresse «site web» sur la page de titre.

## Numbering

As from 1 January 1997 all IEC publications are issued with a designation in the 60000 series.

## Consolidated publications

Consolidated versions of some IEC publications including amendments are available. For example, edition numbers 1.0, 1.1 and 1.2 refer, respectively, to the base publication, the base publication incorporating amendment 1 and the base publication incorporating amendments 1 and 2.

## Validity of this publication

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

Information relating to the date of the reconfirmation of the publication is available in the IEC catalogue.

Information on the subjects under consideration and work in progress undertaken by the technical committee which has prepared this publication, as well as the list of publications issued, is to be found at the following IEC sources:

- **IEC web site\***
- **Catalogue of IEC publications**  
Published yearly with regular updates (On-line catalogue)\*
- **IEC Bulletin**  
Available both at the IEC web site\* and as a printed periodical

## Terminology, graphical and letter symbols

For general terminology, readers are referred to IEC 60050: *International Electrotechnical Vocabulary (IEV)*.

For graphical symbols, and letter symbols and signs approved by the IEC for general use, readers are referred to publications IEC 60027: *Letter symbols to be used in electrical technology*, IEC 60417: *Graphical symbols for use on equipment. Index, survey and compilation of the single sheets* and IEC 60617: *Graphical symbols for diagrams*.

\* See web site address on title page.

**NORME  
INTERNATIONALE  
INTERNATIONAL  
STANDARD**

**CEI  
IEC**

**60469-2**

Deuxième édition  
Second edition  
1987-12

---

---

**Techniques des impulsions et appareils**

**Deuxième partie:  
Mesure et analyse des impulsions,  
considérations générales**

**Pulse techniques and apparatus**

**Part 2:  
Pulse measurement and analysis,  
general considerations**

© IEC 1987 Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

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

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

International Electrotechnical Commission  
Telefax: +41 22 919 0300

3, rue de Varembé Geneva, Switzerland  
e-mail: [inmail@iec.ch](mailto:inmail@iec.ch) IEC web site <http://www.iec.ch>



Commission Electrotechnique Internationale  
International Electrotechnical Commission  
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX  
PRICE CODE

**P**

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

## SOMMAIRE

	Pages
PRÉAMBULE . . . . .	4
PRÉFACE . . . . .	4
Articles	
1. Généralités . . . . .	6
1.1 Domaine d'application . . . . .	6
1.2 Objet . . . . .	6
2. Définitions . . . . .	6
2.1 Termes relatifs aux mesures des impulsions . . . . .	6
2.2 Termes de statistique . . . . .	8
2.3 Formats de forme d'onde . . . . .	8
2.4 Expansion et contraction de l'époque d'une forme d'onde . . . . .	10
2.5 Forme d'onde d'impulsion de référence . . . . .	12
3. Mesure des caractéristiques d'une impulsion . . . . .	12
3.1 Distinction entre ondes et formes d'onde . . . . .	12
3.2 Description du procédé de mesure d'impulsion . . . . .	14
3.3 Conversion d'une impulsion en une forme d'onde d'impulsion . . . . .	14
4. Analyse de la forme d'onde d'impulsion . . . . .	16
4.1 Généralités sur l'analyse de la forme d'onde d'impulsion . . . . .	16
4.2 Détermination de l'époque de la forme d'onde . . . . .	18
4.3 Analyse de la forme d'onde d'une impulsion unique . . . . .	18
5. Analyse des formes d'onde de transition . . . . .	24
6. Analyse des formes d'onde complexes . . . . .	24
6.1 Analyse des combinaisons des impulsions et des transitions . . . . .	24
6.2 Analyse des formes d'onde obtenues par la superposition de niveaux . . . . .	24
6.3 Analyse des formes d'onde obtenues par des trains d'impulsions . . . . .	26
6.4 Analyse des formes d'onde obtenues par des rafales d'impulsions . . . . .	26
7. Analyse des relations de temps entre les différentes formes d'onde . . . . .	26
8. Analyse de la distorsion de la forme d'onde d'impulsion . . . . .	26
9. Analyse de la gigue et de la fluctuation . . . . .	26
9.1 Analyse de la gigue . . . . .	26
9.2 Analyse de la fluctuation . . . . .	28
FIGURES . . . . .	30

## CONTENTS

	Page
FOREWORD . . . . .	5
PREFACE . . . . .	5
Clause	
1. General . . . . .	7
1.1 Scope . . . . .	7
1.2 Object . . . . .	7
2. Definitions . . . . .	7
2.1 Pulse measurement terms . . . . .	7
2.2 Statistical terms . . . . .	9
2.3 Waveform formats . . . . .	9
2.4 Waveform epoch expansion and contraction . . . . .	11
2.5 Reference pulse waveforms . . . . .	13
3. Measurement of pulse characteristics . . . . .	13
3.1 The distinction between waves and waveforms . . . . .	13
3.2 Description of the pulse measurement process . . . . .	15
3.3 Pulse to pulse waveform conversion . . . . .	15
4. Pulse waveform analysis . . . . .	17
4.1 Generality of pulse waveform analysis . . . . .	17
4.2 Waveform epoch determination . . . . .	19
4.3 Analysis of the single-pulse waveform . . . . .	19
5. Analysis of transition waveforms . . . . .	25
6. Analysis of complex waveforms . . . . .	25
6.1 Analysis of combinations of pulses and transitions . . . . .	25
6.2 Analysis of waveforms produced by magnitude superposition . . . . .	25
6.3 Analysis of waveforms produced by pulse trains . . . . .	27
6.4 Analysis of waveforms produced by pulse bursts . . . . .	27
7. Analysis of time relationships between different waveforms . . . . .	27
8. Analysis of pulse waveform distortion . . . . .	27
9. Analysis of jitter and fluctuation . . . . .	27
9.1 Analysis of jitter . . . . .	27
9.2 Analysis of fluctuation . . . . .	29
FIGURES . . . . .	30

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**TECHNIQUES DES IMPULSIONS ET APPAREILS**

**Deuxième partie: Mesure et analyse des impulsions, considérations générales**

PRÉAMBULE

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

PRÉFACE

La présente norme a été établie par le Sous-Comité 66A: Générateurs, du Comité d'Etudes n° 66 de la CEI: Equipement de mesure pour les techniques électroniques.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

Règle des Six Mois	Rapport de vote
66A(BC)37	66A(BC)39

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

*La publication suivante de la CEI est citée dans la présente norme:*

Publication n° 469-1 (1987): Technique des impulsions et appareils, Première partie: Termes et définitions concernant les impulsions.

*Autre publication citée:*

Norme ISO 3534 (1977): Statistique – Vocabulaire et symboles.

## INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**PULSE TECHNIQUES AND APPARATUS****Part 2: Pulse measurement and analysis, general considerations**

## FOREWORD

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

## PREFACE

This standard has been prepared by Sub-Committee 66A: Generators, of IEC Technical Committee No. 66: Measuring Equipment for Electronic Techniques.

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

Six Months' Rule	Report on Voting
66A(CO)37	66A(CO)39

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

*The following IEC publication is quoted in this standard:*

Publication No. 469-1 (1987): Pulse Techniques and Apparatus, Part 1: Pulse Terms and Definitions.

*Other publication quoted:*

ISO Standard 3534 (1977): Statistics – Vocabulary and Symbols.

## TECHNIQUES DES IMPULSIONS ET APPAREILS

### Deuxième partie: Mesure et analyse des impulsions, considérations générales

#### 1. Généralités

##### 1.1 *Domaine d'application*

La présente norme définit et décrit les techniques et les procédures pour les mesures des impulsions dans le temps. Les définitions et les descriptions données sont indépendantes des dispositifs, appareils, instruments spécifiques ou des dispositifs de calcul qui peuvent être utilisés pour les mesures des impulsions et sont nécessaires pour:

- la communication efficace des résultats des mesures des impulsions,
- les normes relatives aux appareils générateurs d'impulsions, et
- les normes relatives aux appareils qui utilisent les techniques d'impulsions.

