

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



High-current test techniques – Definitions and requirements for test currents and measuring systems

Techniques des essais à haute intensité – Définitions et exigences relatives aux courants d'essai et systèmes de mesure

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62475:2010



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2010 IEC, Geneva, Switzerland

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

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

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

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

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

About the IEC

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

About IEC publications

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

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

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 It also gives information on projects, withdrawn and replaced publications.

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

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

- Electropedia: www.electropedia.org

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

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

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

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

A propos de la CEI

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

A propos des publications CEI

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

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

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

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

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

- Electropedia: www.electropedia.org

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

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

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

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

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



High-current test techniques – Definitions and requirements for test currents and measuring systems

Techniques des essais à haute intensité – Définitions et exigences relatives aux courants d'essai et systèmes de mesure

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX

XE

ICS 19.080

ISBN 978-2-88912-184-7

CONTENTS

FOREWORD.....	8
1 Scope.....	10
2 Normative references	10
3 Terms and definitions	10
3.1 Measuring systems.....	11
3.2 Components of a measuring system	11
3.3 Scale factors	12
3.4 Rated values	13
3.5 Definitions related to the dynamic behaviour	13
3.6 Definitions related to uncertainty	14
3.7 Definitions related to tests on measuring systems	16
4 Procedures for qualification and use of a measuring system.....	17
4.1 General principles	17
4.2 Schedule of performance tests	17
4.3 Schedule of performance checks.....	17
4.4 Requirements for the record of performance.....	18
4.4.1 Contents of the record of performance.....	18
4.4.2 Exceptions.....	18
4.5 Operating conditions	18
4.6 Uncertainty.....	19
5 Tests and test requirements for an approved measuring system.....	20
5.1 General requirements.....	20
5.2 Calibration – Determination of the scale factor	20
5.2.1 Calibration of a measuring system by comparison with a reference measuring system (preferred method)	20
5.2.2 Determination of the scale factor of a measuring system from those of its components	24
5.3 Linearity test	25
5.3.1 Application	25
5.3.2 Alternative methods in order of suitability	26
5.4 Dynamic behaviour.....	26
5.5 Short-term stability	27
5.5.1 Method	27
5.5.2 Steady-state current	27
5.5.3 Impulse current and short-time current	28
5.5.4 Periodic impulse current and periodic short-time current.....	28
5.6 Long-term stability.....	29
5.7 Ambient temperature effect	29
5.8 Effect of nearby current paths	30
5.9 Software effect	32
5.10 Uncertainty calculation	32
5.10.1 General	32
5.10.2 Uncertainty of calibration.....	32
5.10.3 Uncertainty of measurement using an approved measuring system	33
5.11 Uncertainty calculation of time-parameter measurements (impulse currents only).....	34
5.11.1 General	34

5.11.2	Uncertainty of the time-parameter calibration.....	34
5.11.3	Uncertainty of a time-parameter measurement using an approved measuring system	35
5.12	Interference test	36
5.12.1	Application	36
5.12.2	Current-converting shunts and current transformers with iron	37
5.12.3	Inductive measuring systems without iron (Rogowski coils)	38
5.13	Withstand tests	38
5.13.1	Voltage withstand tests.....	38
5.13.2	Current withstand tests.....	39
6	Steady-state direct current	39
6.1	Application	39
6.2	Terms and definitions	39
6.3	Test current.....	39
6.3.1	Requirements	39
6.3.2	Tolerances	39
6.4	Measurement of the test current.....	40
6.4.1	Requirements for an approved measuring system.....	40
6.4.2	Uncertainty contributions	40
6.4.3	Dynamic behaviour	40
6.4.4	Calibrations and tests on an approved measuring system.....	40
6.4.5	Performance check.....	41
6.5	Measurement of ripple amplitude.....	41
6.5.1	Requirements for an approved measuring system.....	41
6.5.2	Uncertainty contributions	41
6.5.3	Dynamic behaviour for ripple	41
6.5.4	Calibrations and tests on an approved ripple-current measuring system.....	42
6.5.5	Measurement of the scale factor at the ripple frequency	42
6.5.6	Performance check for ripple current measuring system	42
6.6	Test procedures	43
7	Steady-state alternating current.....	43
7.1	Application	43
7.2	Terms and definitions	43
7.3	Test current.....	43
7.3.1	Requirements	43
7.3.2	Tolerances	44
7.4	Measurement of the test current.....	44
7.4.1	Requirements for an approved measuring system.....	44
7.4.2	Uncertainty contributions	44
7.4.3	Dynamic behaviour	44
7.4.4	Calibrations and tests on an approved measuring system.....	46
7.4.5	Performance check.....	47
7.5	Test procedures	47
8	Short-time direct current.....	47
8.1	Application	47
8.2	Terms and definitions	48
8.3	Test currents.....	49
8.3.1	Requirements for the test current	49

8.3.2	Tolerances	49
8.4	Measurement of the test current.....	49
8.4.1	Requirements for an approved measuring system.....	49
8.4.2	Uncertainty contributions	49
8.4.3	Dynamic behaviour	49
8.4.4	Calibrations and tests on an approved measuring system.....	50
8.4.5	Performance check.....	51
8.4.6	Linearity test.....	51
8.5	Test procedures	51
9	Short-time alternating current	51
9.1	Application	51
9.2	Terms and definitions	52
9.3	Test current.....	53
9.3.1	Requirements for the test current	53
9.3.2	Tolerances	53
9.4	Measurement of the test current.....	54
9.4.1	Requirements for an approved measuring system.....	54
9.4.2	Uncertainty contributions	54
9.4.3	Dynamic behaviour	54
9.4.4	Calibrations and tests on an approved measuring system.....	55
9.4.5	Performance check.....	56
9.4.6	Linearity test.....	56
9.4.7	Interference test	57
9.5	Test procedures	57
10	Impulse currents.....	57
10.1	Application	57
10.2	Terms and definitions	57
10.3	Test current.....	61
10.3.1	General	61
10.3.2	Tolerances	61
10.4	Measurement of the test current.....	62
10.4.1	Requirements for an approved measuring system.....	62
10.4.2	Uncertainty contributions	62
10.4.3	Dynamic behaviour	62
10.4.4	Calibrations and tests on an approved measuring system.....	64
10.4.5	Performance check.....	64
10.5	Test procedures	65
11	Current measurement in high-voltage dielectric testing.....	65
11.1	Application	65
11.2	Terms and definitions	65
11.3	Measurement of the test current.....	66
11.3.1	Requirements for an approved measuring system.....	66
11.3.2	Uncertainty contributions	66
11.3.3	Dynamic behaviour	66
11.3.4	Calibrations and tests on an approved measuring system.....	66
11.3.5	Performance check.....	67
11.3.6	Linearity test.....	67
11.3.7	Interference test	67
11.4	Test procedures	67

12 Reference measuring systems.....	67
12.1 General.....	67
12.2 Interval between subsequent calibrations of reference measuring systems.....	67
Annex A (informative) Uncertainty of measurement.....	68
Annex B (informative) Examples of the uncertainty calculation in high-current measurements	76
Annex C (informative) Step-response measurements.....	82
Annex D (informative) Convolution method for estimation of dynamic behaviour from step-response measurements	85
Annex E (informative) Constraints for certain wave shapes.....	88
Annex F (informative) Temperature rise of measuring resistors.....	90
Annex G (informative) Determination of r.m.s. values of short-time a.c. current	91
Annex H (informative) Examples of IEC standards with high current tests.....	98
Bibliography.....	100
 Figure 1 – Examples of amplitude frequency responses for limit frequencies ($f_1; f_2$).	14
Figure 2 – Calibration by comparison over full assigned measurement range.....	22
Figure 3 – Uncertainty contributions of the calibration (example with the minimum of 5 current levels).....	23
Figure 4 – Calibration by comparison over a limited current range with a linearity test (see 5.3) providing extension up to the largest value in the assigned measurement range	24
Figure 5 – Linearity test of the measuring system with a linear device in the extended voltage range.....	26
Figure 6 – Short-term stability test for steady-state current.....	28
Figure 7 – Short-term stability test for impulse current and short-time current.....	28
Figure 8 – Short-term stability test for periodic impulse-current and periodic short-time current.....	29
Figure 9 – Test circuit for effect of nearby current path for current-converting shunts and current transformers with iron.	31
Figure 10 – Test circuit for effect of nearby current path for inductive measuring systems without iron (Rogowski coils).....	31
Figure 11 – Principle of interference test circuit.	37
Figure 12 – Interference test on the measuring system $i_1(t)$ based on current-converting shunt or current transformer with iron in a typical 3-phase short-circuit set-up (example).	37
Figure 13 – Test circuit for interference test for inductive systems without iron.	38
Figure 14 – Acceptable normalized amplitude-frequency response of an a.c. measuring system intended for a single fundamental frequency f_{nom}	45
Figure 15 – Acceptable normalized amplitude-frequency response of an a.c. measuring system intended for a range of fundamental frequencies f_{nom1} to f_{nom2}	46
Figure 16 – Example of short-time direct current.....	48
Figure 17 – Example of short-time alternating current.	52
Figure 18 – Exponential impulse current.	58
Figure 19 – Exponential impulse current – oscillating tail.	58
Figure 20 – Impulse current – Rectangular, smooth.	59

Figure 21 – Impulse current – Rectangular with oscillations.....	59
Figure A.1 – Normal probability distribution $p(x)$ of a continuous random variable x	75
Figure A.2 – Rectangular symmetric probability distribution $p(x)$ of the estimate x of an input quantity X	75
Figure B.1 – Comparison between the system under calibration X and the reference system N	81
Figure C.1 – Circuit to generate current step using a coaxial cable.....	82
Figure C.2 – Circuit to generate current step using a capacitor.....	82
Figure C.3 – Definition of response parameters with respect to step response.....	84
Figure E.1 – Attainable combinations of time parameters (shaded area) for the 8/20 impulse at maximum 20 % undershoot and for 20 % tolerance on the time parameters	88
Figure E.2 – Locus for limit of attainable time parameters as a function of permissible undershoot for the 8/20 impulse.....	89
Figure E.3 – Locus for limit of attainable time parameters as a function of permissible undershoot for the 30/80 impulse.....	89
Figure G.1 – Equivalent circuit of short-circuit test.....	91
Figure G.2 – Symmetrical a.c. component of an alternating short-circuit current	92
Figure G.3 – Numerical evaluation of r.m.s value showing both instantaneous current and instantaneous squared value of the current.....	93
Figure G.4 – Three-crest method	94
Figure G.5 – Evaluation of conventional r.m.s. value of an arc current using the three-crest method.....	95
Figure G.6 – Evaluation of equivalent r.m.s value of a short-time current during a short-circuit test.....	96
Figure G.7 – Relation between peak factor k and power factor $\cos(\varphi)$	97
Table 1 – Required tests for steady-state direct current	40
Table 2 – Required tests for ripple current	42
Table 3 – Required tests for steady-state alternating current	46
Table 4 – Tolerance requirement on test-current parameters for short-time direct current.....	49
Table 5 – Required tests for short-time direct current.....	50
Table 6 – Tolerance requirements on the short-time alternating current test parameters	53
Table 7 – List of typical tests in a high-power laboratory and required minimum frequency range of the measuring system.....	54
Table 8 – Tolerance requirements on scale factor	55
Table 9 – Required tests for short-time alternating current.....	55
Table 10 – Examples of exponential impulse-current types	61
Table 11 – Required tests for impulse current.....	64
Table 12 – Required tests for impulse current in high-voltage dielectric testing.....	66
Table A.1 – Coverage factor k for effective degrees of freedom ν_{eff} ($p = 95,45 \%$)	73
Table A.2 – Schematic of an uncertainty budget	74
Table B.1 – Result of the comparison measurement	78
Table B.2 – Result of the comparison measurement	78
Table B.3 – Uncertainty budget for calibration of scale factor F_x	79
Table B.4 – Result of linearity test	80

Table B.5 – Uncertainty budget of scale factor $F_{X,mes}$	81
Table H.1 – List of typical tests with short-time alternating current	98
Table H.2 – List of typical tests with exponential impulse current	99
Table H.3 – List of typical tests with rectangular impulse current	99

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62475:2010

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

HIGH-CURRENT TEST TECHNIQUES – DEFINITIONS AND REQUIREMENTS FOR TEST CURRENTS AND MEASURING SYSTEMS

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 62475 has been prepared by IEC technical committee 42: High-voltage test techniques.

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

FDIS	Report on voting
42/278/FDIS	42/283/RVD

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.

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until the stability date indicated on the IEC website under "<http://webstore.iec.ch>" in the data related to this 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.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62475:2010

HIGH-CURRENT TEST TECHNIQUES – DEFINITIONS AND REQUIREMENTS FOR TEST CURRENTS AND MEASURING SYSTEMS

1 Scope

This International Standard is applicable to high-current testing and measurements on both high-voltage and low-voltage equipment. It deals with steady-state and short-time direct current (as e.g. encountered in high-power d.c. testing), steady-state and short-time alternating current (as e.g. encountered in high-power a.c. testing), and impulse current. In general, currents above 100 A are considered in this International Standard, although currents less than this can occur in tests.

NOTE This standard also covers fault detection during, for example, lightning impulse testing.

This standard:

- defines the terms used;
- defines parameters and their tolerances;
- describes methods to estimate uncertainties of high-current measurements;
- states the requirements which a complete measuring system shall meet;
- describes the methods for approving a measuring system and checking its components;
- describes the procedure by which the user shall show that a measuring system meets the requirements of this standard, including limits set for uncertainty of measurement.

2 Normative references

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

IEC 60051-2:1984, *Direct acting analogue electrical measuring instruments and their accessories – Part 2: Special requirements for ammeters and voltmeters*

IEC 60060-1:2010, *High-voltage test techniques – Part 1: General definitions and test requirements*

IEC 61180-1, *High-voltage test techniques for low-voltage equipment – Part 1: Definitions, test and procedure requirements*

ISO/IEC Guide 98-3:2008, *Uncertainty of measurement – Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM: 1995)*

NOTE Further related standards, guides, etc. on subjects included in this standard are given in the bibliography.

3 Terms and definitions

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

3.1 Measuring systems

3.1.1

measuring system

complete set of devices suitable for performing measurements of a quantity to be measured (measurand). Software used to obtain or calculate measurement results also forms a part of the measuring system

NOTE 1 A high-current measuring system usually comprises the following components:

- converting device with either terminals to connect this device in circuit or appropriate coupling to the circuit, and connections to earth;
- transmission system(s) connecting the output terminals of the converting device to the measuring instrument(s) with its attenuating, terminating, and adapting impedances or networks; and
- measuring instrument(s) together with any connections to the power supply.

Measuring systems which comprise only some of the above components or which are based on non-conventional principles are acceptable if they meet the uncertainty requirements specified in this standard.

NOTE 2 The environment in which a measuring system functions, its clearances to live, current carrying, and earthed structures, and the presence of electromagnetic fields may significantly affect the measurement result and its uncertainty.

3.1.2

record of performance

detailed record, established and maintained by the user, describing the measuring system and containing evidence that the requirements given in this standard have been met. This evidence includes the results of the initial performance test and the schedule and results of each subsequent performance test and performance check

3.1.3

approved measuring system

measuring system that is shown to comply with one or more of the sets of requirements set out in this standard

3.1.4

reference measuring system

measuring system with its calibration traceable to relevant national and/or international standards, and having sufficient accuracy and stability for use in the approval of other systems by making simultaneous comparative measurements with specific types of waveform and ranges of current

NOTE A reference measuring system (maintained according to the requirements of this standard) can be used as an approved measuring system but the converse is not true.

3.2 Components of a measuring system

3.2.1

converting device

device for converting the quantity to be measured (measurand) into a quantity, compatible with the measuring instrument

3.2.2

current-converting shunt

resistor across which the voltage is proportional to the current to be measured

3.2.3

current transformer

instrument transformer in which the secondary current, in normal conditions of use, is substantially proportional to the primary current and differs in phase from it by an angle which is approximately zero for an appropriate direction of the connections

[IEC 60050-321:1986, 321-02-01]

NOTE Current transformers are usually defined for a single frequency, but special designs with a wide frequency range are possible.

3.2.4

Rogowski coil

inductive current-converting device without iron; measuring systems based on a Rogowski coil include an integrating circuit (passive, active, or numerical)

NOTE Measuring systems based on a Rogowski coil can be designed for current measurements in a wide range of frequencies.

3.2.5

transmission system

set of devices that transfers the output signal of a converting device to a measuring instrument(s)

NOTE 1 A transmission system usually consists of a coaxial cable with its terminating impedance, but it may include attenuators, amplifiers, or other devices connected between the converting device and the measuring instrument(s). For example, an optical link includes a transmitter, an optical cable, and a receiver as well as related amplifiers.

NOTE 2 A transmission system may be partially or completely included in the converting device or in the measuring instrument.

3.2.6

measuring instrument

device intended to make measurements, alone or in conjunction with supplementary devices

[IEC 60050-300:2001, 311-03-01]

3.3 Scale factors

3.3.1

scale factor of a measuring system

factor by which the value of the measuring-instrument reading is to be multiplied to obtain the value of the input quantity of the complete measuring system

NOTE 1 A measuring system may have multiple scale factors for different current ranges, frequency ranges or waveforms.

NOTE 2 Some measuring systems display the value of the input quantity directly (i.e., the scale factor of the measuring system is unity).

3.3.2

scale factor of a converting device

factor by which the output of the converting device is to be multiplied to obtain its input quantity

NOTE The scale factor of a converting device may be dimensionless (for example, the ratio of a current transformer) or may have dimensions (for example, related to the impedance of a current-converting shunt).

3.3.3

scale factor of a transmission system

factor by which the output of a transmission system is to be multiplied to obtain its input quantity

3.3.4

scale factor of a measuring instrument

factor by which the instrument reading is to be multiplied to obtain its input quantity

3.3.5

assigned scale factor

F

scale factor of a measuring system determined at the most recent performance test

NOTE A measuring system may have more than one assigned scale factor; for example, it may have several ranges, each with a different scale factor.

3.4 Rated values

3.4.1

operating conditions

conditions under which a measuring system will operate within the specified uncertainty limits

3.4.2

rated current

maximum level of current of specified frequency or waveform at which a measuring system is designed to be used

NOTE The rated current may be higher than the upper limit of the assigned measurement range.

3.4.3

assigned measurement range

range of current of specified frequency or waveform in which a measuring system can be used within the uncertainty limits given in this standard, characterized by a single scale factor

NOTE 1 The limits of the assigned measurement range are chosen by the user and verified by the performance tests specified in this standard.

NOTE 2 A measuring system may have more than one assigned measurement range, with different scale factors established for the different ranges.

3.4.4

assigned operating time

longest time during which a d.c. or a.c. current measuring system can operate at the upper limit of the assigned measurement range within the uncertainty limits given in this standard

3.4.5

assigned rate of application

highest rate of specified short-time currents or impulse currents that can be applied in a given time interval, at which the measuring system can operate at the upper limit of the assigned measurement range and stay within the uncertainty limits given in this standard

NOTE The assigned rate of application could for example be expressed as the number of applications per minute and the time interval in minutes or hours.

3.5 Definitions related to the dynamic behaviour

3.5.1

response of a measuring system,

g or G

output, as a function of time or frequency, when a specified current is applied to the input of the system

3.5.2

amplitude-frequency response

$G(f)$

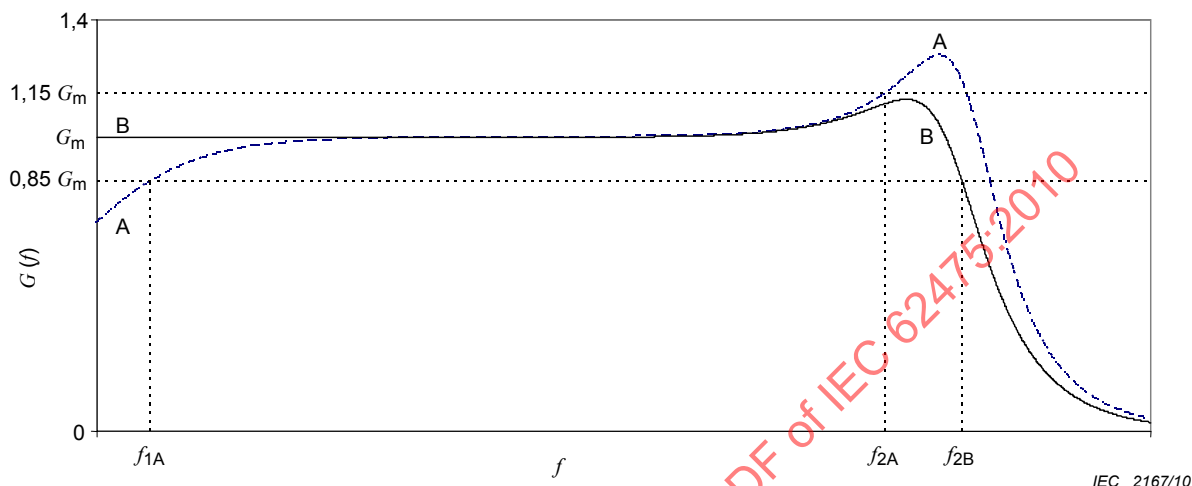
ratio of the output to the input of a measuring system as a function of frequency, f , when the input is sinusoidal

3.5.3

limit frequencies

lower and upper limits of the range within which the amplitude-frequency response is nearly constant

NOTE These limits are where the response first deviates by a certain amount (e.g. $\pm 15\%$) from the constant value. The permissible deviation should be related to acceptable uncertainties of a measuring system (see Figure 1).



NOTE Upper and lower limit frequencies are shown on curve A. Curve B shows a constant response down to direct current.

Figure 1 – Examples of amplitude frequency responses for limit frequencies (f_1 ; f_2)

3.5.4

step response

$g(t)$

output of a measuring system as a function of time, t , when the input is a step function

NOTE For more information on step-response measurements see Annex C.

3.6 Definitions related to uncertainty

3.6.1

tolerance

permitted difference between the measured value and the test specified value

NOTE 1 This difference should be distinguished from the uncertainty of a measurement.

NOTE 2 The measured test current is required to lie within the stated tolerance of the specified test level. The relevant technical committee should specify test levels.

3.6.2

uncertainty (of measurement)

parameter, associated with the result of a measurement, that characterizes the dispersion of the values that could reasonably be attributed to the measurand

[IEC 60050-300:2001, 311-01-02]

NOTE 1 Uncertainty is positive and given without sign.

NOTE 2 Uncertainty of a measurement should not be confused with the tolerance of a test-specified value or parameter.

NOTE 3 For more information see Annex A and Annex B.

3.6.3**standard uncertainty** u

uncertainty of the result of a measurement expressed as a standard deviation

[ISO/IEC Guide 98-3:2008, GUM 2.3.1]

NOTE 1 The standard uncertainty associated with an estimate of a measurand has the same dimension as the measurand.

NOTE 2 In some cases, the relative standard uncertainty of a measurement may be appropriate. The relative standard uncertainty of a measurement is the standard uncertainty divided by the measurand, and is therefore dimensionless.

3.6.4**combined standard uncertainty** u_c

standard uncertainty of the result of a measurement when that result is obtained from the values of a number of other quantities, equal to the positive square root of a sum of terms, the terms being the variances or covariances of these other quantities weighted according to how the measurement result varies with changes in these quantities

[ISO/IEC Guide 98-3:2008, GUM 2.3.4]

3.6.5**expanded uncertainty** U

quantity defining an interval about the result of a measurement that may be expected to encompass a large fraction of the distribution of values that could reasonably be attributed to the measurand

[ISO/IEC Guide 98-3:2008, GUM 2.3.5, modified, i.e. without the notes]

NOTE Expanded uncertainty is the closest match to the term “overall uncertainty” used in earlier editions of the related documents.

3.6.6**coverage factor** k

numerical factor used as a multiplier of the combined standard uncertainty in order to obtain an expanded uncertainty

(ISO/IEC Guide 98-3:2008, GUM 2.3.6, modified, i.e. without the note)

NOTE For 95 % coverage probability and normal (Gaussian) probability distribution, the coverage factor is approximately 2.

3.6.7**error**

measured quantity value minus a reference quantity value

[ISO/IEC Guide 99:2007, VIM 2.1.6]

3.6.8**traceability**

property of the result of a measurement or the value of a standard whereby it can be related to stated references, usually national or international standards, through an unbroken chain of comparisons, all having stated uncertainties

[IEC 60050-300:2001, 311-01-15, modified, i.e. without the notes]

3.6.9

type A evaluation

method of evaluation of uncertainty by statistical analysis of observations

3.6.10

type B evaluation

method of evaluation of uncertainty by means other than statistical analysis of series of observations

3.6.11

National Metrology Institute

institute designated by national decision to develop and maintain national measurement standards for one or more quantities

3.7 Definitions related to tests on measuring systems

3.7.1

calibration

set of operations that establishes, by reference to standards, the relationship which exists, under specified conditions, between an indication and a result of a measurement

NOTE 1 This term is based on the "uncertainty" approach.

NOTE 2 The relationship between the indications and the results of measurement can be expressed, in principle, by a calibration diagram.

NOTE 3 The determination of the scale factor is included in the calibration.

[IEC 60050-300:2001, 311-01-09, modified, i.e. by the addition of NOTE 3]

3.7.2

type test

conformity test made on one or more items representative of the production

[IEC 60050-151:2001, 151-16-16]

NOTE For a measuring system, this is understood as a test performed on a component or on a complete measuring system of the same design to characterize it under operating conditions.

3.7.3

routine test

conformity test made on each individual item during or after manufacture

[IEC 60050-151:2001, 151-16-17]

NOTE For a measuring system this is understood as a test performed on each component or on each complete measuring system during or after manufacture to characterize it under operating conditions.

3.7.4

performance test

test performed on a complete measuring system to characterize it under operating conditions

3.7.5

performance check

simple procedure to ensure that the result of the most recent performance test is still valid

4 Procedures for qualification and use of a measuring system

4.1 General principles

Every approved measuring system is required to undergo initial testing, followed by subsequent performance tests (periodic, see 4.2) and performance checks (periodic, see 4.3) throughout its service life. The initial tests consist of type tests (performed on a component, or system, of the same design) and routine tests (performed on every component or system).

The performance tests and checks shall prove that the measuring system can measure the intended test currents within the uncertainties given in this standard, and that the measurements are traceable to national and/or international standards of measurement. The system is approved only for the arrangements and operating conditions included in its record of performance.

A major requirement for a converting device, transmission system(s) and measuring instrument(s) used in a measuring system is stability within their specified range of operating conditions so that the scale factor of the measuring system remains constant over long periods.

The assigned scale factor is determined in the performance test.

Test facilities shall use the tests given in this standard to qualify their measuring systems. Alternatively, any user may choose to have the performance tests made by a National Metrology Institute or by a calibration laboratory accredited for the quantity to be calibrated.

Any calibration shall be traceable to national and/or international standards. It is the responsibility of the user to ensure that all calibrations are performed by competent personnel using reference measuring systems and suitable procedures.

NOTE Calibrations performed by a laboratory accredited according to ISO/IEC 17025 for the quantities calibrated and reported under the accreditation, are considered traceable to national and/or international standards of measurement.

4.2 Schedule of performance tests

To maintain the quality of a measuring system, its assigned scale factor(s) shall be determined by the periodic performance tests according to 5.2. The interval between performance tests shall be based on evaluation of past stability of the measuring system. It is recommended that the performance test should be repeated annually and in any case it shall be repeated at least once every five years.

NOTE Long intervals between performance tests can increase the risk of an undetected change in the measuring system.

A performance test shall be made after major repairs to the measuring system and whenever a circuit arrangement that is beyond the limits given in the record of performance is to be used.

When a performance test is required because a performance check shows that the assigned scale factor is no longer valid, the cause of this change shall be investigated before the performance test is made.

4.3 Schedule of performance checks

Performance checks shall be made at intervals based on the recorded stability of the measuring system as shown in its record of performance. The interval from the last performance test or the last performance check should not be longer than one year.

For a new or repaired measuring system, performance checks shall be made at short intervals to demonstrate its stability.

No reference method is identified for the performance checks because the required accuracy is less than that required for performance tests.

4.4 Requirements for the record of performance

4.4.1 Contents of the record of performance

The results of all tests and checks, including the conditions under which the results were obtained, shall be kept in the record of performance (stored in paper format or electronically if permitted by quality systems and local laws) established and maintained by the user. The record of performance shall uniquely identify the components of the measuring system and shall be structured so that performance of the measuring system can be traced over time.

The record of performance shall comprise at least the following information:

- general description of the measuring system;
- results of type and routine tests on the converting device, transmission system(s) and measuring instrument(s), and, if performed, on the complete measuring system;
- results of subsequent performance tests on the measuring system;
- results of subsequent performance checks on the measuring system.

NOTE The general description of the measuring system usually comprises main data and capabilities of the measuring system, such as rated current, waveform(s), range(s) or clearances, operating time, or maximum rate of current applications. For many measuring systems, information on the transmission system as well as on the ground return and earthing arrangements is fundamentally important. If needed, a description of the components of the measuring system should be given, including, for example, the type and identification of the measuring instrument.

4.4.2 Exceptions

In the case of measuring systems or components manufactured before the date of issue of this standard, the required evidence may not be available for some of the type and routine tests (for example, 5.7 and 5.13). Then, the performance tests (in accordance with 6.4.4, 7.4.4, 8.4.4, 9.4.4 or 10.4.4 as relevant) and checks made in accordance with earlier standards are deemed adequate, provided they show the scale factor is stable. The results of these previous checks shall also be entered in the record of performance.

Measuring systems comprising several pieces of equipment used interchangeably, may be covered by a single record of performance including all the combinations possible with the least amount of duplication possible. Specifically, each converting device shall be covered individually, but transmission systems and measuring instruments may be covered generically.

4.5 Operating conditions

The current-converting shunt and/or current transformer of a current measuring system shall be connected in series with the test object. The connections should be of the lowest practicable impedance.

The Rogowski coil of a current measuring system shall be situated concentric around a straight part of the current-carrying conductor. The axes of the current conductor and the plane of the coil should be perpendicular in order to minimize sensitivity of the system to external magnetic fields.

NOTE 1 The direction of a current-carrying conductor often shows a 90° angle at a certain distance from the Rogowski coil. It has been shown that for the Rogowski coil situated at a distance of more than 2 times the coil radius from the 90° angle, the influence is negligible.

NOTE 2 Parasitic coupling may need to be investigated.

A measuring system shall have uncertainty low enough for its intended operating conditions.

The assigned operating time of measuring systems for direct and alternating current shall be specified.

NOTE 3 The recommended minimum value for the assigned operating time is 1 h.

The assigned rate of application of short-time current or impulse currents shall be specified.

NOTE 4 The recommended minimum value for the maximum rate of application is two per minute.

The range of environmental conditions under which the measuring system fulfils the requirements of this standard shall be stated.

4.6 Uncertainty

The uncertainty of all measurements made under this standard shall be evaluated according to ISO/IEC Guide 98-3.

Procedures for evaluating uncertainties have been selected from ISO/IEC Guide 98-3 and presented in this standard. These are considered sufficient for the instrumentation and measurement arrangements commonly used in high-current testing; however, users may select other appropriate procedures from ISO/IEC Guide 98-3, as they are given in Annex A and Annex B.

In general, the measurand is the scale factor of the measuring system, but in some cases, other quantities, such as the time parameters of high-current impulses and their associated errors, should be considered.

NOTE 1 Other measurands for specific converting devices are in common use. For example, a current-converting shunt is characterized by the resistance and its uncertainties in the ranges used. A current transformer is characterized by the ratio error, the phase displacement, and the corresponding uncertainties.

According to ISO/IEC Guide 98-3, the uncertainty of a measurand is determined by combining the uncertainty contributions of type A and type B (see Annex A). The contributions are obtained from measurement results, from manufacturer's handbooks, calibration certificates, and from estimating reasonable values of the influence quantities during the measurement. Such influence quantities can include for example temperature effects, interference (effect of nearby current paths), etc.

NOTE 2 The resolution of a measuring instrument, e.g. one with few significant digits, may in some cases be a significant source of uncertainty.

During an actual current test in the test laboratory, it is usually necessary to consider additional influence quantities, apart from the calibration uncertainty of the scale factor as stated in the calibration certificate, in order to obtain the uncertainty of a measurement of the test current.

Guidance on determining uncertainty contributions that need to be considered and on their combination is given in Clause 5, Annex A, and Annex B. The uncertainty shall be given as the expanded uncertainty for a coverage probability of approximately 95 % corresponding in most cases to a coverage factor $k = 2$ under the assumption of a normal distribution.

NOTE 3 In this standard, the uncertainties of the scale factor and of current measurements (5.2 to 5.10) are expressed by the relative uncertainties instead of the absolute uncertainty normally considered in ISO/IEC Guide 98-3. The direct application of the GUM and consideration of the absolute uncertainties are shown in 5.11 for time parameters and in Annex A and Annex B.

5 Tests and test requirements for an approved measuring system

5.1 General requirements

The assigned scale factor of the measuring system is determined by calibration according to the specified performance test. The assigned scale factor is a single value for a certain range of currents, the assigned measurement range. If necessary, several assigned measurement ranges with different scale factors can be defined.

In the case of impulse measuring systems and short-time a.c. and short-time d.c. measuring systems, the performance test also shows that the dynamic performance of the system is adequate for the specified measurements and that the level of any interference is less than the specified limits.

In high-current tests, the size of the apparatus, the levels of current used, and the interaction between the test and measuring circuits often make it preferable to perform calibrations at the test facility of the user.

However, measuring systems or their components may be transported to another laboratory for calibration in an arrangement that simulates the operating conditions, provided that the interference test, if specified, is performed in the test facility of the user. The simulated arrangement shall represent the operating conditions and shall be described in the record of performance.

If a converting device (and/or other component of the measuring system) is sensitive to the presence of nearby current paths, the range of clearances where the assigned scale factor is valid determined and given in the record of performance. One or more ranges of clearances and respective scale factors can be assigned. In the case where the clearance is fixed, the proximity effect is covered by the calibration.