##### 1.2 *Objet*

Dans le cadre de son domaine d'application, l'objet de la présente norme est la définition des termes et la description des techniques et des procédures qui sont applicables:

- à la détermination des caractéristiques des impulsions réelles et théoriques,
- indépendamment des limites d'erreur applicables, et
- à un large domaine de technologies et de disciplines.

#### 2. Définitions

Pour les définitions des termes généraux sur les impulsions utilisés dans la présente norme, il convient de se reporter à la Publication 469-1 de la CEI.

Lorsqu'il en est besoin, les références aux articles de la Publication 469-1 de la CEI sont indiquées dans la présente norme.

##### 2.1 *Termes relatifs aux mesures des impulsions*

Les termes relatifs aux mesures des impulsions définis dans ce paragraphe sont applicables aux mesures en général et ne sont pas définis pour établir la distinction entre mesures d'impulsion et mesures en général.

Les définitions suivantes doivent s'appliquer dans le cadre de la présente norme:

##### 2.1.1 *Mesure d'impulsion*

Attribution d'une quantité et d'une unité de mesure à une caractéristique, une propriété ou une qualité relatives à une impulsion où la quantité et l'unité attribuées indiquent la valeur de la caractéristique associée à l'impulsion. Par principe, cette attribution est effectuée en comparant une représentation de l'impulsion (sa forme d'onde) à une échelle ou une référence qui est calibrée suivant l'unité de mesure.

##### 2.1.2 *Méthode de mesure d'impulsion*

Toute méthode pour effectuer la *mesure d'une impulsion*\* comprend:

- la spécification complète des caractéristiques fonctionnelles des dispositifs, appareils, instruments et équipements auxiliaires à utiliser;

\* Les termes en italique sont définis dans la présente norme.



## PULSE TECHNIQUES AND APPARATUS

### Part 2: Pulse measurement and analysis, general considerations

---

#### 1. General

##### 1.1 Scope

This standard provides definitions and descriptions of the techniques and procedures for time domain pulse measurements. The definitions and descriptions provided are independent of specific devices, apparatus, instruments or computing devices which may be used in pulse measurements and are necessary for:

- efficient communication of the results of pulse measurements,
- standards for pulse apparatus, and
- standards for apparatus which employs pulse techniques.

##### 1.2 Object

Within its scope, the object of this standard is the definition of terms and the description of techniques and procedures which are applicable:

- to the determination of the characteristics of practical and hypothetical pulses,
- regardless of the applicable limits of error, and
- to a wide range of technologies and disciplines.

#### 2. Definitions

For the definitions of general pulse terms used in this standard reference should be made to IEC Publication 469-1.

When necessary, the references to clauses of IEC Publication 469-1 are given in this standard.

##### 2.1 Pulse measurement terms

The pulse measurement terms defined in this sub-clause are applicable to measurement in general and are not defined in order to draw a distinction between pulse measurement and measurement in general.

For the purpose of this standard, the following definitions shall apply:

##### 2.1.1 Pulse measurement

The assignment of a number and a unit of measurement to a characteristic, property or attribute of a pulse wherein the number and unit assigned indicate the magnitude of the characteristic which is associated with the pulse. Typically, this assignment is accomplished by comparison of a transform of the pulse (its pulse waveform) with a scale or reference which is calibrated in the unit of measurement.

##### 2.1.2 Method of pulse measurement

A method of making a *pulse measurement*\* comprises:

- the complete specification of the functional characteristics of the devices, apparatus, instruments and auxiliary equipment to be used;

---

\* Terms in italic type are defined in this standard.

- les réglages essentiels requis ;
- la procédure à utiliser pour effectuer les réglages essentiels ;
- les opérations à effectuer ainsi que leur ordre ;
- les corrections qu'il est habituellement nécessaire de faire ;
- les procédures pour effectuer ces corrections ;
- les conditions dans lesquelles toutes les opérations doivent être effectuées.

### 2.1.3 *Procédé de mesure d'impulsion*

Réalisation d'une *méthode de mesure d'impulsion* au moyen de dispositifs spécifiques, d'appareils, d'instruments, d'équipements auxiliaires, de conditions, d'opérateurs et d'observateurs.

### 2.1.4 *Etat de contrôle statistique*

Dans un *procédé de mesure d'impulsion*, état pour lequel un certain degré de stabilité dans les mesures répétées d'une caractéristique, d'une propriété ou d'une qualité est atteint.

### 2.1.5 *Erreur*

Différence entre le résultat d'un *procédé de mesure d'impulsion* et la valeur vraie de la caractéristique, la propriété ou la qualité mesurée.

### 2.1.6 *Dispersion*

Degré de non-concordance mutuelle entre les résultats de mesures d'une caractéristique, d'une propriété ou d'une qualité d'une impulsion indépendantes, à la suite des applications répétées d'un *procédé de mesure d'impulsion*.

### 2.1.7 *Résolution*

Le plus petit changement dans la caractéristique, la propriété ou la qualité de l'impulsion mesurée qui peut être discerné ou détecté sans équivoque dans un *procédé de mesure d'impulsion*.

## 2.2 *Termes de statistique*

Les termes de statistique sont donnés dans la Norme ISO 3534.

## 2.3 *Formats de forme d'onde*

Les formes d'onde peuvent être observées, enregistrées ou mises en mémoire sous diverses sortes de formats. Dans la présente norme, il est admis que :

- les formats des formes d'onde sont donnés en représentation cartésienne ou suivant une transformation qui en découle,
- la conversion d'un format de forme d'onde en un autre quelconque est possible et
- de telles conversions peuvent être effectuées avec des limites d'erreur de *dispersion* et de *résolution*\* qui sont en rapport avec les limites d'erreur requises dans le *procédé de mesure d'impulsion*.

\* Dans la suite de la présente norme, l'expression «limites d'erreur» est utilisée à la place de l'expression «limites d'erreur de dispersion et de résolution».

- the essential adjustments required;
- the procedures to be used in making essential adjustments;
- the operations to be performed and their sequence;
- the corrections that will ordinarily need to be made;
- the procedures for making such corrections;
- the conditions under which all operations are to be carried out.

### 2.1.3 *Pulse measurement process*

A realization of a *method of pulse measurement* in terms of specific devices, apparatus, instruments, auxiliary equipment, conditions, operators and observers.

### 2.1.4 *State of statistical control*

In a *pulse measurement process*, that state wherein a degree of consistency among repeated measurements of a characteristic, property or attribute is attained.

### 2.1.5 *Error*

The difference between the result of the application of a *pulse measurement process* and the true value of the characteristic, property or attribute being measured.

### 2.1.6 *Dispersion*

The degree of mutual disagreement among the results of independent measurements of a pulse characteristic, property or attribute yielded by repeated applications of a *pulse measurement process*.

### 2.1.7 *Resolution*

The smallest change in the pulse characteristic, property or attribute being measured which can unambiguously be discerned or detected in a *pulse measurement process*.

## 2.2 *Statistical terms*

Statistical terms are given in ISO Standard 3534.

## 2.3 *Waveform formats*

Waveforms may exist, be recorded or be stored in a variety of formats. Throughout this standard, it is assumed that:

- waveform formats are in terms of Cartesian co-ordinates or some transform thereof,
- conversion from one waveform format to any other is possible, and
- such waveform format conversions can be made with limits of *error*, *dispersion* and *resolution*\* which are consistent with the limits of error desired in the *pulse measurement process*.

\* Throughout the remainder of this standard, the term “limits of error” will be used in place of the phrase “limits of error, dispersion and resolution”.