The scale factor(s) of a measuring system shall be determined in each assigned measurement range, preferably by comparison with a reference measuring system. However, as reference measuring systems are not always available at higher currents, calibration by comparison may be made at currents as low as 5 % of the assigned measurement range, provided that the linearity has been proved from this point up to the limit of the assigned measurement range. One of the linearity test methods given in 5.3 shall be used for this extension.

All equipment used in establishing the scale factors of measuring systems shall have calibrations traceable to national and/or international measurement standards.

NOTE Calibrations performed by a National Metrology Institute, or by a laboratory accredited for the quantities calibrated and reported under the accreditation, are considered traceable to national and/or international standards.

Conditions significant for the result of the calibration of the approved measuring system shall be included in the record of performance.

5.2 Calibration – Determination of the scale factor

5.2.1 Calibration of a measuring system by comparison with a reference measuring system (preferred method)

5.2.1.1 Comparison measurement

Scale factor(s) is (are) determined for a complete measuring system by comparison with a reference measuring system.

The input current used for calibration should be of the same type, frequency, or waveform as currents to be measured. If this condition is not fulfilled, the related uncertainty contributions shall be considered.

For the comparison, a reference measuring system, traceable to a National Metrology Institute, shall be connected in series with the measuring system to be calibrated. Care shall be taken to avoid those ground loops between the converting device and measuring instrument(s) that produce unacceptable interference. Simultaneous readings shall be taken on both systems. The value of the input quantity obtained for each measurement by the reference measuring system is divided by the corresponding reading of the instrument in the system under test to obtain a value $F_{i,g}$ of its scale factor at one current level I_g . The procedure is repeated to obtain n independent readings. The arithmetic mean (average) value $\overline{F}_g$ of the scale factor of the system under calibration at one current level I_g is given by:

$$\overline{F}_g = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n F_{i,g}$$

The relative experimental (sample) standard deviation s_g of the individual scale factor values $F_{i,g}$ is given by:

$$s_g = \frac{1}{\overline{F}_g} \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (F_{i,g} - \overline{F}_g)^2}$$

and the type A relative standard uncertainty u_g of the mean value $\overline{F}_g$ is given by:

$$u_g = \frac{s_g}{\overline{F}_g}$$

NOTE 1 Usually no more than $n = 10$ readings are necessary. If less than 10 readings are taken, evaluation should be in accordance with Annex A.

NOTE 2 For measurement of direct and alternating currents, independent readings may be obtained either by applying the test current and taking n readings or by applying the test current n times and taking a reading each time. For impulses and short-time currents, n high-current events are applied.

A measuring system with several assigned measurement ranges shall be calibrated for each range to determine its scale factor. Measuring systems with secondary attenuators may be calibrated on one setting only, provided that the load at the output of the converting device can be shown to be constant for all settings by other tests. In such cases, the full range of settings of the secondary attenuators shall be calibrated separately.

The scale factor shall be determined over each assigned measurement range by one of the following two methods.

5.2.1.2 Comparison over the full assigned measurement range

This test includes both the determination of assigned scale factor and determination of linearity. The scale factor determination shall be done by comparison with a reference measuring system according to 5.2.1.1 at the minimum and maximum levels of the assigned measurement range and at least at three approximately equally spaced intermediate levels (see Figure 2). The assigned scale factor F is taken as the mean value of all scale factors $\overline{F}_g$ recorded at h current levels.

$$F = \frac{1}{h} \sum_{g=1}^h \overline{F}_g$$

where the number of current levels $h \geq 5$.

The standard uncertainty u_F of the determination of the assigned scale factor $\overline{F}$ is given by the combination of a type B contribution u_{B1} of non-linearity of the mean values $\overline{F}_g$ and a type B contribution u_{B2} based on the maximum of the type A standard uncertainties of the recorded scale factors $\overline{F}_g$:

$$u_F = \sqrt{u_{B1}^2 + u_{B2}^2} = \sqrt{\frac{1}{3} \left(\max_{g=1}^h \left| \frac{\overline{F}_g}{\overline{F}} - 1 \right| \right)^2 + \left(\max_{g=1}^h (u_g) \right)^2}$$

NOTE 1 The h determinations of scale factor $\overline{F}_g$ do not constitute a statistical ensemble since they have not been obtained under the same conditions, especially concerning the current level. It is therefore not possible to obtain the uncertainty of the assigned scale factor with statistical methods (i.e. type A). Instead, an estimation type B has to be carried out, and is here based on two contributions. The spread of $\overline{F}_g$ observed over the current levels, is characterized by the maximum deviation from the mean, and evaluated as a rectangular probability distribution. The statistical spreads of type A in the determinations of the individual $\overline{F}_g$ results, at each current level are taken into account by using the maximum value of the individual u_g values, and evaluated as a normal distribution (See Figure 3).

NOTE 2 A rounded value F_o may be taken as the assigned scale factor F if the difference between F_o and F is introduced as an uncertainty contribution of type B in the estimate of the expanded uncertainty of the scale factor F_o .

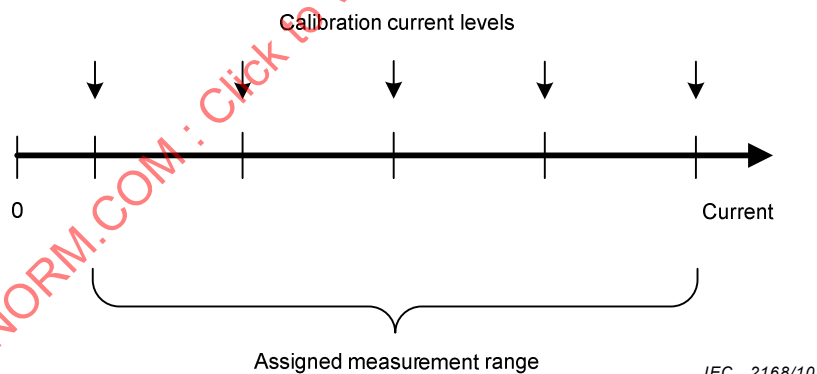


Figure 2 – Calibration by comparison over full assigned measurement range

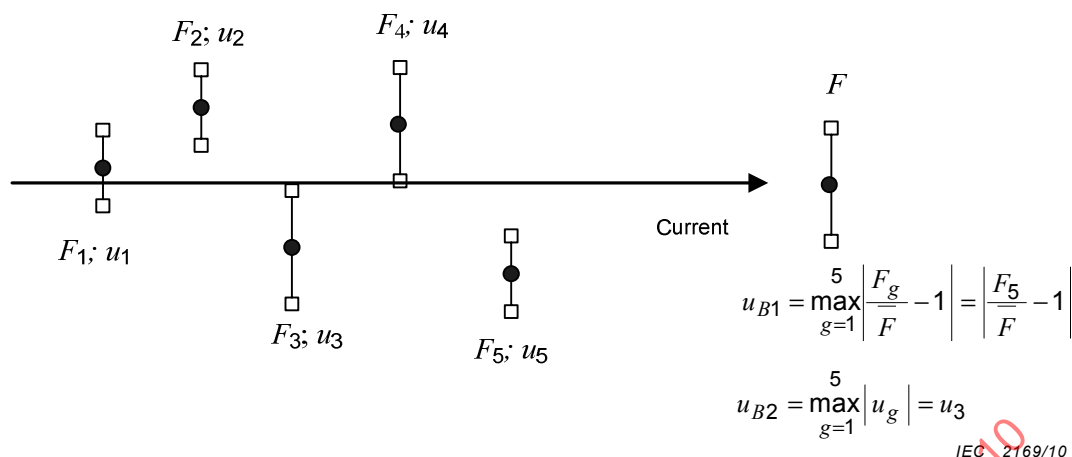


**Figure 3 – Uncertainty contributions of the calibration
(example with the minimum of 5 current levels)**

5.2.1.3 Comparison over limited current range

In cases where the assigned measurement range exceeds the capability of the available reference measuring system, the assigned scale factor shall be determined by comparison according to 5.2.1.1 up to the maximum current of the reference measuring system. The comparison shall, in any case, be carried out at a current that is not lower than 5 % of the upper limit of the assigned measurement range (see Figure 4).

The comparison shall be supplemented by a linearity test in accordance with 5.3. The uncertainty contribution related to linearity shall be considered in the calculation of measurement uncertainty when using the measuring system, see 5.10.3.

The comparison with the reference measuring system is carried out at $a \geq 2$ current levels, where the highest current level is equal to the maximum current of the reference measuring system. The necessary linearity test is carried out at b current levels with one level equal to the maximum level of the comparison calibration (see 5.3). The current levels shall further be chosen such that they comprise at least the minimum and the maximum levels of the assigned measurement range, and that:

$$\begin{aligned} a &\geq 2 \\ a + b &\geq 6 \end{aligned}$$

where the linearity measurements b are considered in 5.3.

The assigned scale factor, F , is taken as the mean value of the scale factors $\overline{F}_g$ recorded via comparison with the reference measuring system according to 5.2.1:

$$F = \frac{1}{a} \sum_{g=1}^a \overline{F}_g$$

The standard uncertainty u_F for the determination of the assigned scale factor F (calibration values) is given by the combination of the type B contributions of non-linearity of F and the type B contribution based on the maximum of the type A standard uncertainty of the recorded scale factors $\overline{F}_g$:

$$u_F = \sqrt{\frac{1}{3} \left(\max_{g=1}^a \left| \frac{\overline{F}_g}{F} - 1 \right| \right)^2 + \frac{1}{3} \left(\max_{g=1}^a (u_g) \right)^2}$$

NOTE A rounded value F_0 may be taken as the assigned scale factor if the difference between F_0 and $\overline{F}_g$ is introduced as an uncertainty contribution of type B in the estimate of the expanded uncertainty of the scale factor F_0 .

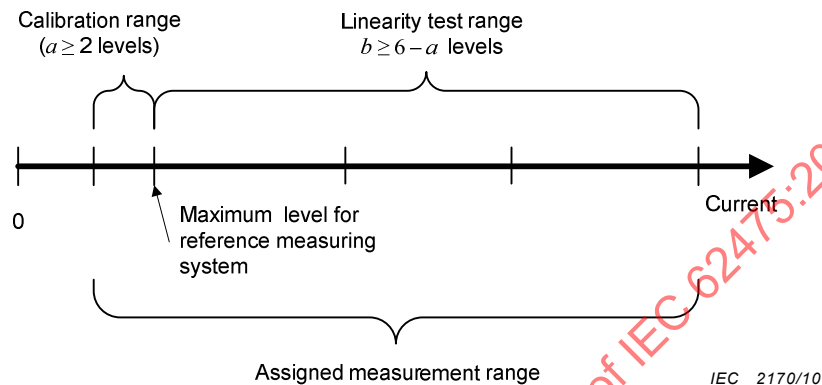


Figure 4 – Calibration by comparison over a limited current range with a linearity test (see 5.3) providing extension up to the largest value in the assigned measurement range

5.2.2 Determination of the scale factor of a measuring system from those of its components

The assigned scale factor of the measuring system shall be determined as the product of the scale factors of its converting device, its transmission system, any secondary attenuator, and its measuring instrument. Separate tests are not required for transmission systems that consist only of cables.

The scale factor of a measuring instrument is determined according to the relevant IEC standard (see Clause 2) or by performing calibrations to prove traceability for the quantity to be measured by the instrument.

NOTE 1 The accuracy class stated for analogue instruments in accordance with IEC 60051-2, is related to the fiducial value, i.e. it is an uncertainty stated as a percentage of the upper limit of the measuring range of the instrument. At lower deflections the relative error will be correspondingly larger.

The determination of the scale factor of a component may be made by one of the following methods:

- simultaneous measurements of its input and output quantities;
- by comparison with a reference component (e.g. a current-converting shunt with a reference current-converting shunt);
- a bridge method;
- calculation based on measured impedances;
- from steady-state portion of its step-response (see Annex C), where the dynamic performance for the scale factor thus obtained can be investigated using convolution techniques (Annex D).

NOTE 2 Care should be taken to ensure that the appropriate "stray" coupling and the mutual influence of the components are considered when performing the measurement.

The scale factor of a current-converting shunt may be determined by d.c. measurements, provided that the dynamic behaviour has been determined separately.

An estimation of relevant type A and type B contributions to uncertainty (see also 5.3 to 5.9) shall be made, for each component of the measuring system, and the combined uncertainty valid for each component is determined according to 5.10, taking into account the uncertainty contributions of the of the measuring devices used for the calibrations.

NOTE 3 Estimation of contributions to uncertainty in the component calibration method requires analysis of each component over the full range of conditions – current, temperature, effect of nearby current paths, etc. – that may influence the result. This analysis is complex and requires deep understanding of the measurement process.

The expanded uncertainty of the current measurement, using the measuring system, shall be obtained by combining these combined uncertainties of the components according to the provisions of ISO/IEC Guide 98-3. See also Annex A and Annex B

Further tests related to estimation of uncertainty shall be made on converting device, transmission system(s) (other than cables) and measuring instrument(s) in accordance with all the tests described in 5.3 to 5.9.

Estimation of uncertainty of time parameter measurement shall be made applying the provisions of 5.11 and the same principles as for measurement of the value of the test current.

5.3 Linearity test

5.3.1 Application

The linearity test is only intended to provide an extension of the validity of the assigned scale factor from the maximum current at which a calibration according to 5.2.1.3 has been carried out, up to the upper limit of the assigned measurement range, usually equal to the rated current of the measuring system (see Figure 4).

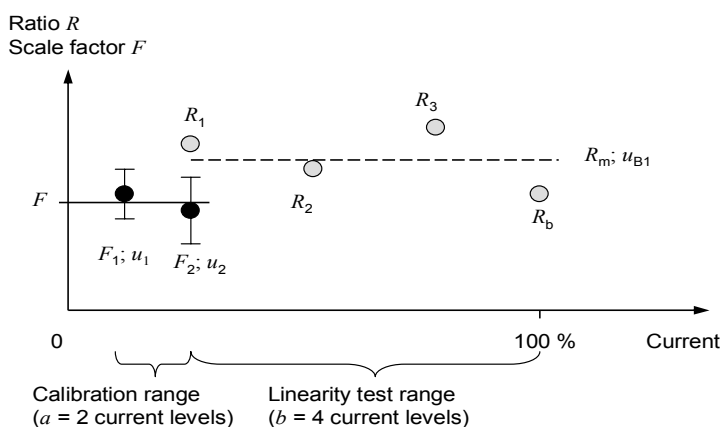
Some types of converting devices show in principle no change in linearity behaviour over the lifetime of the device, e.g. a shunt. For such devices the first linearity test shall be made, but subsequent linearity tests may be replaced by advancing scientific arguments proving that the linearity is not affected by foreseeable processes in the device.

The output of the measuring system shall be compared with the output of a comparison device or system that has proven its linearity or can be shown – at least through its principle and theory (such as e.g. Rogowski coil) – to be linear over the full assigned measurement range of the system under the linearity test. Failure to prove the linearity using such method does not necessarily mean the measuring system is non-linear. In this case another method suitable for the linearity test shall be chosen.

The ratio R between the corresponding readings of the measuring system and the comparison device or system, shall be established as described in 5.2.1.1 for b current levels I_g ranging from the upper limit of the assigned measurement range down to a current at which the scale factor has been determined.

Evaluation of linearity is based on the maximum deviation of the ratios $R_{i,g}$ from their mean $\overline{R_g}$, where $R_{i,g}$ are the individual ratios of the measured current to the corresponding input current of the comparison device. The maximum deviation is taken as a type B estimate of the relative standard uncertainty u_{lin} related to non-linearity of the scale factor in the extended current range higher than the maximum current at which calibration has been carried out:

$$u_{lin} = \frac{1}{\sqrt{3}} \times \max_{g=1}^b \left| \frac{R_{i,g}}{\overline{R_g}} - 1 \right|$$



IEC 2171/10

Figure 5 – Linearity test of the measuring system with a linear device in the extended voltage range

5.3.2 Alternative methods in order of suitability

5.3.2.1 Comparison with an approved measuring system

The output of the measuring system shall be checked against the output of an approved measuring system according to the procedure described in 5.3.1.

The linearity of the approved measuring system shall preferably have been established by calibration in accordance with 5.2.1.

5.3.2.2 Estimation of temperature rise of current-converting shunt

The impulse current, or the short-time current, carried by a current-converting shunt, raises the temperature of its resistance element and this can alter its scale factor significantly. The extent of this effect on the linearity and its dependence on current can be established by calculation based on the temperature coefficient of the resistance element (see Annex F).

5.3.2.3 Comparison with Rogowski coil

The output from a rigid Rogowski coil in a fixed position is in principle linear and can be used for the linearity test according to the procedure described in 5.3.1.

5.4 Dynamic behaviour

The dynamic behaviour of the scale factor of the measuring system or a component may be affected by various influence quantities depending on the type of current to be measured and the measurement conditions. Further requirements are given in the specific clauses for the relevant current. A type B estimate of the scale-factor relative standard uncertainty u_{dyn} related to the dynamic behaviour is given by:

$$u_{\text{dyn}} = \frac{1}{\sqrt{3}} \times \max_{i=1}^k \left| \frac{F_i}{F} - 1 \right|$$

where

k is the number of scale-factor determinations within a range of impulse parameters or a frequency range;

F_i is the individual scale factors;

$\overline{F}$ is the mean (average) scale factor within a range of impulse-time parameters or a frequency range.

Some types of converting devices show, in principle, no change in dynamic behaviour over their lifetime. For such devices the first dynamic performance test must be made, but subsequent dynamic performance tests may be replaced by advancing scientific arguments proving that dynamic performance is not affected by foreseeable processes in the device.

5.5 Short-term stability

5.5.1 Method

The short term stability test is intended to cover the effects of self-heating of the converting device.

A current equal to the maximum current of the assigned measurement range shall be applied to the converting device continuously (or in the case of impulses, at the assigned rate of application) for a period appropriate to the anticipated use.

NOTE The period of current application need not be longer than the assigned operating time, but can be limited to a time sufficient to reach thermal equilibrium.

The scale factor shall be measured at the beginning and at the end of the applied current or, in the case of a series of impulses, at the end of a series of impulses. The measurement of the scale factor can be made either by comparison with another approved measuring system or by other suitable methods. If other methods are chosen, the scale factor may be determined with the converting device dismounted from the test circuit. In this case, the measurement shall be carried out as soon as possible after the application of the current or the series of impulses so that the scale factor does not change appreciably. The recommended maximum time is 20 min.

The result of the test is an estimate of a change of the scale factor, from which the relative standard uncertainty contribution u_{st} is obtained as a type B estimate:

$$u_{st} = \frac{1}{\sqrt{3}} \times \left| \frac{F_{after}}{F_{before}} - 1 \right|$$

where F_{before} and F_{after} are the scale factors before and after the short-term stability test respectively.

5.5.2 Steady-state current

The scale factor shall be measured before or at the start of the application of the current. The rated current shall be applied to the converting device continuously until thermal stability is reached. The scale factor shall then be measured immediately after (or at the end of) the application of the current (see Figure 6).

In certain cases some time has to be permitted for reconnection of the converting device. This time should not be more than 20 % of the thermal time constant of the converting device, and shall in any case not be longer than 20 min.

As an alternative method, the temperature of the resistive element of the shunt can be measured during the test. The scale factor relevant to conditions after the test can then either be determined directly by measurement under artificial heating of the shunt, or by recording the scale factor during the cooling process and extrapolation of the curve back to the last instant of current application.

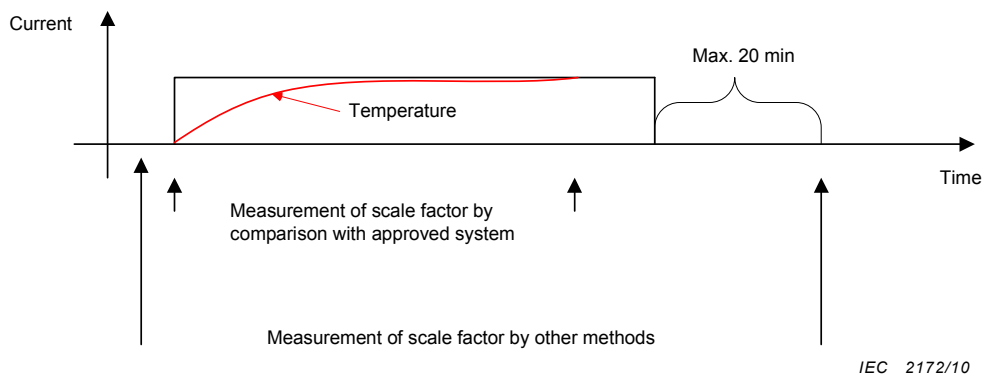


Figure 6 – Short-term stability test for steady-state current

5.5.3 Impulse current and short-time current

The scale factor shall be measured before or at the start of the application of the current and immediately after or at the end of the application of the current. The rated current shall be applied to the converting device (see Figure 7).

In addition, the scale factor shall be just measured before or at the intended next application of an impulse, to prove that the current-free time has been long enough for the scale factor to return to the original value.

NOTE In the case of a short-time d.c./a.c. current, the scale factor evaluated before and after a single current application may be a proper measure of the short-term stability.

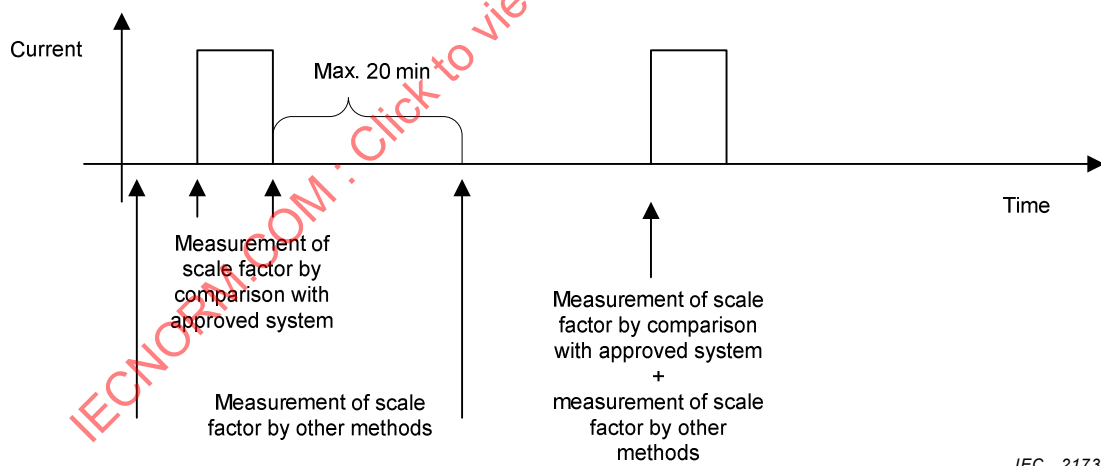


Figure 7 – Short-term stability test for impulse current and short-time current

5.5.4 Periodic impulse current and periodic short-time current

The scale factor shall be measured before or at the start of the application of a series of impulses/short-time currents and immediately after or at the end of the application of a series of impulses/short-time currents (see Figure 8). The rated current shall be applied to the converting device.

In addition, the scale factor shall be measured just before or at the intended start of a new series of impulses, to prove that the current-free time has been long enough for the scale factor to return to the original value.

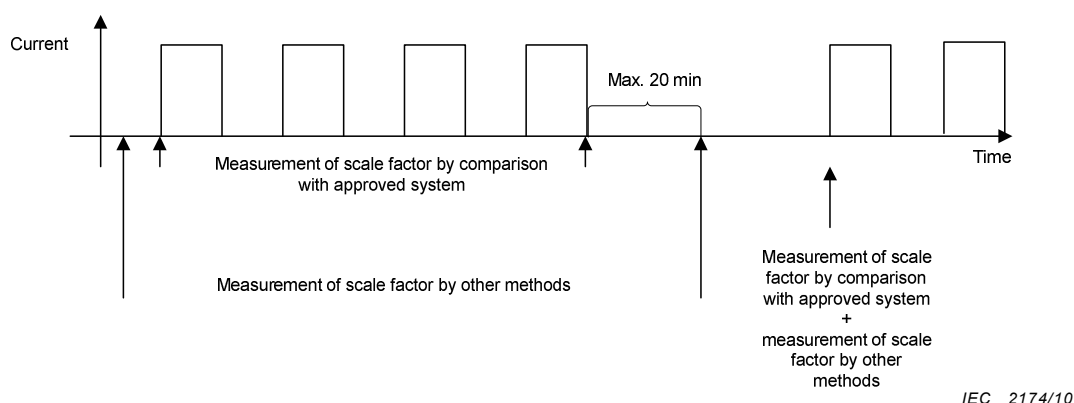


Figure 8 – Short-term stability test for periodic impulse-current and periodic short-time current

5.6 Long-term stability

The stability of the scale factor shall be considered and evaluated for a long span of time, and is generally estimated as an uncertainty contribution valid for a projected time of use T_{use} until the next calibration. The evaluation can be based on manufacturer's data or on results of a series of performance tests. The result of the evaluation is an estimate of a change of the scale factor from which the relative standard uncertainty contribution u_{lt} is obtained as a type B estimate:

$$u_{\text{lt}} = \frac{1}{\sqrt{3}} \times \left| \frac{F_2}{F_1} - 1 \right| \times \frac{T_{\text{use}}}{T_2 - T_1}$$

where F_1 and F_2 are the scale factors at two subsequent performance tests made at times T_1 and T_2 .

In cases where a number of performance test results are available, the long-term stability can be characterized by the type A contribution:

$$u_{\text{lt}} = \frac{T_{\text{use}}}{T_{\text{interval}}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{F_i}{\bar{F}_i} - 1 \right)^2}{n-1}}$$

where F_i are the scale factors determined at performance tests repeated at a mean time interval of T_{interval} . The mean value of the scale factors F_i is $\bar{F}_i$.

5.7 Ambient temperature effect

The variations of the scale factor or a parameter (for example, the resistance or the transformer ratio error) of a device due to changes of the ambient temperature can be determined by computation using the temperature coefficients of single elements (see for example Annex F) or by making measurements on the single elements at different temperatures.

The influence of ambient temperature can also be quantified by determination of the scale factor at different ambient temperatures.

The data and calculations shall be reported in the record of performance; they may be taken from manufacturer's data.

The result of the test (or calculation) is an estimate of a change of the scale factor due to ambient temperature. From this, the relative standard uncertainty contribution u_{temp} is obtained as a type B estimate:

$$u_{\text{temp}} = \frac{1}{\sqrt{3}} \times \max \left| \frac{F_{Ti}}{F_{\text{cal}}} - 1 \right|$$

where

F_{Ti} is the scale factor at a particular temperature T_i ;

F_{cal} is the scale factor at the temperature during the calibration.

NOTE Self-heating effect is covered by the short-term stability test.

Temperature correction factors may be used in cases where the ambient temperature varies over a wide range. Any temperature corrections to be used shall be listed in the record of performance.

In cases where temperature correction has been applied, the uncertainty contribution u_{temp} shall be taken as the uncertainty of the temperature correction factor.

5.8 Effect of nearby current paths

Influence on current measurements, i.e. interference due to mutual-inductance effects of nearby high-current path(s), such as found for instance in three-phase test circuits, can be determined by measurements performed for representative distances of the current-converting device from possibly interfering circuit(s). Grounding/earthing should be the same as in the normal test situation.

The test is performed with no current in the converting device under test and a suitable current in the nearby circuit, whereas readings are taken from both measuring system under test and the nearby current circuit (see Figure 9 and Figure 10).

The result of the test is an estimate of the influence on the measurement, from which the relative standard uncertainty contribution u_{prox} is obtained as a type B estimate:

$$u_{\text{prox}} = \frac{1}{\sqrt{3}} \times \left| \frac{i_{\text{prox}}}{i_{\text{nearby}}} - 1 \right|$$

where

i_{prox} is the reading of the (interference) current of the measuring system under test;

i_{nearby} is the current applied to the nearby conductor.

In case of multiple-phase test circuits, it is assumed that the current carried by the nearby conductor(s) for the purpose of 5.8 is approximately equal to the current applied to the converting device of the investigated measuring system in a real high-current test. Different values for the standard uncertainty contribution u_{prox} may be obtained for different ranges of distances.

NOTE 1 Some test facilities may choose to approve their measuring systems for only a single set of distances, or for a few sets or ranges of distances.

NOTE 2 The test of the effect of nearby current paths on the converting device should be performed once for each set-up, or range of set-ups.

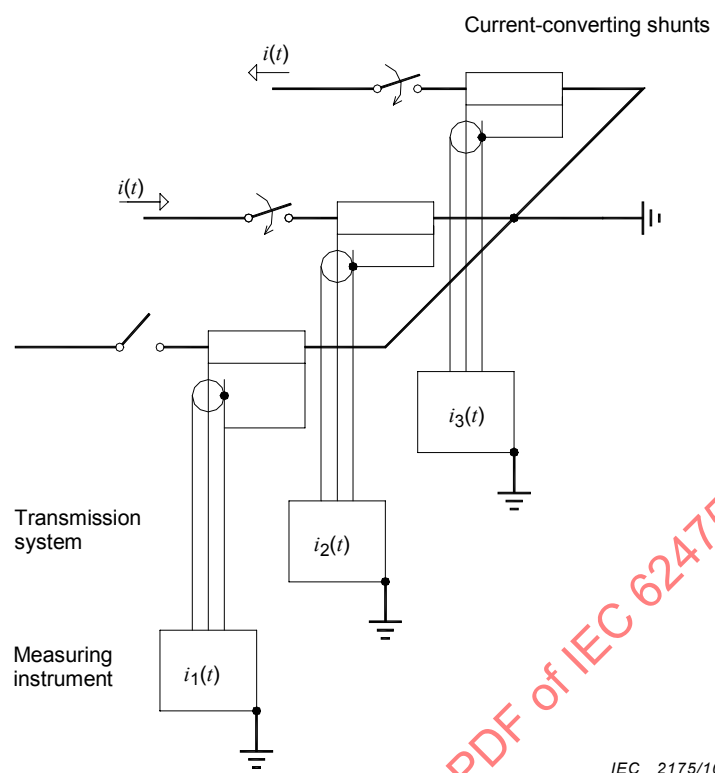


Figure 9 – Test circuit for effect of nearby current path for current-converting shunts and current transformers with iron

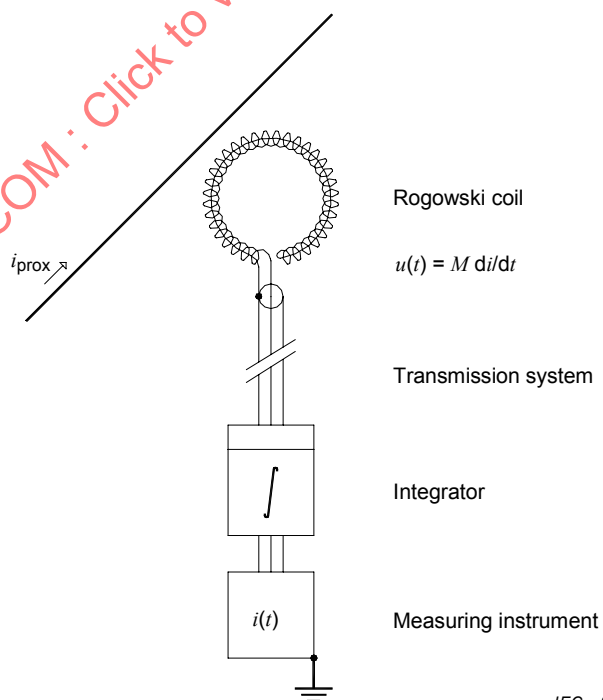


Figure 10 – Test circuit for effect of nearby current path for inductive measuring systems without iron (Rogowski coils)

5.9 Software effect

The way the software handles evaluation of measured data may introduce an uncertainty that has to be estimated. This can be done for instance by evaluation of a synthetically established set of data from a test-data generator, followed by a comparison with the established reference values of the data.

The result of the evaluation is an estimate of the influence of the data processing, from which the relative standard uncertainty contribution u_{sf} is obtained as a type B estimate.

5.10 Uncertainty calculation

5.10.1 General

A simplified procedure to determine the expanded uncertainty of the assigned scale factor F of a measuring system is given here. It is based on several assumptions, which in many cases may be true, but should be verified in each individual case. The main assumptions are as follows:

- there is no correlation between the measurement quantities;
- standard uncertainties evaluated by the method of type B are assumed to have a rectangular distribution; and,
- there are at least three dominant uncertainty contributions that are similar in magnitude.

These assumptions lead to a procedure of evaluation of the expanded uncertainty of the assigned scale factor, F , both for the calibration situation and for the use of an approved measuring system under extended conditions in measurements.

The expanded uncertainty of calibration U_{cal} is estimated from the uncertainty of the calibration of the reference measuring system, and in addition, from influences of other quantities discussed in this clause, such as stability of the reference measuring system and ambient parameters during the calibration.

The expanded uncertainty of a measurement U_{mes} of the test quantity is evaluated from the uncertainty of calibration of the scale factor of the approved measuring system and in addition from influence of other quantities discussed in 5.10.3, such as stability of the approved measuring system and ambient parameters during the measurement.

Further methods for estimating uncertainty are given in ISO/IEC Guide 98-3 and are discussed in Annex A and Annex B.

5.10.2 Uncertainty of calibration

The expanded uncertainty of a calibration U_{cal} is calculated from the uncertainty of the reference measuring system and from the type A and type B uncertainty contributions explained in this clause:

$$U_{\text{cal}} = k \times u_{\text{cal}} = 2 \times \sqrt{u_{\text{C ref}}^2 + u_{\text{F}}^2 + \sum_{i=1}^N u_{\text{Bi}}^2}$$

where

$k = 2$ is the coverage factor for a coverage probability of approximately 95 % and normal distribution;

u_{cal} is the combined standard uncertainty of the scale factor of the approved measuring system determined at its calibration;

- $u_{C \text{ ref}}$ is the combined standard uncertainty of the scale factor of the reference measuring system determined at its calibration;
- u_F is the standard uncertainty of the determination of the scale factor performed according to 5.2.1 or in 5.2.2;
- u_{Bi} is the contribution to combined uncertainty of the scale factor caused by the i^{th} influence quantity and evaluated as a type B contribution. These contributions are related to the reference measuring system and arise from non-linearity, short- and long-term instabilities, etc.; they are determined according to 5.3 to 5.9 and based either on additional measurements or estimated from other data sources. Influences related to the approved measuring system, such as its short-term stability and resolution of the measurement, have also to be taken into account if they are significant during the calibration.