### 2.3.1 *Format en image*

Graphique, relevé ou image où une forme d'onde est représentée pour être observée et/ou analysée. Tout *format de forme d'onde* défini dans les paragraphes suivants peut être représenté par un format en image.

### 2.3.2 *Format en équation*

Une ou plusieurs équations algébriques qui définissent une forme d'onde parmi lesquelles une première équation définit la forme d'onde de  $t_0$  à  $t_1$ , une seconde équation de  $t_1$  à  $t_2$ , etc. Le format en équation est spécialement utilisé pour définir les formes d'onde théoriques, idéales ou de référence.

### 2.3.3 *Format à échantillonnage*

Forme d'onde constituée par une série de valeurs d'échantillons prélevés de façon séquentielle ou non séquentielle en fonction du temps. On suppose que les échantillons non séquentiels peuvent être remis en ordre dans la séquence de temps pour donner les formats à échantillonnage suivants :

#### 2.3.3.1 *Format à échantillonnage périodique en temps réel*

Séquence finie de valeurs  $m_0, m_1, m_2, \dots, m_n$ , dont chacune représente respectivement la valeur de l'onde aux temps  $t_0, t_0 + \Delta t, t_0 + 2\Delta t, \dots, t_0 + n\Delta t$  et dont l'information peut être donnée par un format en image ou par une liste de nombres.

#### 2.3.3.2 *Format à échantillonnage périodique en temps équivalent*

Format identique au *format à échantillonnage périodique en temps réel*, sauf que la coordonnée du temps est équivalente à un temps réel et convertible en temps réel. Par principe, chaque point représentatif est dérivé d'une mesure différente sur une onde différente dans une séquence d'ondes.

#### 2.3.3.3 *Format à échantillonnage apériodique en temps réel*

Format identique au *format à échantillonnage périodique en temps réel*, sauf que l'échantillonnage du temps réel n'est pas périodique, et dont les données sont représentées par des paires coordonnées,  $t_1, m_1; t_2, m_2; \dots; t_n, m_n$ .

#### 2.3.3.4 *Format à échantillonnage apériodique en temps équivalent*

Format identique au *format à échantillonnage apériodique en temps réel*, sauf que la coordonnée du temps est équivalente à un temps réel et convertible en temps réel. Par principe, chaque point représentatif est dérivé d'une mesure différente sur une onde différente dans une séquence d'ondes.

## 2.4 *Expansion et contraction de l'époque d'une forme d'onde*

### 2.4.1 *Expansion de l'époque d'une forme d'onde*

Technique de détermination des caractéristiques d'une forme d'onde de transition (ou forme d'onde d'impulsion) dans laquelle l'époque de la forme d'onde de transition (ou époque d'une forme d'onde d'impulsion) est étendue sur l'axe des temps pour obtenir une époque de forme d'onde d'impulsion (ou époque de forme d'onde) afin de déterminer les droites de référence de niveau et/ou de temps. Les droites de référence déterminées par analyse de la forme d'onde d'impulsion (ou forme d'onde) sont reportées à la forme d'onde de transition (ou forme d'onde d'impulsion) pour la détermination des caractéristiques (voir figure 1, page 30).

### 2.3.1 Pictorial format

A graph, plot or display in which a waveform is presented for observation and/or analysis. Any of the *waveform formats* defined in the following sub-clauses may be presented in the pictorial format.

### 2.3.2 Equational format

One or more algebraic equations which specify a waveform wherein, typically, a first equation specifies the waveform from  $t_0$  to  $t_1$ , a second equation specifies the waveform from  $t_1$  to  $t_2$ , etc. The equational format is typically used to specify hypothetical, ideal or reference waveforms.

### 2.3.3 Sampled format

A waveform which is a series of sample magnitudes taken sequentially or non-sequentially as a function of time. It is assumed that non-sequential samples may be rearranged in time sequence to yield the following sampled formats:

#### 2.3.3.1 Periodically sampled real time format

A finite sequence of magnitudes  $m_0, m_1, m_2, \dots, m_n$  each of which represents the magnitude of the wave at times  $t_0, t_0 + \Delta t, t_0 + 2\Delta t, \dots, t_0 + n\Delta t$ , respectively, wherein the data may exist in a pictorial format or as a list of numbers.

#### 2.3.3.2 Periodically sampled equivalent time format

A format which is identical to the *periodically sampled real time format*, except that the time co-ordinate is equivalent to and convertible to real time. Typically, each datum point is derived from a different measurement on a different wave in a sequence of waves.

#### 2.3.3.3 Aperiodically sampled real time format

A format which is identical to the *periodically sampled real time format*, except that the sampling in real time is not periodic and wherein the data exist as co-ordinate point pairs,  $t_1, m_1; t_2, m_2; \dots, t_n, m_n$ .

#### 2.3.3.4 Aperiodically sampled equivalent time format

A format which is identical to the *aperiodically sampled real time format*, except that the time co-ordinate is equivalent to and convertible to real time. Typically, each datum point is derived from a different measurement on a different wave in a sequence of waves.

## 2.4 Waveform epoch expansion and contraction

### 2.4.1 Waveform epoch expansion

A technique for the determination of the characteristics of a transition waveform (or pulse waveform) wherein the transition waveform epoch (or pulse waveform epoch) is expanded in time to a pulse waveform epoch (or waveform epoch) for the determination of magnitude and/or time reference lines. The reference lines determined by analysis of the pulse waveform (or waveform) are transferred to the transition waveform (or pulse waveform) for the determination of characteristics (see Figure 1, page 30).

Dans n'importe quel procédé d'expansion de l'époque d'une forme d'onde, deux ou plusieurs ensembles de droites de référence peuvent exister; l'ensemble utilisé, quel que soit le *procédé de mesure d'impulsion* utilisé, doit être spécifié.

#### 2.4.2 Contraction de l'époque d'une forme d'onde

Technique de détermination des caractéristiques des formes d'onde d'impulsion particulières (ou éléments d'une forme d'onde d'impulsion) dans lesquelles l'époque d'une forme d'onde (ou époque d'une forme d'onde d'impulsion) est rétrécie sur l'axe des temps pour obtenir une époque de forme d'onde d'impulsion (ou époque de forme d'onde de transition) afin de déterminer des caractéristiques de temps et/ou de niveau (voir figure 1).

Dans n'importe quel procédé de contraction de l'époque d'une forme d'onde, deux ou plusieurs ensembles de droites de référence de niveau et/ou de temps peuvent exister; l'ensemble utilisé, quel que soit le *procédé de mesure d'impulsion* utilisé, doit être spécifié.

#### 2.5 Formes d'onde d'impulsion de référence

Une forme d'onde d'impulsion de référence (voir Publication 469-1 de la CEI, paragraphes 2.4.1.3 et 2.8.1) peut être spécifiée par n'importe lequel des *formats de formes d'ondes* définis au paragraphe 2.3. Les caractéristiques des dispositifs, techniques d'appareillage, ou algorithmes utilisés pour produire ou dériver des formes d'onde d'impulsion de référence, devront être spécifiées.

##### 2.5.1 Forme d'onde d'impulsion de référence définie

*Forme d'onde d'impulsion de référence* qui est définie sans référence à aucune forme d'onde d'impulsion pratique ou dérivée. Une forme d'onde d'impulsion de référence définie est typiquement une forme d'onde d'impulsion idéale.

##### 2.5.2 Forme d'onde d'impulsion de référence dérivée

*Forme d'onde d'impulsion de référence dérivée*, au moyen d'une procédure ou d'un algorithme spécifié, d'une forme d'onde d'impulsion qui est analysée dans un *procédé de mesure d'impulsion* (voir figure 2, page 31 qui donne un exemple d'une forme d'onde d'impulsion de référence dérivée avec son algorithme).

##### 2.5.3 Forme d'onde d'impulsion de référence pratique

*Forme d'onde d'impulsion de référence dérivée* d'une impulsion fournie par un dispositif ou un appareil.

### 3. Mesure des caractéristiques d'une impulsion

#### 3.1 Distinction entre ondes et formes d'onde

La distinction entre, d'une part, les ondes, les impulsions et les transitions et d'autre part leurs formes d'ondes respectives est claire: les premières sont des modifications de l'état physique d'un milieu ou de phénomènes, alors que les dernières sont des manifestations, des représentations ou des visualisations de ces phénomènes (voir Publication 469-1 de la CEI, paragraphes 2.2 et 2.3.1).

*Note.* – Dans la suite de la présente norme, les termes «impulsion» et «forme d'onde d'impulsion» sont utilisés avec le sens global suivant:

- a) «impulsion» et «forme d'onde d'impulsion» comprennent respectivement la «transition» et la «forme d'onde de transition» et
- b) dans la mesure où cela est applicable, «impulsion» et «forme d'onde d'impulsion» incluent «onde» et «forme d'onde» respectivement.



In any waveform epoch expansion procedure, two or more sets of reference lines may exist, and the set of reference lines being used in any *pulse measurement process* shall be specified.

#### 2.4.2 *Waveform epoch contraction*

A technique for the determination of the characteristics of individual pulse waveforms (or pulse waveform features) wherein the waveform epoch (or pulse waveform epoch) is contracted in time to a pulse waveform epoch (or transition waveform epoch) for the determination of time and/or magnitude characteristics (see Figure 1).

In any waveform epoch contraction procedure, two or more sets of time and/or magnitude reference lines may exist and the set of reference lines being used in any *pulse measurement process* shall be specified.

#### 2.5 *Reference pulse waveforms*

A reference pulse waveform (see IEC Publication 469-1, Sub-clauses 2.4.1.3 and 2.8.1) may be specified by any of the *waveform formats* defined in Sub-clause 2.3. The characteristics of the devices, apparatus techniques, or algorithms used in producing or deriving a reference pulse waveform shall be specified.

##### 2.5.1 *Defined reference pulse waveform*

A *reference pulse waveform* which is defined without reference to any practical or derived pulse waveform. Typically, a defined reference pulse waveform is an ideal pulse waveform.

##### 2.5.2 *Derived reference pulse waveform*

A *reference pulse waveform* which is derived by a specified procedure or algorithm from the pulse waveform which is being analysed in a *pulse measurement process* (see Figure 2, page 31 for an example of a derived reference pulse waveform and its algorithm).

##### 2.5.3 *Practical reference pulse waveform*

A *reference pulse waveform* which is derived from a pulse which is produced by a device or apparatus.

### 3. **Measurement of pulse characteristics**

#### 3.1 *The distinction between waves and waveforms*

The distinction between waves, pulses and transitions and their respective waveforms is clearly drawn: the former are modifications of the physical state of a medium, or phenomena, while the latter are manifestations, representations, or visualizations of these phenomena (see IEC Publication 469-1, Sub-clauses 2.2 and 2.3.1).

*Note.* – Throughout the remainder of this standard, the terms “pulse” and “pulse waveform” are used in the following inclusive sense:

- a) “pulse” and “pulse waveform” include “transition” and “transition waveform”, respectively, and
- b) in so far as is applicable, “pulse” and “pulse waveform” include “wave” and “waveform”, respectively.

### 3.2 Description du procédé de mesure d'impulsion

L'objet de tout *procédé de mesure d'impulsion* est la détermination, entre certaines limites d'erreur exprimées ou implicites, de la valeur d'une caractéristique, d'une propriété ou d'une qualité d'impulsion. La figure 3, page 31 indique l'échelonnement des stades de tout *procédé de mesure d'impulsion* où, comme on l'indique, le procédé comprend deux sous-procédés successifs distincts:

- a) conversion d'une impulsion en forme d'onde d'impulsion, et
- b) analyse de la forme d'onde d'impulsion.

Ainsi le *procédé de mesure d'impulsion* comprend:

- la conversion d'une impulsion en sa transformée, sa forme d'onde d'impulsion;
- analyse de la forme d'onde d'impulsion pour déterminer la valeur d'une caractéristique de la forme d'onde d'impulsion;
- l'affirmation ou la présomption que la valeur de la caractéristique de la forme d'onde d'impulsion ainsi déterminée est, entre certaines limites d'erreur, identique à la valeur de la caractéristique de l'impulsion.

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

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'une impulsion en une forme d'onde d'impulsion, rejette l'étude de l'instrumentation spécifique hors du domaine d'application de la présente norme. Une telle étude est du ressort d'autres normes, recommandations, documents ou spécifications qui décrivent ou définissent les caractéristiques ou les méthodes concernant les dispositifs, appareils, instruments ou techniques spécifiques.

Un état de contrôle statistique doit être réalisé avant qu'un *procédé de mesure d'impulsion* puisse être considéré comme étant la réalisation d'une *méthode de mesure d'impulsion*.

### 3.3 Conversion d'une impulsion en une forme d'onde d'impulsion

Le point a) de la figure 3 indique les cinq opérations fondamentales – prélèvement, transmission, conversion, correction et mise en mémoire – qui, dans un certain sens, sont toujours présentes dans une conversion d'une impulsion en une forme d'onde d'impulsion. L'ordre dans lequel ces opérations fondamentales s'effectuent n'est pas nécessairement celui indiqué sur la figure et, fréquemment, la même opération est effectuée plus d'une fois.

Trois de ces opérations fondamentales, prélèvement, transmission et conversion, supposent des appareils ou des dispositifs dont les fonctions de transfert doivent être connues avec des limites d'erreur en rapport avec les limites d'erreur globale requises dans le *procédé de mesure d'impulsion*. La détermination des fonctions de transfert est indiquée à la figure 3 par les lignes en pointillé les reliant aux opérations auxiliaires. Dans ces opérations auxiliaires, qui peuvent être d'autres *procédés de mesure d'impulsion*, les fonctions de transfert des appareils sont:

- a) ajustées à des valeurs prédéterminées, l'appareil étant alors calibré, ou
- b) déterminées et retenues pour être utilisées ultérieurement dans l'opération de correction.

Le point a) de la figure 3 montre aussi que la détermination ou l'ajustement des fonctions de transfert exigent la comparaison, directement ou indirectement, avec des étalons primaires ou secondaires de temps ou de niveaux.

Les paragraphes suivants décrivent chacune des cinq opérations que l'on rencontre dans la conversion d'une impulsion en forme d'onde d'impulsion.



### 3.2 Description of the pulse measurement process

The object of any *pulse measurement process* is the determination, within some limits of error, either expressed or implied, of the magnitude of a characteristic, property or attribute of a pulse. Figure 3, page 31, shows the constituent steps of any *pulse measurement process* where, as indicated, the process involves two distinct sequential sub-processes:

- a) pulse to pulse waveform conversion, and
- b) pulse waveform analysis.

Thus, the *pulse measurement process* involves:

- the conversion of a pulse into its transform, its pulse waveform,
- analysis of the pulse waveform to determine the magnitude of a pulse waveform characteristic,
- the assertion or assumption, that the magnitude of the pulse waveform characteristic thus determined is, within some limits of *error*, identical to the magnitude of the pulse characteristic.

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 pulse to pulse waveform conversion renders the discussion of specific implementations beyond the scope of this standard. Such discussion is deferred to other standards, recommendations, documents or specifications which describe or define the characteristics or methods concerned with specific devices, apparatus, instruments or techniques.

A state of statistical control shall be achieved before a *pulse measurement process* can be considered to be a realization of a *method of pulse measurement*.

### 3.3 Pulse to pulse waveform conversion

Item a) of Figure 3 shows the five basic operations – transduction, transmission, conversion, correction and storage – which, in some sense, are always present in pulse to pulse waveform conversion. The order in which these basic operations occur is not necessarily that shown in the figure and, frequently, an operation occurs more than once.