In cases where the assumptions mentioned above are not valid, the procedures given in Annex A and Annex B or, if necessary, in ISO/IEC Guide 98-3, shall be applied.

The number N of type B uncertainty contributions may differ for different types of test currents (Clauses 6 to 11). More information on the type B contributions is given in the relevant clauses.

If the assigned scale factor of the measuring system is calculated from those of its components (5.2.2), the standard uncertainties of the calibration of the components shall be combined with those describing additional conditions of the measuring system and its environment (see Annex A and Annex B).

5.10.3 Uncertainty of measurement using an approved measuring system

Estimation of the expanded uncertainty of a measurement is the responsibility of the user. However, this estimation may be given for a defined range of measurement conditions in conjunction with the calibration certificate.

The relative expanded uncertainty of a measurement U_{mes} is calculated from the combined standard uncertainty of the assigned scale factor of the approved measuring system as determined in the calibration and additional uncertainty contributions related to the use of the approved measuring system. It is estimated by:

$$U_{\text{mes}} = k \times u_{C \text{ mes}} = 2 \times \sqrt{u_{C \text{ cal}}^2 + \sum_{i=1}^N u_{Bi}^2}$$

where

- $k = 2$ is the coverage factor for a coverage probability of approximately 95 % and normal distribution;
- $u_{C \text{ mes}}$ is the combined standard uncertainty of the measurement using the approved measuring system, valid for a projected period of use, e.g. a calibration interval;
- $u_{C \text{ cal}}$ is the combined standard uncertainty of the scale factor of the approved measuring system determined at the calibration;
- u_{Bi} is the contribution to the combined uncertainty of the scale factor of the approved measuring system caused by the i^{th} influence quantity evaluated as a type B contribution. These contributions are related to a normal use of the approved measuring system and arise from non-linearity, short- and long-term instabilities, etc.; they are determined according to 5.3 to 5.9 and are based either on additional measurements or estimated from other data sources. Other significant influences shall also be taken into account, e.g. the resolution of the instrument display in the approved measuring system.

NOTE A calibration certificate may include information on both the uncertainty of the calibration, U_{cal} , and the uncertainty of measurement of the test current, U_{mes} , when using the approved measuring system under stated, predefined conditions.

In cases where the assumptions mentioned above are not valid, the procedures given in Annex A or, if necessary in ISO/IEC Guide 98-3, shall be applied.

The number N of type B uncertainty contributions may differ for different types of test currents (Clauses 6 to 11). More information on the type B contributions is given in the relevant clauses.

5.11 Uncertainty calculation of time-parameter measurements (impulse currents only)

5.11.1 General

An approved measuring system for impulse current shall be able to measure each time parameter within the specified uncertainty limit provided the parameter lies within its specified range. For front time this is usually the nominal epoch, see 10.2.9. The experimental proof may be given either by the comparison or the component method. The proof may also be given by calculation, using the convolution method based on the experimental step response (Annex C and Annex D).

The general procedure for evaluating the time parameters and their uncertainties is described below for the front time T_1 , determined by the comparison method. It is applicable to other time parameters in the same way.

Definitions of time parameters for impulse currents are given in Clause 10.

NOTE The estimation of the measurement uncertainty of time parameters results in an absolute uncertainty value.

5.11.2 Uncertainty of the time-parameter calibration

The front time T_1 of n impulse currents shall be measured simultaneously by the measuring system under test, denoted as X, and the reference measuring system, denoted as N. The error of the reference measuring system is assumed to be negligible. The arithmetic mean error of the front times is:

$$\Delta T_1 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (T_{1X,i} - T_{1N,i})$$

and the experimental standard deviation of the individual front-time errors is:

$$s_{\Delta T_1} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\Delta T_{1,i} - \Delta T_1)^2}$$

where $\Delta T_{1,i}$ is the i^{th} difference between the front times measured by the systems X and N.

NOTE 1 Usually, no more than $n = 10$ independent readings are necessary.

NOTE 2 In general, the front times are evaluated from the same records of N and X, used to evaluate the peak values for determining the scale factor (see 5.2.1.1).

From $s_{\Delta T_1}$, the type A standard uncertainty of the mean front-time errors is calculated as:

$$u_A = \frac{s_{\Delta T_1}}{\sqrt{n}}$$

The comparison is performed at a suitable current level with a front time being the minimum and maximum T_1 values that the measuring system will be used for. The different front times are distinguished by an ordinal number, j , as T_{1j} . For each T_1 value, the mean difference ΔT_{1j} is calculated as described above.

The overall mean of the $n \geq 2$ mean errors is:

$$\overline{\Delta T_{1m}} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \overline{\Delta T_{1,j}}$$

The maximum deviation of the individual values $\Delta T_{1,j}$ from their mean value ΔT_{1m} is used to determine the type B uncertainty u_B as:

$$u_B = \frac{1}{\sqrt{3}} \max_{j=1}^n \left| \overline{\Delta T_{1,j}} - \overline{\Delta T_{1m}} \right|$$

NOTE 3 If the measuring system is used for one single front time, only one comparison measurement is needed.

The expanded uncertainty of the time-parameter calibration, equal to that of the resultant mean error, ΔT_{1cal} , is determined as:

$$U_{cal} = k \times u_{cal} = 2 \times \sqrt{u_{cref}^2 + u_A^2 + u_B^2}$$

where

- u_{cal} is the combined standard uncertainty of the mean front-time error, ΔT_{1cal} , of the calibrated measuring system;
- $k = 2$ is the coverage factor for a coverage probability of approximately 95 % and normal distribution;
- u_{cref} is the combined standard uncertainty of the mean front-time error, ΔT_{1ref} , of the reference measuring system;
- u_A is the type A standard uncertainty of the mean front-time error, ΔT_{1cal} , of the calibrated measuring system;
- u_B is the type B standard uncertainty of the mean front-time error, ΔT_{1cal} , of the calibrated measuring system.

Additional contributions to the expanded uncertainty U_{cal} may be important in special cases and shall be considered.

5.11.3 Uncertainty of a time-parameter measurement using an approved measuring system

Estimation of the expanded uncertainty of a time-parameter measurement is the responsibility of the user. However, this estimation may be given for a defined range of measurement conditions in the calibration certificate.

NOTE If the expanded uncertainty U_{cal} of the time parameter calibration is less than 70 % of the expanded uncertainty specified for time parameter measurement in this standard, it can in general be assumed that the uncertainty of using the approved measuring system for time parameter measurement U_M is equal to U_{cal} .

Calculation of the expanded uncertainty of the time-parameter measurement U_{mes} shall be calculated according to the following formula:

$$U_{mes} = k \times u_{mes} = 2 \times \sqrt{u_{cal}^2 + \sum_{i=1}^N u_{Bi}^2}$$

where

- $u_{c\text{ cal}}$ is the combined standard uncertainty of the mean front-time error, $\Delta T_{1\text{ cal}}$, of the calibrated measuring system;
- $k = 2$ is the coverage factor for a coverage probability of approximately 95 % and normal distribution;
- u_{Bi} is the contribution to combined uncertainty of the measurement of time parameter of an impulse, using the approved measuring system caused by the i^{th} influence quantity to the time parameter and evaluated as a type B contribution. These contributions are related to a normal use of the approved measuring system and arise for example from short- and long-term instabilities, software effects, etc., but also due to non-perfect impulse shapes. Determination of these contributions according to 5.3 to 5.9 is based either on additional measurements or other data sources. In some situations, further influences must also be taken into account, e.g. the resolution of the instrument display in the approved measuring system;
- $u_{c\text{ mes}}$ is the combined standard uncertainty of the time parameter measured with the approved measuring system, valid for a projected period of use.

Additional contributions to the expanded uncertainty may be important in special cases and shall be considered in calculation of U_{mes} , e.g. when the impulse current exhibits oscillations on the front.

NOTE 1 No correction for time parameter measurement is required, as long as the sum of the observed relative mean error $\frac{\Delta T_{1,j}}{T_1}$ and its relative expanded uncertainty U_{mes} is less than 70 % of the required relative uncertainty for the relevant time-parameter measurement.

NOTE 2 The influence of the time-parameter variation on the test result is supposed to be small.

NOTE 3 The expanded uncertainty of a corrected time parameter, $T_{1\text{ corr}}$, should be established according to this clause.

5.12 Interference test

5.12.1 Application

Interference test is required for steady-state a.c., short-time a.c./d.c., and impulse-current measuring systems.

Interference test is made to ensure adequate immunity to interference of the current measuring system in a given circuit under given operating conditions. Interference may be induced by the transient electromagnetic field or conducted by either the signal or the supply lines.

The test shall be made on the measuring system whereas its transmission system (measuring cable) according to 5.12.2 or 5.12.3, whichever is relevant, is kept without any change of the earth connections. An interfering condition shall be produced at the input of the measuring system, for example by operation of an appropriate device producing a current representative of the waveform to be applied in the high-current test, and the output shall be recorded. The interference test shall be made at a suitable current with each type of current that is to be used or expected in or nearby the high-current test set-up, including multi-phase and chopped currents.

The interference ratio shall be determined as the maximum amplitude of the measured interference divided by the output of the measuring system when measuring the test current.

The interference ratio recorded should not exceed 1 %. Higher values can be accepted if it is shown that the uncertainty requirements are still met.

NOTE 1 A measuring system for short-time alternating current is considered an impulse measuring system with respect to the interference test.

NOTE 2 The influence of nearby current paths is considered in 5.8.

5.12.2 Current-converting shunts and current transformers with iron

During the interference test, the converting device of the measuring system shall be mounted in the current circuit, as under the normal high-current test conditions, and it shall carry the test current. The transmission system (measuring cable), disconnected from the converting device, shall be either short-circuited (coaxially in case of a coaxial cable) or terminated by its characteristic impedance at the input end (whichever best represents normal measurement conditions) and earthed in the same way as in normal measurements (see Figure 11).

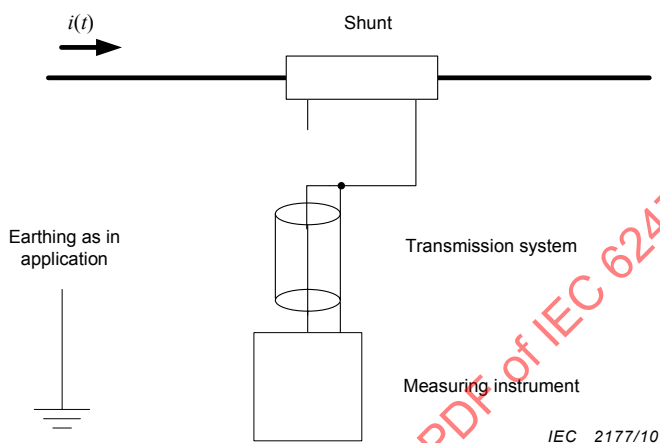


Figure 11 – Principle of interference test circuit

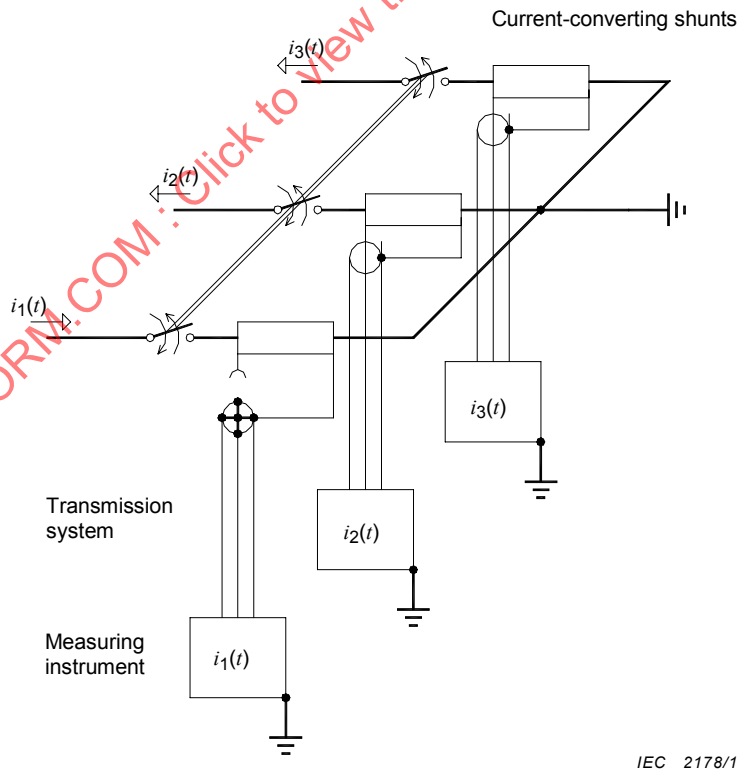


Figure 12 – Interference test on the measuring system $i_1(t)$ based on current-converting shunt or current transformer with iron in a typical 3-phase short-circuit set-up (example)

5.12.3 Inductive measuring systems without iron (Rogowski coils)

For measuring systems comprising inductive converting devices without iron, such as Rogowski coils, it is essential to prove sufficient immunity of the winding and internal elements to interference (proper coaxial design, shielding to avoid capacitive pick-up, etc.). Therefore, during interference tests, the transmission system (measuring cable) shall be connected to the output of the converting device in the same way as for normal measurements including the earthing, while the converting device itself is shifted from its normal concentric position, so that it remains perpendicular and close to, but not around the high-current carrying conductor (see Figure 13). The distance of the Rogowski-coil axis from the interfering current path should be relevant to the conditions of the laboratory; in the case of a nearby-earthed current path, it should be approximately equal to half the diameter of the Rogowski coil; in cases with a high-potential current path, the distance is adequately larger as required by the necessary clearance.

NOTE The interference test is also a test for the effect of nearby current paths. However, the clearance to the current conductor is small, and possibly not representative of the clearance sought in the test in 5.8. In such cases, a second test can be made for a more representative clearance.

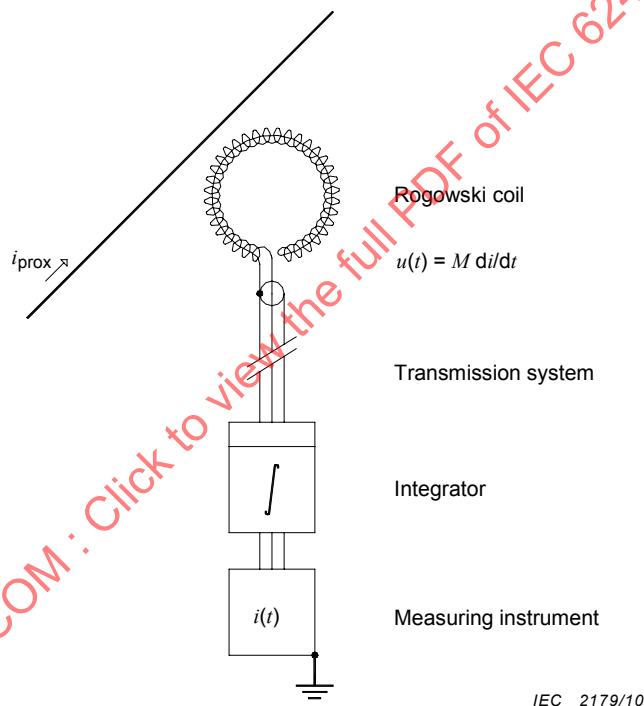


Figure 13 – Test circuit for interference test for inductive systems without iron

5.13 Withstand tests

5.13.1 Voltage withstand tests

Voltage withstand tests are applicable only to converting devices intended for operation at elevated potentials.

The converting device shall pass a dry withstand test performed with a voltage of the required frequency or shape at a level of 110 % of its rated voltage. For the procedures of withstand tests, see IEC 60060-1 or IEC 61180-1.

The withstand tests shall be performed at the polarity or polarities at which the system is to be used.

NOTE Design of any component of an approved measuring system should be such that it can withstand, without any change of its characteristics, a possible disruptive discharge at the test object.

5.13.2 Current withstand tests

5.13.2.1 Short-time withstand current

When short-time withstand current test is required, the converting device shall be part of the measuring system and shall be subjected to a short-time withstand current at its rated current. The measuring system shall fulfil requirements on scale factor at this current and there shall be no evidence of damage to the converting device.

5.13.2.2 Peak withstand current

When peak withstand current test is required, the converting device shall be part of the measuring system and shall be subjected to a peak withstand current at its rated current. The measuring system shall fulfil requirements on scale factor at this current and there shall be no evidence of damage to the converting device.

6 Steady-state direct current

6.1 Application

Test applications are considered for measurements of high steady-state d.c. currents.

Procedures given below for measurement of test current are applicable to both calibration and measurement.