Three of the basic operations, transduction, transmission and conversion, involve apparatus or devices whose transfer functions must be known to limits of *error* consistent with the overall limits of *error* desired in the *pulse measurement process*. The determination of transfer functions is indicated in item a) of Figure 3 by the broken lines leading to auxiliary operations. In these auxiliary operations, which may be other *pulse measurement processes*, the transfer functions of the apparatus are:

- a) adjusted to predetermined values, that is, the apparatus is calibrated, or
- b) determined and retained for subsequent use in the correction operation.

Item a) of figure 3 also shows that the determination or adjustment of transfer functions entails comparison, either directly or indirectly, with basic or derived time and magnitude standards.

The following sub-clauses describe each of the five operations which are present in pulse to pulse waveform conversion.

### 3.3.1 *Prélèvement*

Les impulsions se propagent de nombreuses façons dans les gaz, les liquides, les solides, dans le vide et dans les réseaux constitués par de tels milieux. Dans le prélèvement, un dispositif ou un appareil extrait de l'énergie du milieu dans lequel l'impulsion se propage et convertit cette énergie en une forme appropriée à la transmission.

### 3.3.2 *Transmission*

La transmission peut s'effectuer suivant des propagations de signaux qui utilisent des rayonnements, des phénomènes électriques, hydrauliques, pneumatiques ou mécaniques ou des techniques de conversion analogique/numérique ou vice versa.

### 3.3.3 *Conversion*

Par principe, l'opération de conversion comprend un appareil qui effectue la corrélation de son signal d'entrée avec une base en temps réel ou en temps équivalent.

Un tel appareil peut fournir une représentation de la corrélation du signal d'entrée avec la base de temps et, fréquemment, de telles représentations se comportent comme une opération de mise en mémoire (voir paragraphe 3.3.5). L'opération de conversion n'a pas nécessairement pour but la représentation.

### 3.3.4 *Correction*

L'opération de correction combine les résultats de l'opération de conversion avec l'information de la fonction de transfert pour obtenir une forme d'onde d'impulsion qui soit une transformation plus précise de l'impulsion. La correction peut être effectuée *a)* mentalement par un opérateur, *b)* par un procédé de calcul, ou *c)* par un dispositif ou un appareil compensateur. La correction peut être effectuée avec les limites d'erreur en rapport avec les limites d'erreur globales requises dans le *procédé de mesure d'impulsion*.

### 3.3.5 *Mise en mémoire*

La mise en mémoire est une opération intermédiaire entre la conversion d'une impulsion en une forme d'onde d'impulsion et l'analyse d'une forme d'onde d'impulsion. La mise en mémoire peut être effectuée de nombreuses manières et la représentation n'est pas exigée, mais les données mises en mémoire doivent être disponibles ou récupérables pour l'analyse de la forme d'onde d'impulsion. Par principe, la mise en mémoire est effectuée en un des *formats de forme d'onde* définis au paragraphe 2.3.

## 4. **Analyse de la forme d'onde d'impulsion**

### 4.1 *Généralités sur l'analyse de la forme d'onde d'impulsion*

L'utilité de l'analyse de la forme d'onde d'impulsion est grande puisque, lorsque l'analyse est combinée avec l'*expansion* et la *contraction* de l'*époque de la forme d'onde* ou appliquée aux formes d'ondes résultant d'opérations sur les formes d'ondes d'impulsion (voir publication 469-1 de la CEI, paragraphe 5.5.1), ses principes et ses techniques s'appliquent à :

- a)* l'analyse de la forme d'onde de transition,
- b)* l'analyse des formes d'onde complexes,
- c)* l'analyse des formes d'ondes des impulsions qui constituent un train ou une rafale d'impulsions, et
- d)* l'analyse des enveloppes des sommets et des bases d'une rafale d'impulsions,

### 3.3.1 Transduction

Pulses propagate in numerous modes in gases, liquids, solids, in vacuum and in networks made up of such media. In transduction, a device or apparatus abstracts energy from the medium in which the pulse propagates and converts the energy to a form suitable for transmission.

### 3.3.2 Transmission

Transmission may occur over signal paths which utilize radiative, electrical, hydraulic, pneumatic or mechanical phenomena or analogue to digital or digital to analogue conversion techniques.

### 3.3.3 Conversion

Typically, the conversion operation involves an instrument which relates its input signal to real or equivalent time.

Such an instrument may provide a display of the relationship of the input signal to time. Such displays frequently function as the storage operation (see Sub-clause 3.3.5). Display is not necessarily an attribute of the conversion operation.

### 3.3.4 Correction

The correction operation combines the results of the conversion operation with the transfer function information to yield a pulse waveform which is a more accurate transform of the pulse. Correction may be effected by *a)* a mental process by an operator, *b)* a computational process or *c)* a compensating device or apparatus. Correction shall be performed with limits of error which are consistent with the overall limits of error desired in the *pulse measurement process*.

### 3.3.5 Storage

Storage is a transitional operation between pulse to pulse waveform conversion and pulse waveform analysis. Storage may be effected in numerous ways and display is not required, but the stored data must be available or retrievable for pulse waveform analysis. Typically, storage is effected in one of the *waveform formats* defined in Sub-clause 2.3.

## 4. Pulse waveform analysis

### 4.1 Generality of pulse waveform analysis

Pulse waveform analysis has broad utility since, when it is combined with *waveform epoch expansion* and *contraction* or applied to waveforms which are produced by operations on pulse waveforms (see Publication 469-1, Sub-clause 5.5.1), its principles and techniques apply to:

- a)* transition waveform analysis,
- b)* analysis of complex waveforms,
- c)* analysis of the constituent pulse waveforms of a pulse train or pulse burst, and
- d)* analysis of the top and base envelopes of a pulse burst,

et sont nécessaires à :

- i) l'analyse des relations de temps entre les différentes formes d'onde, et
- ii) l'analyse de la distorsion, de la gigue et de la fluctuation.

## 4.2 Détermination de l'époque de la forme d'onde

### 4.2.1 Sélection de l'époque de la forme d'onde d'impulsion

Une époque de la forme d'onde d'impulsion (voir Publication 469-1 de la CEI, paragraphe 2.3.2) est l'espace de temps pendant lequel les données de la forme d'onde sont ou peuvent être connues et toute analyse est basée sur les données comprises dans l'époque. Ces données peuvent être complétées par les lignes de référence qui sont déterminées par *l'expansion* ou la *contraction de l'époque de la forme d'onde*. Dans tout *procédé de mesure d'impulsion*, il faut disposer d'un nombre suffisant de données pour obtenir les niveaux de la base et du sommet (voir Publication 469-1 de la CEI, paragraphes 3.2.1 et 3.2.2) qui sont en rapport avec les limites d'erreur requises dans le *procédé de mesure d'impulsion*.

### 4.2.2 Exclusion de données de l'analyse

Des données comprises dans l'époque de la forme d'onde d'impulsion peuvent, dans certaines conditions, être exclues de l'analyse, par exemple :

- le niveau de la base peut être déterminé uniquement à partir des données qui précèdent la première transition ;
- une forme d'onde d'impulsion peut comporter des éléments particuliers ou des événements qui ne sont pas appropriés à la situation ou à l'application de l'impulsion. Les données non appropriées peuvent être exclues de l'analyse. Cependant, de telles exclusions ne peuvent être effectuées que sur la base d'une information vérifiable ou d'une connaissance certaine.

Lorsqu'une donnée comprise dans l'époque de la forme d'onde d'impulsion est exclue de l'analyse, il faut spécifier :

- l'étendue en temps et/ou la plage des niveaux de la donnée exclue ;
- l'information vérifiable ou la connaissance certaine qui justifie l'exclusion ;
- si la donnée exclue est ignorée (c'est-à-dire si la forme d'onde analysée est discontinue) ou remplacée (c'est-à-dire si la donnée exclue est remplacée par une autre donnée supposée ou dérivée).

## 4.3 Analyse de la forme d'onde d'une impulsion unique

L'analyse de la forme d'onde d'une impulsion peut être effectuée :

- a) mentalement par un opérateur,
- b) par un procédé de calcul, ou
- c) par un appareil ou un instrument.

Dans tous les cas, la forme d'onde de l'impulsion est traitée par un ou des algorithmes d'analyse et les mêmes principes sont applicables indépendamment du *format de la forme d'onde* de l'impulsion ou du type de l'analyse. Il est supposé dans le présent paragraphe que l'analyse est effectuée au moyen d'un dispositif de calcul puisque cette méthode :

- a) est la plus générale,
- b) est potentiellement la plus précise et
- c) illustre pleinement les opérations qu'un opérateur ou un appareil doivent effectuer d'une certaine manière et avec une certaine limite d'erreur.

and are necessary for:

- i) analysis of the time relationships between different waveforms, and
- ii) analysis of distortion, jitter and fluctuation.

#### 4.2 *Waveform epoch determination*

##### 4.2.1 *Selection of the pulse waveform epoch*

A pulse waveform epoch (see IEC Publication 469-1, Sub-clause 2.3.2) is the span of time for which waveform data are known or knowable and any analysis is based on the data within the epoch. These data may be augmented by reference lines which are determined by *waveform epoch expansion* or *contraction*. In any *pulse measurement process*, sufficient data shall be present to yield base and top magnitudes (see IEC Publication 469-1, Sub-clauses 3.2.1 and 3.2.2) which are consistent with the limits of *error* desired in the *pulse measurement process*.

##### 4.2.2 *Exclusion of data from analysis*

Data in a pulse waveform epoch may be excluded from the analysis under certain conditions, for example:

- base magnitude may be determined solely from data which precede the first transition;
- a pulse waveform may include features or events which are non-pertinent in the circumstances of or to the application of the pulse. Non-pertinent data may be excluded from analysis. However, such exclusions may only be made on the basis of demonstrable information or knowledge.

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

- the extent, in time and/or magnitude, of the excluded data;
- the demonstrable information or knowledge which justifies the exclusion;
- whether the excluded data are ignored (that is, the waveform which is analysed is discontinuous) or replaced (that is, the excluded data are replaced with other assumed or derived data).

##### 4.3 *Analysis of the single-pulse waveform*

Pulse waveform analysis may be effected by:

- a) a mental process by an operator,
- b) a computational process, or
- c) an apparatus or instrument.

In all cases, the pulse waveform is operated upon by the analysing algorithm(s) and the same principles apply regardless of the *pulse waveform format* or the analysing agency. Throughout this sub-clause, it is assumed that the analysis is performed by a computing device since this method:

- a) is the most general,
- b) is potentially the most accurate, and
- c) fully illustrates the operations which an operator or apparatus shall, in some sense and to some limits of *error*, perform.



L'analyse de la forme d'onde d'une impulsion unique exige la détermination successive :

- du niveau de la base et de celui du sommet ;
- de l'amplitude de l'impulsion ;
- des points et des droites proximaux, médians et rémotaux ;
- des niveaux de toutes les autres caractéristiques de la forme d'onde de l'impulsion par le calcul des différences entre les paires de droites et/ou de points.

Par principe, chacune des déterminations citées ci-dessus est un préalable nécessaire à la détermination qui la suit. Par conséquent, seuls sont définis ci-dessous les algorithmes nécessaires à la détermination des niveaux de la base, du sommet et de l'amplitude de l'impulsion, car la détermination des autres caractéristiques de la forme d'onde de l'impulsion procède directement de ces déterminations (voir Publication 469-1 de la CEI, article 3).

#### 4.3.1 Algorithmes des niveaux de la base et du sommet

Les algorithmes pour la détermination des niveaux de la base et du sommet sont définis ensemble dans les paragraphes ci-dessous. Cependant, il n'est pas obligatoire d'utiliser le même algorithme pour les deux déterminations.

##### 4.3.1.1 Moyenne de la distribution de densité

Cet algorithme est basé sur la détermination des moyennes de la distribution de la densité de présentation de la forme d'onde d'impulsion. Une représentation graphique est effectuée de la manière suivante :

- 1) La forme d'onde de l'impulsion est reportée sur une grille, comme au point *a*) de la figure 4, page 32, dont les côtés de chacun des rectangles élémentaires qui la constituent ont pour dimension  $\Delta t$  et  $\Delta m$ .
- 2) Etablir l'histogramme de la répartition de densité de la présentation comme suit :
  - a*) Dans chaque bande élémentaire horizontale de hauteur  $\Delta m$ , compter le nombre de rectangles élémentaires traversés par la forme d'onde de l'impulsion.
  - b*) Sur la droite de niveau correspondant à la bande élémentaire horizontale, tracer l'élément d'histogramme dont la longueur est proportionnelle au comptage effectué au point *a*). Ce procédé donne l'histogramme bimodal tronqué du point *b*) de la figure 4 dans lequel  $P_B$ , histogramme de la base, et  $P_T$ , histogramme du sommet, sont identifiés.
- 3) Considérer les histogrammes  $P_B$  et  $P_T$  séparément et calculer les valeurs des niveaux (sur les droites de niveau) correspondant aux moyennes de  $P_B$  et de  $P_T$  et prendre les valeurs de ces moyennes respectivement comme niveaux de la base et niveau du sommet.

Cet algorithme est le mieux approprié à l'analyse des formes d'onde d'impulsion ayant des bases et des sommets de durée relativement significative lorsque de très petites limites d'erreur dans l'analyse sont requises.

Une solution graphique entraîne des résultats approximatifs, mais lorsque l'on prend  $\Delta t$  et  $\Delta m$  de plus en plus petits, le calcul numérique des valeurs moyennes  $P_B$  et  $P_T$  produit des mesures des niveaux de la base et du sommet de plus en plus fines.

##### 4.3.1.2 Mode de la distribution de densité

Le présent algorithme est basé sur la détermination des modes de distribution de densité de présentation d'une forme d'onde d'impulsion et est identique à l'algorithme décrit au paragraphe 4.3.1.1 ci-dessus, à l'exception du stade 3) qui devient :

- 3) Considérer les histogrammes  $P_B$  et  $P_T$  séparément et déterminer les niveaux (sur la droite de niveau) des modes de  $P_B$  et  $P_T$  et prendre les niveaux de ces modes respectivement comme niveau de la base et niveau du sommet.

The analysis of the single pulse waveform requires the sequential determination of the:

- base magnitude and top magnitude;
- pulse amplitude;
- proximal, mesial, and distal lines and points;
- magnitudes of all other pulse waveform characteristics expressed as computed differences between line and/or point pairs.

Typically, each of the above determinations is a necessity for the succeeding determination. Thus, algorithms for the determination of base magnitude, top magnitude and pulse amplitude only are described below since the determination of all other pulse waveform characteristics proceeds directly from these determinations (see IEC Publication 469-1, Clause 3).

#### 4.3.1 *Base and top magnitude algorithms*

In the following sub-clauses, algorithms for determining base magnitude and top magnitude are described together. There is, however, no requirement to use the same algorithm for both determinations.

##### 4.3.1.1 *Mean of the density distribution*

This algorithm is based on determinations of the means of the occurrence density distribution of a pulse waveform. A graphical description follows:

- 1) Assume that a pulse waveform, such as that shown in Item *a*) of Figure 4, page 32, has a superimposed rectangular grid in which each elementary rectangle has dimensions  $\Delta t$  and  $\Delta m$ .
- 2) Develop the occurrence density histogram as follows:
  - a*) For each horizontal element, of width  $\Delta m$ , count the number of elementary rectangles through which the pulse waveform passes.
  - b*) At the magnitude corresponding to the location of the horizontal element, draw a histogram element whose length is proportional to the count in Item *a*). This procedure yields the truncated bimodal histogram of Item *b*) of Figure 4, in which  $P_B$ , the base histogram, and  $P_T$ , the top histogram, are identified.
- 3) Consider the histograms  $P_B$  and  $P_T$  separately and calculate the magnitudes (on the magnitude axis) of the means of  $P_B$  and  $P_T$  and take the magnitudes of these means as the base line magnitude and the top line magnitude, respectively.