6.2 Terms and definitions

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

6.2.1

value of the d.c. test current

arithmetic mean (average) value of the test current

6.2.2

ripple

periodic deviation from the arithmetic mean value of the current. The amplitude of the ripple is defined as half the difference between the maximum and minimum values

6.2.3

ripple factor

ratio of the ripple amplitude to the arithmetic mean value of the current

6.3 Test current

6.3.1 Requirements

The test current shall be a direct current with not more than 7 % ripple factor, unless otherwise specified by the relevant technical committee. Further test requirements may be defined in apparatus specific standards.

6.3.2 Tolerances

Unless otherwise specified by the relevant technical committee, the tolerance requirement on the test current shall be ± 3 % throughout the test.

NOTE 1 It is emphasized that the tolerance constitutes the permitted difference between the specified value and that actually measured. This difference should be distinguished from the uncertainty of a measurement.

NOTE 2 The relevant technical committee may specify other tolerance limits, e.g. 0 % to +5 %.

6.4 Measurement of the test current

6.4.1 Requirements for an approved measuring system

The general requirement is to measure the value of the test current with an expanded uncertainty U_{mes} (with a coverage probability of 95 %) of not more than 3 % if not otherwise defined in the relevant apparatus standard.

6.4.2 Uncertainty contributions

For a d.c. current measuring system, the expanded uncertainty U_{mes} shall be evaluated according to 5.10.3 and, if necessary, according to Annex A and Annex B. The individual contributions to be considered are given in Table 1. The information given here is for guidance only; other contributions can be important in some cases and shall be considered as well.

6.4.3 Dynamic behaviour

There are no requirements on dynamic behaviour of a measuring system used to measure only the value of the d.c test current (arithmetic mean value). For ripple measurements see 6.5.3.

6.4.4 Calibrations and tests on an approved measuring system

Table 1 – Required tests for steady-state direct current

Type of test	Type test	Routine test	Performance test	Performance check
Scale factor of measuring system at the calibration			5.2 and 5.10.2	
Scale factor check				6.4.5
Extension of linearity		5.3 (if applicable)	5.3 (if applicable)	
Dynamic behaviour of measuring system				
Short-term stability		5.5		
Long-term stability	5.6		5.6 (if applicable)	
Ambient temperature effect	5.7			
Effect of nearby current paths on converting device	5.8 (if applicable)			
Software effect	5.9 (if applicable)			
Dry voltage withstand test on converting device		5.13.1 (if applicable)		
Current withstand test	–			
Scale factor of converting device		5.2		
Scale factor of transmission system other than a cable		5.2		
Scale factor of measuring instrument		5.2		
Responsibility	On components: manufacturer		On measuring system: user	
Recommended repetition rate	Once only (type and routine test)		Proposed annually, but at least every 5 years	According to stability, but at least annually

The compliance with type test requirements can be proved by tests on a device of the same design or sometimes be derived from manufacturer's data. Routine tests shall be performed on each device. See 4.6 for details and 4.4.2 for exceptions.

6.4.5 Performance check

6.4.5.1 General

The scale factor of an approved measuring system can be checked by one of the following methods.

6.4.5.2 Check of the scale factors of the components

The scale factor(s) of each component shall be checked using an internal, or an external, calibrator having an expanded uncertainty not exceeding 1 %. If the scale factors of individual components differ from their previous values by not more than 1 %, the previous assigned scale factor of the measuring system is taken as still valid. If any difference exceeds 1 %, then a new value of the assigned scale factor shall be determined in a performance test as described in 5.2.

NOTE DC measurements of the resistance of a current-converting shunt are in general sufficient for performance checks.

6.4.5.3 Check of the scale factor of the measuring system

A comparison shall be made with another approved measuring system with the procedure of 5.2.1. If the difference between the two measured values is not larger than 3 %, the previous assigned scale factor is taken as still valid. If it is larger, then the assigned scale factor shall be determined in a performance test (see 5.2).

6.5 Measurement of ripple amplitude

6.5.1 Requirements for an approved measuring system

The ripple amplitude shall be measured with an expanded uncertainty (with a coverage probability of 95 %) of not more than 10 % of the ripple amplitude or 1 % of the value of the d.c. test current, whichever is larger.

Separate measuring systems may be used to measure the value of the d.c. test current and of the ripple amplitude, or the same converting device may be used with two separate instruments.

6.5.2 Uncertainty contributions

For a measuring system for ripple current, the expanded uncertainty U_{mes} shall be evaluated according to 5.10.3 and, if necessary, Annex A and Annex B. The individual contributions to uncertainty to be considered are given in Table 2. The information given here is for guidance only; other contributions can be important in some cases and shall be considered as well.

6.5.3 Dynamic behaviour for ripple

6.5.3.1 Requirements

In general, it can be assumed that the requirement on uncertainty due to dynamic behaviour is fulfilled if the upper –3 dB limit frequency f_2 of the amplitude-frequency response of the measuring system is greater than 10 times the fundamental frequency f of the ripple and if the lower –3 dB limit frequency f_1 is smaller than 1/10 of the fundamental frequency f of the ripple.

6.5.3.2 Direct determination of the amplitude-frequency response

The system is subjected to a sinusoidal input of known amplitude, usually at low level, and the output is measured. This measurement is repeated for an appropriate range of frequencies.

6.5.4 Calibrations and tests on an approved ripple-current measuring system

The tests specified here shall be applied only to systems used to measure the ripple amplitude.

Table 2 – Required tests for ripple current

Type of test	Type test	Routine test	Performance test	Performance check
Scale factor of measuring system at the calibration			6.5.5 and 5.2	
Scale factor check				6.5.6
Dynamic behaviour for ripple			6.5.3	
Long-term stability	5.6			
Ambient temperature effect	5.7			
Responsibility	On components: manufacturer		On measuring system: user	
Recommended repetition rate	Once only (type and routine test)		Proposed annually, but at least every 5 years	According to stability, but at least annually

The compliance with type test requirements can be proved by tests on a device of the same design or sometimes be derived from manufacturer's data. Routine tests shall be performed on each device. See 4.6 for details and 4.4.2 for exceptions.

Other uncertainty contributions can be important in individual cases and the information given here is for guidance only.

6.5.5 Measurement of the scale factor at the ripple frequency

The scale factor of the measuring system shall be determined at the fundamental frequency f of the ripple, with an expanded uncertainty of not more than 3 %. This scale factor may be determined as the product of the scale factors of the components.

6.5.6 Performance check for ripple current measuring system

6.5.6.1 General

The scale factor of an approved measuring system can be checked by one of the following methods.

6.5.6.2 Check of the scale factors of the components

The scale factor(s) of each component shall be checked using an internal or an external calibrator having an expanded uncertainty not exceeding 3 %. If the scale factors of individual components differ from their previous values by not more than 3 %, the previous assigned scale factor of the measuring system is taken as still valid. If any difference exceeds 3 %, then a new value of the assigned scale factor shall be determined in a performance test (see 5.2).

NOTE DC measurements of the resistance of a current-converting shunt are in general sufficient for performance checks.

6.5.6.3 Check of the scale factor of the measuring system

A comparison shall be made with another approved measuring system according to the procedure of 5.2.1. If the difference between the two measured values is not larger than 10 %, the previous assigned scale factor is taken as still valid. If it is larger, then the assigned scale factor shall be determined in a performance test (see 5.2).

6.6 Test procedures

Test procedures are defined by the relevant technical committee or shall be based on agreement with the client.

7 Steady-state alternating current

7.1 Application

Test applications are considered for tests with steady-state alternating current.

Procedures given below for measurement of test current are applicable to both calibration and measurement.

7.2 Terms and definitions

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

7.2.1

value of the a.c. test current

true r.m.s. value of the test current

7.2.2

true r.m.s. value

value obtained from

$$I_{\text{rms}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2(t) dt}$$

where

0 is the time instant ($t = 0$) of an a.c. periodic wave, convenient for the beginning of integration;

T is the time taken over an integral number of cycles;

$i(t)$ is the instantaneous value of the current.

NOTE 1 The true r.m.s. value can in general be calculated from a digitized record of any periodic waveform, provided a sufficient number of samples have been taken (see Clause G.4).

NOTE 2 In cases with varying frequency, no strict formula for true r.m.s. value can be given.

7.2.3

peak value

$\hat{I}_{\text{ss}}$

maximum instantaneous magnitude of the current

7.3 Test current

7.3.1 Requirements

The test current shall be an alternating current, generally having a rated frequency in the range 45 Hz to 65 Hz, referred to as power-frequency test current. Special tests may be required at frequencies considerably below or above this range, as specified by the relevant technical committee.

The current wave shape shall approximate a sinusoid with the difference between the magnitudes of the positive and negative peak values being less than 2 %.

The results of a high-current test are thought to be unaffected by small deviations from a sinusoid if the total relative harmonic distortion (THD) does not exceed 5 % of the r.m.s. value of the fundamental component.

$$\text{THD} = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{50} I_n^2}}{I_1}$$

where

I_1 is the r.m.s value of the fundamental component of the current;

I_n is the r.m.s value of the n^{th} harmonic component starting from $n = 2$.

For some test circuits in common use, greater deviations have to be accepted. For instance, the test object, especially if it has non-linear impedance characteristics, may cause a considerable deviation from a sinusoid.

7.3.2 Tolerances

If not otherwise specified by the relevant technical committee, the tolerance requirement on the test current shall be ± 3 % throughout the test.

NOTE 1 It is emphasized that the tolerance constitutes the permitted difference between the test-specified value and the value actually measured. This difference should be distinguished from the uncertainty of a measurement.

NOTE 2 The relevant technical committee may specify other tolerance limits, e.g. 0 % to +5 %.

7.4 Measurement of the test current

7.4.1 Requirements for an approved measuring system

The general requirement is to measure the value of the test current with an expanded uncertainty U_{mes} (with a coverage probability of 95 %) not exceeding 3 % if not otherwise defined in the relevant apparatus standard.

7.4.2 Uncertainty contributions

For an a.c. current measuring system, the expanded uncertainty shall be evaluated according to 5.10.3 and, if necessary, Annex A and Annex B. The individual uncertainty contributions to be considered are given in Table 3. The information given here is for guidance only; other contributions can be important in some cases and shall be considered as well.

7.4.3 Dynamic behaviour

7.4.3.1 Requirements

The amplitude-frequency response of a measuring system intended for operation at one single fundamental frequency f_{nom} shall appear (in the frequency range depicted in Figure 14 by dash-and-dot lines) within the upper and lower limits indicated by solid and dashed lines. The limits have been derived from the uncertainty requirements. The number pairs in the diagram give the normalized frequencies (seen in the logarithmic scale) and the corresponding permitted deviations from the ideal response at the corner points of the limit lines. The performance from f_{nom} to $7 f_{\text{nom}}$ shall be proven either by test or by circuit analysis. The amplitude-frequency response limits outside this range are given for information only. The uncertainty contribution u_{dyn} is taken as zero.

Other requirements on dynamic behaviour may be specified by the relevant technical committee.

NOTE 1 The restrictions given on dynamic behaviour are intended to ensure that amplitude errors of the frequency components other than the fundamental will not contribute significantly to the measured value of the test

current. Measuring systems complying with these requirements are furthermore considered to have a frequency response suitable for measurements of the total harmonic distortion (THD) on the test current.

NOTE 2 The frequency response shown outside the range indicated by dash-and-dot lines, although not required, does represent good practice.

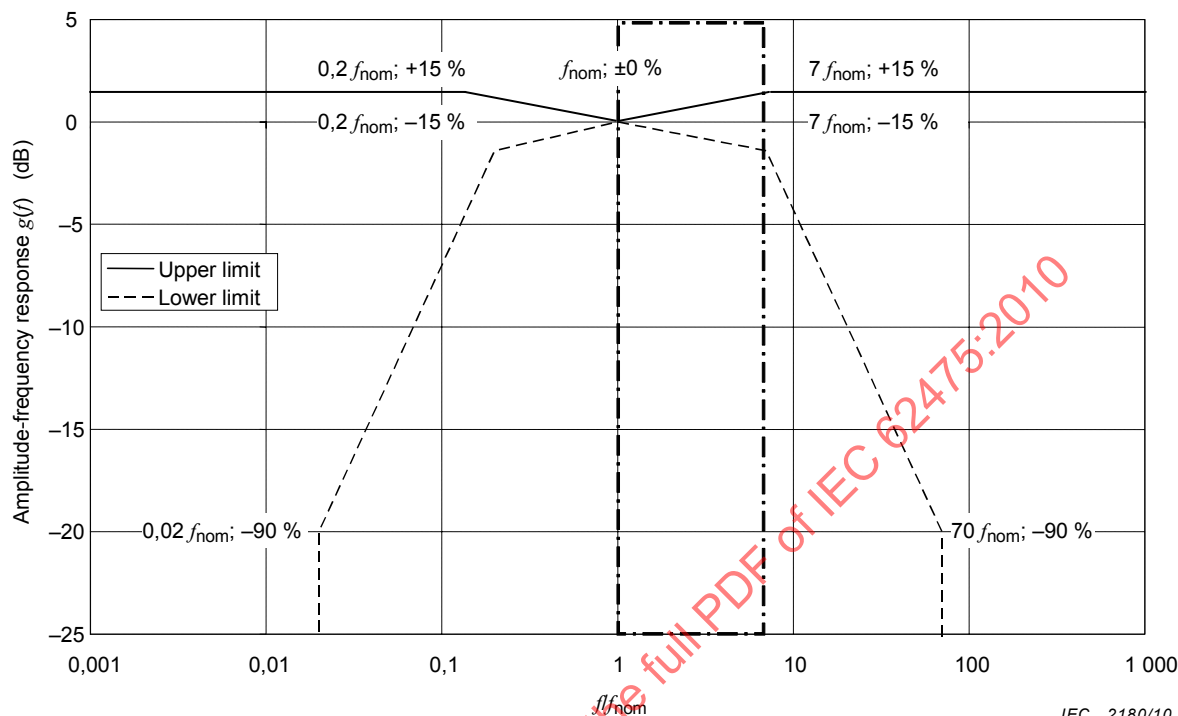
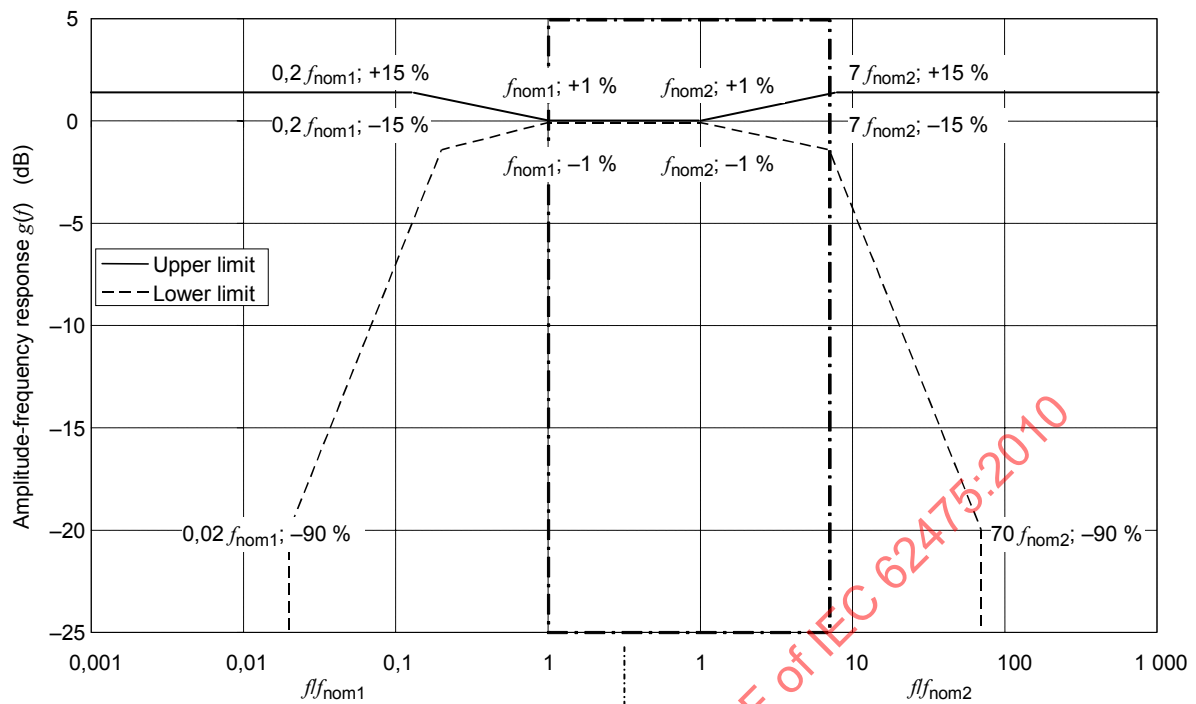


Figure 14 – Acceptable normalized amplitude-frequency response of an a.c. measuring system intended for a single fundamental frequency f_{nom}

A measuring system can also be approved for a range of fundamental frequencies. The scale factor (and consequently the amplitude-frequency response) of a measuring system shall in such case be constant within 1 % from the lowest fundamental frequency f_{nom1} up to the highest fundamental frequency f_{nom2} . The response outside the interval f_{nom1} to f_{nom2} , but inside the interval f_{nom1} to $7 f_{\text{nom2}}$ (i.e. in the frequency range up to the vertical dash-and-dot lines in Figure 15) shall appear within the upper and lower limits indicated by solid and dashed lines. The limits have been derived from the uncertainty requirements. The number pairs in the diagram give the normalized frequencies (seen in the logarithmic scale) and the corresponding permitted deviations from the ideal response at the corner points of the limit lines. The performance from f_{nom1} to $7 f_{\text{nom2}}$ shall be proven by tests or by circuit analysis. The amplitude-frequency response limits outside this range are given for information only.