This algorithm is best suited to the analysis of pulse waveforms with bases and tops of significant relative duration when the smallest error in the analysis is desired.

A graphical solution yields crude results, but as  $\Delta t$  and  $\Delta m$  become smaller, numerical calculation of the magnitudes of the means of the  $P_B$  and  $P_T$  yields more refined measures of the base line magnitude and top line magnitude respectively.

##### 4.3.1.2 *Mode of the density distribution*

This algorithm is based on determinations of the modes of the occurrence density distribution of a pulse waveform and is identical to the algorithm described in Sub-clause 4.3.1.1 above, except for step 3) which is:

- 3) Consider the histograms  $P_B$  and  $P_T$  separately and determine the magnitudes (on the magnitude axis) of the modes of  $P_B$  and  $P_T$  and take the magnitudes of these modes as the base line magnitude and the top line magnitude, respectively.

Cet algorithme est le mieux approprié à l'analyse des formes d'onde d'impulsion ayant des bases et des sommets de durée relativement significative, lorsque des résultats compatibles avec l'observation visuelle et l'analyse effectuée mentalement par un opérateur sont désirés.

#### 4.3.1.3 Niveau de crête

Déterminer les niveaux de crête positive et négative de la forme d'onde de l'impulsion :

- prendre le niveau de crête positive comme niveau du sommet (de la base) d'une forme d'onde d'impulsion positive (négative);
- prendre le niveau de crête négative comme niveau de la base (du sommet) d'une forme d'onde d'impulsion positive (négative).

Cet algorithme est le mieux approprié à l'analyse des formes d'onde d'impulsion ayant une durée de base (de sommet) négligeable ou relativement courte.

#### 4.3.1.4 Premier (dernier) point de la base

Déterminer le niveau du premier (dernier) point de la base (voir Publication 469-1 de la CEI, paragraphe 3.3.5.2). Prendre le niveau du premier (dernier) point de la base comme niveau de la base.

#### 4.3.2 Algorithmes de l'amplitude de l'impulsion

##### 4.3.2.1 Détermination de l'amplitude de l'impulsion par la technique de l'intégration

L'amplitude de l'impulsion est la différence algébrique entre le niveau du sommet et le niveau de la base (voir Publication 469-1 de la CEI, paragraphe 3.2.3). Lorsque la valeur absolue du niveau de la base (du sommet) est soit négligeable pour l'analyse de la forme d'onde d'impulsion, soit connue par d'autres mesures, la détermination de l'amplitude de l'impulsion est suffisante.

La figure 5, page 32, illustre la détermination de l'amplitude de l'impulsion au moyen de la technique d'intégration dans laquelle la forme d'onde d'impulsion  $e_u(t)$ , dont l'amplitude de l'impulsion est inconnue, et une forme d'onde d'impulsion de référence pratique  $e_r(t)$  sont appliquées alternativement à un instrument qui :

- a une impédance d'entrée de  $R$  ohms,
- peut effectuer les intégrations définies par les équations (1) et (2) ci-dessous et
- indique quand les égalités spécifiées par les équations (1) et (2) sont satisfaites.

$$\int_{t_{u1}}^{t_{u2}} e_u(t) dt = \int_{t_{r1}}^{t_{r2}} e_r(t) dt \quad (1)$$

$$\frac{1}{R} \int_{t_{u1}}^{t_{u2}} [e_u(t)]^2 dt = \frac{1}{R} \int_{t_{r1}}^{t_{r2}} [e_r(t)]^2 dt \quad (2)$$

Lorsque ces égalités sont satisfaites, l'amplitude de l'impulsion de la forme d'onde d'impulsion inconnue  $e_u(t)$  est considérée comme étant égale à l'amplitude de l'impulsion de la forme d'onde d'impulsion de référence pratique  $e_r(t)$ . Il n'est pas nécessaire que les primitives de  $e_u(t)$  et  $e_r(t)$  soient déterminées entre des limites identiques; en fait, ainsi qu'il est indiqué pour  $e_u(t)$  à la figure 5, il est préférable que la plage d'intégration soit délimitée de telle sorte que les distorsions qui précèdent et qui suivent la ou les formes d'onde d'impulsion n'interviennent pas dans la ou les primitive(s).



This algorithm is best suited to the analysis of pulse waveforms with bases and tops of significant relative duration when results which are compatible with visual observation and mental analysis by an operator are desired.

#### 4.3.1.3 Peak magnitude

Determine the positive peak and negative peak magnitudes of the pulse waveform:

- a) take the positive peak magnitude as the top (base) magnitude of a positive (negative) pulse waveform;
- b) take the negative peak magnitude as the base (top) magnitude of a positive (negative) pulse waveform.

This algorithm is best suited to the analysis of pulse waveforms with bases (tops) of negligible or relatively short duration.

#### 4.3.1.4 First (last) base point

Determine the magnitude of the first (last) base point (see IEC Publication 469-1, Sub-clause 3.3.5.2). Take the magnitude of the first (last) base point as the base magnitude.

#### 4.3.2 Pulse amplitude algorithms

##### 4.3.2.1 Determination of pulse amplitude by the integral technique

Pulse amplitude is the algebraic difference between the top magnitude and the base magnitude (see IEC Publication 469-1, Sub-clause 3.2.3). Where the absolute magnitude of the base (or top) magnitude is either immaterial in a pulse waveform analysis or known from other measurements, the determination of pulse amplitude is sufficient.

Figure 5, page 32, illustrates the determination of pulse amplitude by the integral technique wherein the pulse waveform  $e_u(t)$ , whose pulse amplitude is unknown, and a *practical reference pulse waveform*  $e_r(t)$  are alternately delivered to an instrument:

- which has an input impedance of  $R$  ohms,
- which can perform the integrations shown in equations (1) and (2), below, and
- which indicates when the equalities specified in equations (1) and (2) are satisfied.

$$\int_{t_{u1}}^{t_{u2}} e_u(t) dt = \int_{t_{r1}}^{t_{r2}} e_r(t) dt \quad (1)$$

$$\frac{1}{R} \int_{t_{u1}}^{t_{u2}} [e_u(t)]^2 dt = \frac{1}{R} \int_{t_{r1}}^{t_{r2}} [e_r(t)]^2 dt \quad (2)$$

When the equalities are satisfied, the pulse amplitude of the unknown pulse waveform,  $e_u(t)$ , is taken as equal to the pulse amplitude of the *practical reference pulse waveform*,  $e_r(t)$ . It is not necessary to evaluate the integrals of  $e_u(t)$  and  $e_r(t)$  between identical limits; in fact, as is indicated for  $e_u(t)$  in Figure 5, it is preferable to adjust the extent of the integration(s) so that distortions which precede and follow the pulse waveform(s) do not contribute to the integral(s).

Cet algorithme est le mieux approprié au type d'analyse dans lequel une forme d'onde d'impulsion inconnue et une *forme d'onde d'impulsion de référence pratique*, dont les contours sont à peu près identiques, sont comparées entre elles.

Une *forme d'onde d'impulsion de référence* peut être spécifiée au moyen des *formats de forme d'onde* quelconques définis au paragraphe 2.3. Les caractéristiques des dispositifs, appareils, techniques ou algorithmes utilisés pour produire ou déduire une *forme d'onde d'impulsion de référence* doivent être spécifiées.

#### 4.3.3 Détermination des autres caractéristiques d'une impulsion

Lorsque *a)* les niveaux de la base et du sommet ou *b)* le niveau de la base et l'amplitude d'impulsion d'une forme d'onde d'impulsion ont été déterminés, la détermination de toutes les autres caractéristiques de l'impulsion découle directement des définitions existantes pour :

- a)* les droites et points proximaux, médians et rémotaux (voir Publication 469-1 de la CEI, paragraphes 3.2.5 et 3.2.6).
- b)* les niveaux de toutes les autres caractéristiques de la forme d'onde d'impulsion par le calcul des différences entre les paires de droite et/ou de points (voir Publication 469-1 de la CEI, paragraphe 3.3).

### 5. Analyse des formes d'onde de transition

L'analyse de la forme d'onde de transition est un cas particulier de l'analyse de la forme d'onde d'impulsion, dans lequel l'analyse est effectuée sur une forme d'onde de transition spécifiée d'une forme d'onde d'impulsion. *L'expansion de l'époque de la forme d'onde* peut être utilisée pour établir les droites de référence des temps et des niveaux nécessaires pour l'analyse de la forme d'onde de transition.

### 6. Analyse des formes d'onde complexes

Par principe, l'analyse des formes d'onde complexe comprend :

- la décomposition de la forme d'onde complexe en formes d'onde d'impulsion de composants élémentaires ou
- la conversion d'un grand nombre de composants en formes d'onde d'impulsion.

Pour toute analyse de formes d'onde complexes, l'algorithme ou la procédure utilisés dans la décomposition ou la conversion doivent être spécifiés.

#### 6.1 Analyse des combinaisons des impulsions et des transitions

Les formes d'onde d'impulsion double, d'impulsion bipolaire ou en escalier (voir Publication 469-1 de la CEI, paragraphe 5.1) peuvent être analysées en décomposant la forme d'onde en ses composantes, formes d'onde d'impulsion et formes d'onde de transition. Par principe, la décomposition est effectuée par subdivision de la forme d'onde à des points spécifiés référencés en temps.

#### 6.2 Analyse des formes d'onde obtenues par la superposition de niveaux

Les formes d'onde de polarisation ou les formes d'onde composites (voir Publication 469-1 de la CEI, paragraphe 5.2) peuvent être analysées en décomposant la forme d'onde en ses composantes: formes d'onde à composante constante, formes d'onde d'impulsion et formes d'onde de transition. Par principe, la décomposition est effectuée par le procédé inverse de celui de la superposition des niveaux.

This algorithm is best suited to analysis in which an unknown pulse waveform and a *practical reference pulse waveform* with very nearly identical pulse shapes are compared.

A *reference pulse waveform* may be specified by any of the *waveform formats* defined in Sub-clause 2.3. The characteristics of the devices, apparatus, techniques or algorithms used in producing or deriving a *reference pulse waveform* shall be specified.

#### 4.3.3 *Determination of the other pulse characteristics*

When a) the base magnitude and top magnitude or b) the base magnitude and pulse amplitude of a pulse waveform have been determined, the determination of all other pulse characteristics follows directly from existing definitions of:

- a) proximal, mesial, and distal lines and points (see IEC Publication 469-1, Sub-clauses 3.2.5 and 3.2.6).
- b) the magnitudes of all other pulse waveform characteristics as computed differences between line and/or point pairs (see IEC Publication 469-1, Sub-clause 3.3).

### 5. **Analysis of transition waveforms**

Transition waveform analysis is a special of pulse waveform analysis in which the analysis is made on a specified transition waveform of a pulse waveform. *Waveform epoch expansion* may be used to establish the time and magnitude reference lines required in a transition waveform analysis.

### 6. **Analysis of complex waveforms**

Typically, the analysis of complex waveforms involves:

- decomposition of the complex waveform into more elementary constituent pulse waveforms, or
- conversion of a multiplicity of constituent elements into pulse waveforms.

In any analysis of complex waveforms, the algorithms or procedures used in decomposition or conversion shall be specified.

#### 6.1 *Analysis of combinations of pulses and transitions*

Double pulse, bipolar pulse or staircase waveforms (see IEC Publication 469-1, Sub-clause 5.1) may be analysed by decomposing the waveform into constituent pulse and transition waveforms. Typically, the decomposition is effected by subdividing the waveform at specified time reference points.

#### 6.2 *Analysis of waveforms produced by magnitude superposition*

Offset or composite waveforms (see IEC Publication 469-1, Sub-clause 5.2) may be analysed by decomposing the waveform into its constituent constant, pulse waveforms and transition waveforms. Typically, the decomposition is effected by a process which is the inverse of magnitude superposition.

### 6.3 Analyse des formes d'onde obtenues par des trains d'impulsions

Les formes d'onde d'impulsions qui constituent un train d'impulsions (voir Publication 469-1 de la CEI, paragraphe 5.3.1) peuvent être analysées par décomposition. Par principe, la décomposition est effectuée par subdivision du train d'impulsions en époques de train d'impulsions (voir Publication 469-1 de la CEI, paragraphe 5.3.2.8), chacune d'elles comprenant une seule forme d'onde constituante d'impulsion.

### 6.4 Analyse des formes d'onde obtenues par des rafales d'impulsions

Les formes d'onde des impulsions qui constituent une rafale d'impulsions (voir Publication 469-1 de la CEI, paragraphe 5.4.1) peuvent être analysées de façon identique à celle décrite au paragraphe 6.3.

L'ensemble des caractéristiques d'une rafale d'impulsions peut être analysé en considérant les enveloppes des sommets et des bases (voir Publication 469-1 de la CEI, paragraphes 5.5.2 et 5.5.3) qui sont ensuite analysées comme des formes d'onde d'impulsions uniques.

## 7. Analyse des relations de temps entre les différentes formes d'onde

Les relations de temps entre les différentes formes d'onde peuvent être analysées en :

- appliquant les méthodes définies dans les articles 4, 5 et 6, par l'analyse des différentes formes d'onde et
- déterminant les relations de temps entre les différentes formes d'onde (voir Publication 469-1 de la CEI, article 6) en calculant les intervalles et les durées.

## 8. Analyse de la distorsion de la forme d'onde d'impulsion

L'analyse de la distorsion de la forme d'onde d'impulsion et de la distorsion d'un élément particulier d'une forme d'onde d'impulsion nécessitent la détermination des différences entre une forme d'onde d'impulsion et une *forme d'onde d'impulsion de référence* (voir Publication 469-1 de la CEI, paragraphe 7.1). Pour toute détermination de distorsion, le type de la *forme d'onde d'impulsion de référence*, qui peut être un des types quelconques définis au paragraphe 2.5, doit être spécifié.

Lorsque la *forme d'onde d'impulsion de référence* est une *forme d'onde d'impulsion de référence pratique* ou une *forme d'onde d'impulsion de référence définie*, elle doit être convenablement établie, en temps et en amplitude, en rapport avec la forme d'onde d'impulsion à analyser. Lorsque la *forme d'onde d'impulsion de référence* est une *forme d'onde d'impulsion de référence dérivée*, ses caractéristiques en rapport avec la forme d'onde à analyser sont fixées par définition et ne doivent pas être altérées.

## 9. Analyse de la gigue et de la fluctuation

La détermination de la gigue en l'absence de fluctuation sensible ou celle de la fluctuation en l'absence de la gigue sensible est, par principe, un procédé relativement simple. Cependant, lorsque la gigue et la fluctuation ne sont pas négligeables, ces irrégularités doivent être chacune déterminées à part. Dans ce cas, on détermine d'abord la fluctuation aux points de pente nulle de la forme d'onde et ensuite on corrige la gigue au moyen de la fluctuation connue.

### 9.1 Analyse de la gigue

L'analyse de la gigue comprend :

- la détermination répétée d'une caractéristique de temps des formes d'onde des impulsions constituant un train d'impulsions et