The uncertainty contribution u_{dyn} due to the variation of scale factor over the frequency range f_{nom1} to f_{nom2} shall be evaluated according to 5.4.



IEC 2181/10

Figure 15 – Acceptable normalized amplitude-frequency response of an a.c. measuring system intended for a range of fundamental frequencies f_{nom1} to f_{nom2}

7.4.3.2 Direct determination of the amplitude-frequency response

To determine the dynamic behaviour, the system is subjected to a sinusoidal input of known amplitude, usually at low level, and the output is measured. This measurement is repeated for an appropriate range of frequencies.

7.4.4 Calibrations and tests on an approved measuring system

Table 3 – Required tests for steady-state alternating current

Type of test	Type test	Routine test	Performance test	Performance check
Scale factor of measuring system at the calibration			5.2	
Scale factor check				7.4.5
Extension of linearity		5.3 (if applicable)	5.3 (if applicable)	
Dynamic behaviour of the measuring system		7.4.3 and 5.4		
Short-term stability of converting device		5.5		
Long-term stability	5.6		5.6 (if applicable)	
Ambient temperature effect	5.7			
Effect of nearby current paths on the converting device	5.8 (if applicable)			
Software effect	5.9 (if applicable)			
Interference test			5.12	

Type of test	Type test	Routine test	Performance test	Performance check
Dry voltage withstand test on converting device		5.13.1 (if applicable)		
Current withstand test		–		
Scale factor of converting device		5.2		
Scale factor of transmission system other than a cable		5.2		
Scale factor of measuring instrument		5.2		
Responsibility	On components: manufacturer		On measuring system: user	
Recommended repetition rate	Once only (type and routine test)		According to stability, but at least every 5 years	According to stability, but at least annually

The compliance with requirements of the type tests can be proved by tests on a device of the same design or be derived from manufacturer's data. Routine tests shall be performed on each device. See 4.6 for details and 4.4.2 for exceptions.

7.4.5 Performance check

7.4.5.1 General

The scale factor of an approved measuring system can be checked by one of the following methods.

7.4.5.2 Check of the scale factors of the components

The scale factor(s) of each component can be checked using an internal or an external calibrator having an expanded uncertainty not exceeding 1 %. If the scale factors of individual components differ from their previous values by not more than 1 %, the previous assigned scale factor of the measuring system is taken as still valid. If any difference exceeds 1 %, then a new value of the assigned scale factor shall be determined in a performance test (see 5.2).

NOTE DC measurements of the resistance of a current-converting shunt are in general sufficient for performance checks.

7.4.5.3 Check of the scale factor of the measuring system

A comparison is made with another approved measuring system following the procedure of 5.2.1. If the difference between the two measured values is not larger than 3 %, the previous assigned scale factor is taken as still valid. If it is larger, then the assigned scale factor shall be determined in a performance test (see 5.2).

7.5 Test procedures

Test procedures are defined by the relevant technical committee or shall be based on agreement with the client.

8 Short-time direct current

8.1 Application

Test applications are considered for high-power testing with direct current. The short-time direct current is a d.c. current with limited duration (e.g. up to 1 s) as encountered for instance in high-power (short-circuit) d.c. tests. Due to current interruptions during the measurements of characteristic quantities, there may be transient phenomena, possibly

significant for the interference susceptibility of current and voltage measuring systems of a high-power laboratory.

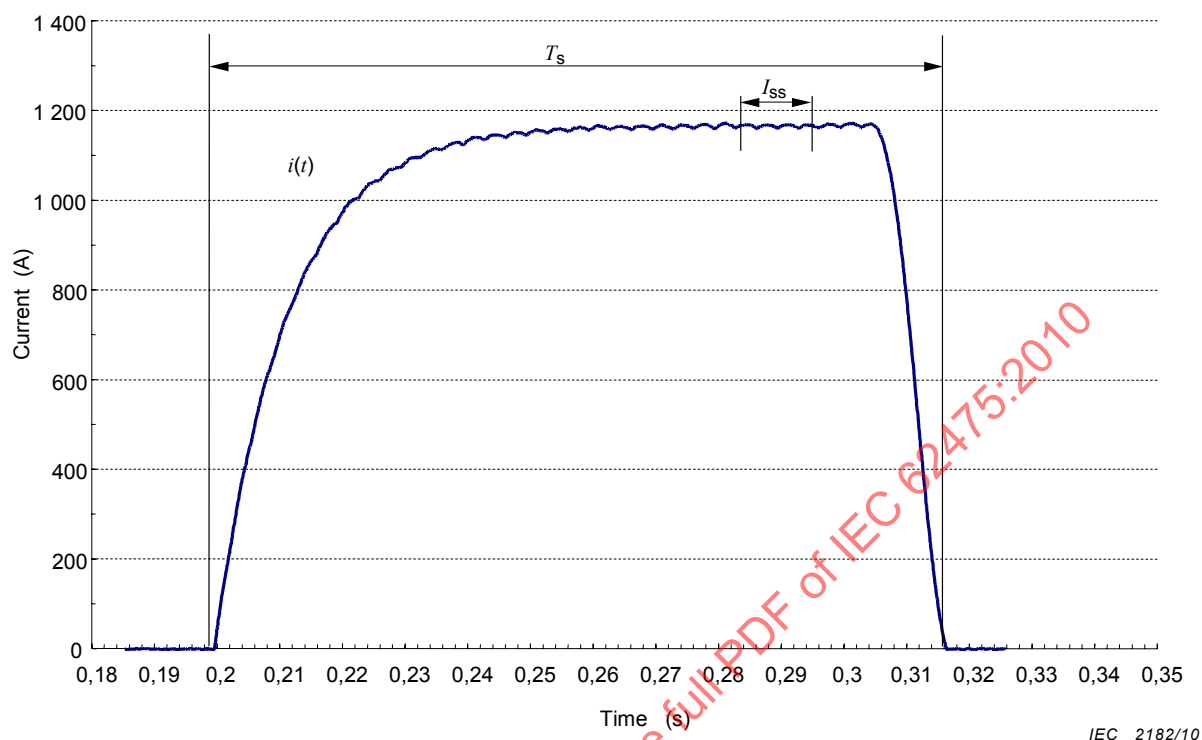


Figure 16 – Example of short-time direct current

Procedures given below for measurement of test current are applicable to both calibration and measurement.

8.2 Terms and definitions

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

8.2.1

peak value

$\hat{i}_{ss}$
maximum instantaneous magnitude of the current

8.2.2

steady-state d.c. current

I_{ss}
arithmetic mean (average) value of current at steady state, i.e. when the current is above 90 % of the peak value

8.2.3

time constant of the circuit

τ
ratio of inductance over resistance of the circuit

NOTE 1 The time constant is the time in which an exponentially rising current reaches $(1 - e^{-1})$ of its steady-state value. The time constant measured is not necessarily equal to the time constant calculated from resistance and inductance values.

NOTE 2 Inductance of the circuit can change due to saturation effects in ferromagnetic materials and due to the fact that the circuit may be different at switching on and at switching off.

8.2.4**duration**

time during which the current is above 10 % of the peak value

8.3 Test currents**8.3.1 Requirements for the test current**

The test current is in general characterized by:

- peak value; steady-state d.c. current;
- time constant of the circuit;
- duration.

8.3.2 Tolerances

Unless otherwise specified by the relevant technical committee, the tolerance requirement on the test current shall be according to Table 4.

NOTE 1 It is emphasized that the tolerance constitutes the permitted difference between the specified value and that actually measured. This difference should be distinguished from the uncertainty of a measurement.

NOTE 2 The relevant technical committee may specify other tolerance limits.

Table 4 – Tolerance requirement on test-current parameters for short-time direct current

Quantity	Tolerance %
Peak value	±5
Steady-state d.c. current	±5
Time constant	0 to +25
Duration	To be defined by the relevant technical committee

8.4 Measurement of the test current**8.4.1 Requirements for an approved measuring system**

The general requirement is to measure the peak value and the steady-state current with an expanded uncertainty U_{mes} (with a coverage probability of 95 %) of not more than 5 %, if not otherwise defined in the relevant apparatus standard.

8.4.2 Uncertainty contributions

For a short-time d.c. current measuring system, the expanded uncertainty shall be evaluated according to 5.10.3 and, if necessary, Annex A and Annex B. The individual contributions to be considered are given in Table 5. The information given here is for guidance only; other contributions can be important in some cases and shall be considered as well.

8.4.3 Dynamic behaviour**8.4.3.1 Requirements**

The measuring system shall be designed for d.c. up to the upper limit frequency f_2 . The upper –3 dB limit frequency f_2 of the amplitude-frequency response of the measuring system shall be greater than 1 kHz. The uncertainty contribution due to the frequency response is taken as zero.

8.4.3.2 Dynamic behaviour test

The amplitude-frequency response can either be determined directly or by evaluating the spectral density of the response to a pulse.

For the direct determination of the amplitude-frequency response, the system is subjected to a sinusoidal input of known amplitude, usually at low level, and the output is measured. This measurement is repeated for a range of frequencies sufficient to prove the response from d.c. up to the upper limit frequency f_2 .

For the determination of amplitude-frequency response using spectral-density function, the system is subjected to a current impulse and its input and output are measured. The input is measured using a reference measuring system having a flat response in the frequency range of interest. The impulse should have a rise time shorter than the shortest rise time for which the system under test is to be qualified. The duration of the impulse should be long enough to prove the response from d.c. up to the upper limit frequency f_2 . The amplitude-frequency response is estimated from the Fourier transform of the ratio of the test current measured by the reference measuring system and the output of the approved measuring system.

NOTE Certain converting devices have an innately stable dynamic behaviour. In such cases a dynamic test on the instrument may be sufficient.

8.4.4 Calibrations and tests on an approved measuring system

Table 5 – Required tests for short-time direct current

Type of test	Type test	Routine test	Performance test	Performance check
Scale factor of measuring system at the calibration			5.2	
Scale factor check				8.4.5
Extension of linearity		5.3 and 8.4.6 (if applicable)	5.3 and 8.4.6 (if applicable)	
Dynamic behaviour of measuring system		8.4.3	8.4.3 (if applicable)	
Short-term stability of converting device		5.5		
Long-term stability	5.6		5.6 (if applicable)	
Ambient temperature effect	5.7			
Effect of nearby current paths on converting device	5.8 (if applicable)			
Software effect	5.9 (if applicable)			
Interference test on transmission system with active elements			5.12	
Interference test on measuring system			5.12	
Wet or polluted voltage withstand test on converting device	5.13.1 (if applicable)			
Dry voltage withstand test on converting device		5.13.1 (if applicable)		
Current withstand test		5.13.2		
Scale factor of a converting device		5.2		
Scale factor of transmission system other than a cable		5.2		
Scale factor of measuring instrument		5.2		
Responsibility	On components: manufacturer		On measuring system: user	

Type of test	Type test	Routine test	Performance test	Performance check
Recommended repetition rate	Once only (type and routine test)		According to stability, but at least every 5 years	According to stability, but at least annually

The compliance with requirements of the type tests can be proved by tests on a device of the same design or be derived from manufacturer's data. Routine tests shall be performed on each device. See 4.6 for details and 4.4.2 for exceptions.

8.4.5 Performance check

8.4.5.1 General

The scale factor of an approved measuring system can be checked by one of the following methods.

8.4.5.2 Check of the scale factors of the components

The scale factor(s) of each component can be checked using an internal or an external calibrator having an expanded uncertainty not exceeding 1 %. If the scale factors of individual components differ from their previous values by not more than 1 %, the previous assigned scale factor of the measuring system is taken as still valid. If any difference exceeds 1 %, then a new value of the assigned scale factor shall be determined in a performance test (see 5.3).

NOTE DC measurement of the resistance of a current-converting shunt is in general sufficient for performance checks.

8.4.5.3 Check of the scale factor of the measuring system

A comparison is made with another approved measuring system following the procedure of 5.3.2. If the difference between the two measured values is not larger than 3 %, the previous assigned scale factor is taken as still valid. If it is larger, then the assigned scale factor shall be determined in a performance test (see 5.3).

8.4.6 Linearity test

The linearity test can be performed either with short-time d.c. current or with asymmetrical power-frequency current with a peak factor of approximately 2. The procedures of 5.3 shall be followed.

The value to be determined is the peak value of the first peak. The linearity test is required for one polarity only.

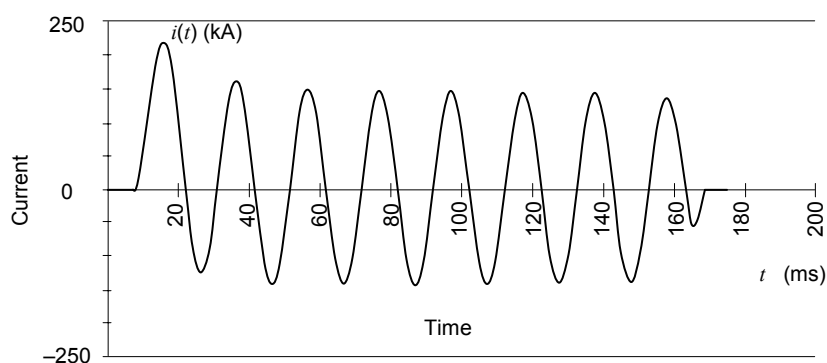
8.5 Test procedures

Test procedures are defined by the relevant technical committee.

9 Short-time alternating current

9.1 Application

Test applications are considered for high-power testing. Short-time alternating current is an a.c. current with limited duration (e.g. up to 5 s), with or without transient d.c. component, i.e. asymmetrical or symmetrical current. Due to current interruptions during the measurement of characteristic quantities, there may also be transient phenomena, possibly significant for the interference susceptibility of current measuring systems.



IEC 2183/10

Figure 17 – Example of short-time alternating current

Procedures given below for measurement of test current are applicable to both calibration and measurement.

9.2 Terms and definitions

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

9.2.1

peak value

$\hat{i}$

maximum instantaneous magnitude of the current

9.2.2

true r.m.s. value of an event

I_{rms}

value obtained from:

$$I_{\text{rms}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2(t) dt}$$

where

0 is the time instant ($t = 0$) when the current first deviates from zero;

T is the time taken until the current last deviates from zero;

$i(t)$ is the instantaneous value of the current.

NOTE 1 The true r.m.s. value of an event can in general be calculated from a digitised record of any event limited in time, provided a sufficient number of samples have been taken.

NOTE 2 The true r.m.s. value of an event takes into account the contribution from the d.c. component as well.

9.2.3

symmetrical a.c. component

true r.m.s. value of the current after any component has decayed

9.2.4

peak factor

ratio of the maximum absolute value of an alternating quantity to its root-mean-square value

9.2.5 impedance angle

φ

defined as $\varphi = \arctan \frac{X}{R} = \arctan \frac{\omega L}{R}$

where

ω is the angular frequency of the supply;

L is the inductance;

R is the resistance of the equivalent circuit of the short-time alternating current.

The impedance angle is often characterized by the value of $\cos \varphi$ and named “power factor”.

NOTE 1 Impedance angle is a characteristic of the test circuit itself.

NOTE 2 Methods to determine impedance angle may be given in product standards. A general procedure is given in Annex G.

9.3 Test current

9.3.1 Requirements for the test current

The test current is in general characterized by:

- peak value;
- symmetrical a.c. component;
- frequency;
- power factor ($\cos \varphi$) of the circuit (see Annex G);
- duration.

For certain applications, other parameters can be considered, for example the Joule integral:

$$I_{\text{rms}}^2 \times T = \int_0^T i^2(t) dt$$

NOTE Practical procedures for determination of r.m.s. values are provided in Annex G.

9.3.2 Tolerances

Unless otherwise specified by the relevant technical committee, the tolerance requirement on the test current shall be according to Table 6.

Table 6 – Tolerance requirements on the short-time alternating current test parameters

Quantity	Tolerance %
Peak value	±5
Symmetrical a.c. component	±5
$\cos \varphi$	±0,05
Frequency	±5
Duration	To be defined by the relevant technical committee

NOTE 1 It is emphasized that the tolerance constitutes the permitted difference between the specified value and that actually measured. This difference should be distinguished from the uncertainty of a measurement.

NOTE 2 The relevant technical committee may specify other tolerance limits.

9.4 Measurement of the test current

9.4.1 Requirements for an approved measuring system

The general requirement is to measure the peak value and the symmetrical a.c. component, within the assigned measurement range given in the record of performance, with an expanded uncertainty U_{mes} (with a coverage probability of 95 %) not more than 5 %, if not otherwise defined in the relevant apparatus standard.

NOTE 1 The impedance angle, expressed as $\cos \varphi$, should be measured with an expanded uncertainty of not more than 0,05. However, the uncertainty of the measurement may be influenced by other measuring systems used for this determination.

NOTE 2 In systems using current transformers with iron as converting devices, special attention should be paid to the possible effects of the core saturation caused by successive asymmetrical test currents.

9.4.2 Uncertainty contributions

For a short-time a.c. current measuring system, the expanded uncertainty shall be evaluated according to 5.10.3 and, if necessary, Annex A and Annex B. The individual contributions to be considered are given in Table 9. The information given here is for guidance only; other contributions can be important in some cases and shall be considered as well.

9.4.3 Dynamic behaviour

9.4.3.1 Requirements

Requirements on dynamic behaviour depend on the type of test performed. In each case, the measuring system must be characterized by a minimum and a maximum frequency at which the requirements of 9.4.1 are fulfilled. Table 7 gives a listing of typical tests and the corresponding requirements. The procedures of 5.4 shall be followed.

Table 7 – List of typical tests in a high-power laboratory and required minimum frequency range of the measuring system

Type of tests	Fundamental frequency of the current	Required frequency range	Comments
Peak withstand and short-time withstand current tests	Power frequency	0,2 Hz to 7 times the fundamental frequency of test current	DC component shall be measured as well
Making and breaking tests	Power frequency	0,2 Hz to 7 times the fundamental frequency of test current	Normally no chopping
Shunt-reactor switching tests	Power frequency	0,2 Hz to 7 times the fundamental frequency of test current	Multiple-restrike current test, current measurement not required for test evaluation
Capacitive-current switching tests	Power frequency but current chopping, and 4250 Hz at making during back-to-back testing	DC to 8 500 Hz	Current is naturally sinusoidal
Synthetic tests	Within 250 Hz to 1 000 Hz	0,2 to 7 times the fundamental frequency of test current	Injection current during synthetic tests: current is naturally sinusoidal
Current-limiting fuse tests	Power frequency with cut-off current	20 Hz to 5 000 Hz	Measurement of cut-off current

Table 8 – Tolerance requirements on scale factor

At fundamental frequency	At lower end of frequency range %	At upper end of frequency range %
See 5.2	±15	±15

In general, a measuring system that fulfils the above requirements on the scale factor is considered to fulfil 9.4.1 and the uncertainty contribution u_{dyn} due to its frequency response is considered negligible. See 4.6 for details and 4.4.2 for exceptions.

9.4.3.2 Direct determination of amplitude-frequency response

In order to determine the dynamic behaviour, the system is subjected to a sinusoidal input of known amplitude, usually at low level, and the output is measured. This measurement is repeated for an appropriate range of frequencies.

9.4.3.3 Determination of amplitude-frequency response using spectral density function

The system is subjected to a current impulse and its input and output are measured. The input is measured using a reference measuring system having a flat response in the frequency range of interest. The impulse should have a rise time shorter than the shortest rise time for which the system under test is to be qualified. The total duration of the impulse should be relevant to the type of current for which the system under test is to be qualified. The amplitude-frequency response is estimated from the ratio of the input (measured by the good/reference system) and output signals.

9.4.3.4 Estimation of uncertainties using convolution techniques

The uncertainties of a measuring system caused by the time response of the measuring system may be estimated from a step response, using convolution techniques (see Annex D).

9.4.4 Calibrations and tests on an approved measuring system

Table 9 – Required tests for short-time alternating current

Type of test	Type test	Routine test	Performance test	Performance check
Scale factor of measuring system at the calibration			5.2	
Scale factor check				9.4.5
Extension of linearity		5.3 and 9.4.6 (if applicable)	5.3 and 9.4.6 (if applicable)	
Dynamic behaviour of measuring system		9.4.3 (if applicable)		
Short-term stability of converting device		5.5		
Long-term stability	5.6		5.6 (if applicable)	
Ambient temperature effect	5.7			
Effect of nearby current paths on converting device	5.8 (if applicable)			
Software effect	5.9 (if applicable)			
Interference test on transmission system with active elements; interference ratio			5.12	
Interference test on measuring system; interference ratio			5.12	

Type of test	Type test	Routine test	Performance test	Performance check
Dry voltage withstand test on converting device		5.13.1 (if applicable)		
Current withstand test		5.13.2		
Scale factor of converting device		5.2		
Scale factor of transmission system other than a cable		5.2		
Scale factor of measuring instrument		5.2		
Responsibility	On components: manufacturer		On measuring system: user	
Recommended repetition rate	Once only (type and routine test)		According to stability, but at least every 5 years	According to stability, but at least annually

Compliance with requirements of the type tests can be proved by tests on a device of the same design or be derived from manufacturer's data. Routine tests shall be performed on each device. See 4.6 for details and 4.4.2 for exceptions.

9.4.5 Performance check

9.4.5.1 General

The scale factor of an approved measuring system can be checked by one of the following methods.

9.4.5.2 Check of the scale factors of the components

The scale factor(s) of each component can be checked using an internal or an external calibrator having an expanded uncertainty not exceeding 1 %. If the scale factors of individual components differ from their previous values by not more than 1 %, the assigned scale factor of the measuring system is taken as still valid. If any difference exceeds 1 %, then a new value of the assigned scale factor shall be determined in a performance test (see 5.2).

NOTE DC measurements of the resistance of a current-converting shunt are in general sufficient for performance checks.

9.4.5.3 Check of the scale factor of the measuring system

A comparison is made with another approved measuring system following the procedure of 5.2.1. If the difference between the two measured values is not larger than 3 %, the assigned scale factor is taken as still valid. If it is larger, then the assigned scale factor shall be determined in a performance test (see 5.2).

NOTE An intercomparison between two measuring systems measuring the same current can often be arranged using two phases of a three-phase circuit connected in series.

9.4.6 Linearity test

The linearity test shall be performed with an asymmetrical power-frequency current with a peak factor of 2,8 (or the maximum peak factor valid for the test circuit). The procedures of 5.3 shall be followed.

The value to be determined is the peak value of the first peak. The test is required for both polarities of the d.c. component.

NOTE 1 Due to saturation phenomena in certain converting devices, such as current transformers with iron, it may be necessary to change polarity of the d.c. component in subsequent applications of current.

NOTE 2 The offset in a measuring system can be identified by tests at two polarities.

9.4.7 Interference test

Interference test and requirements are described in 5.11.

Systems used only for measurements of power-frequency currents, shall have the interference test carried out at power frequency.

Systems used also at frequencies other than power frequency, additional interference tests in the frequency range of the test current are advised.

9.5 Test procedures

Test procedures are defined by the relevant technical committee or shall to be based on agreement with the client.

10 Impulse currents

10.1 Application

Test applications are considered for impulse-current withstand tests, e.g. for arrester testing, EMC testing, and lightning-impulse-current withstand tests. See Figure 18 through Figure 21.

Procedures given below for measurement of test current are applicable to both calibration and measurement.

NOTE In impulse-voltage tests, the resolution and reproducibility of the shape of the current through the test object may be of high importance. For these cases, see Clause 11.

10.2 Terms and definitions

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

10.2.1

exponential impulse current

current that increases from zero to the peak value in a short time, and thereafter decreases to zero either approximately exponentially or in the manner of a heavily-damped sine curve and is defined by the front time T_1 (see 10.2.4) and the time to half-value T_2 (see 10.2.6), generally denoted as T_1/T_2 impulse current (See Figure 18)

NOTE Other impulses are also used in testing, e.g. switched-in sine waves and ring-waves.

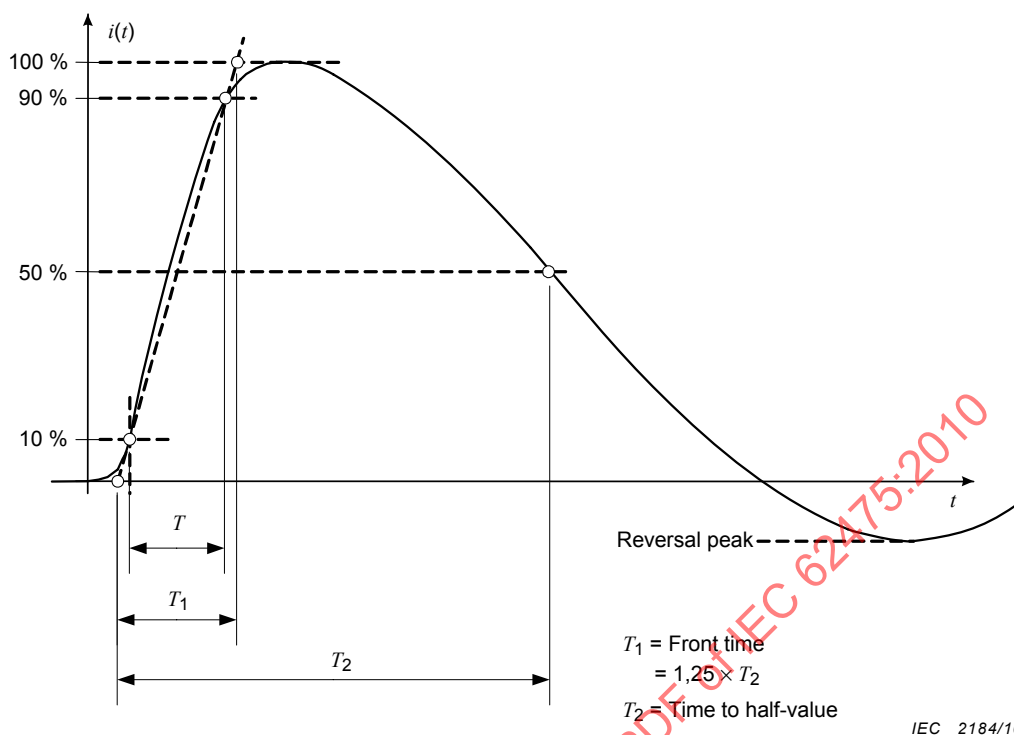


Figure 18 – Exponential impulse current

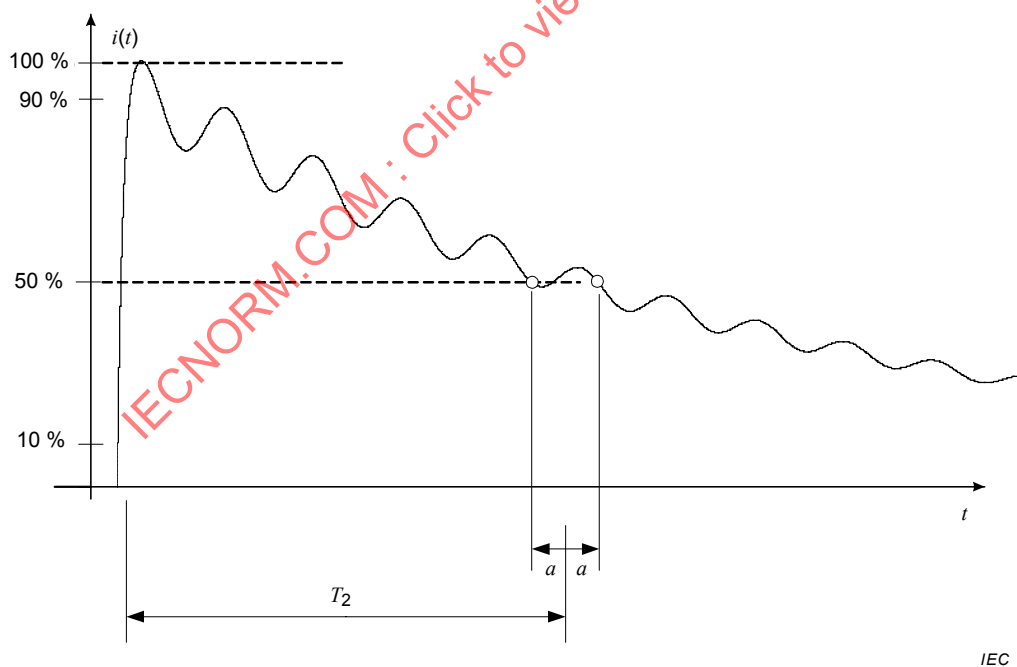


Figure 19 – Exponential impulse current – Oscillating tail

10.2.2**rectangular impulse current**

current with an approximately rectangular shape and is defined by the duration T_d of the peak (see 10.2.7) and the total duration T_t (see 10.2.8) and is generally denoted as T_d/T_t impulse currents (See Figure 20)

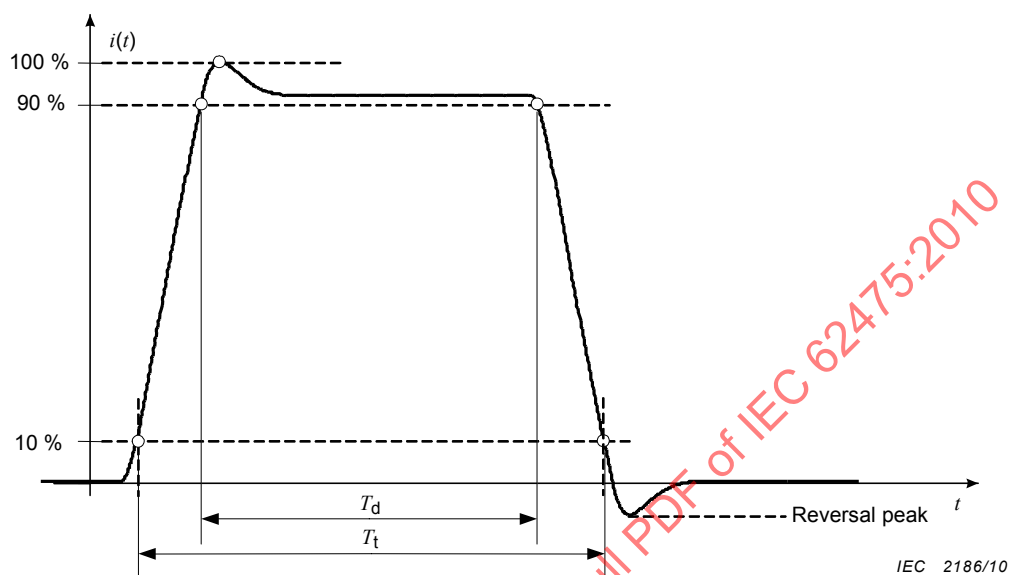


Figure 20 – Impulse current – Rectangular, smooth

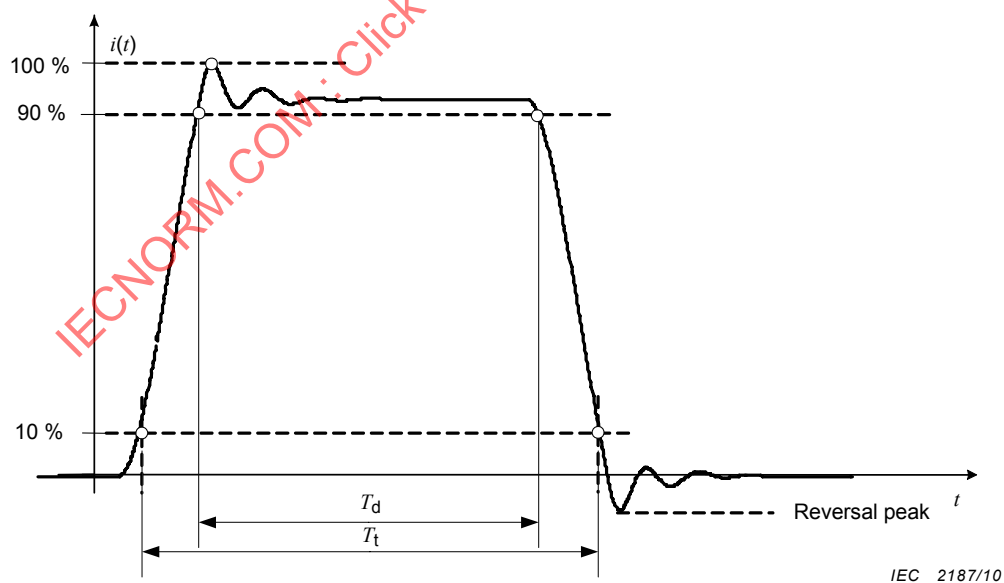


Figure 21 – Impulse current – Rectangular with oscillations

10.2.3**value of the impulse current**

peak value of the test current

NOTE With some test circuits, overshoot or oscillations may be present on the current waveform. In such cases, the peak is determined by the extreme value of the current, unless the relevant technical committee has specified another procedure, e.g. to draw a smooth curve through the oscillations.

10.2.4

front time

T_1

virtual parameter of an exponential impulse current defined as 1,25 times the interval T , between the instants when the impulse is 10 % and 90 % of the peak value (see Figure 18)

10.2.5

virtual origin

O_1

that instant of an exponential preceded by $0,1T_1$ at which the current attains 10 % of its peak value, where for records having linear time scales, this is the intersection with the time axis of a straight line drawn through the 10 % and 90 % reference points on the front

10.2.6

time to half-value

T_2

virtual parameter of an exponential impulse current defined as the time interval between the virtual origin O_1 and the instant at which the current has decreased to half the peak value (see Figure 18), and where, if there are oscillations present on the tail, T_2 is taken as the time average of the first and the last instances when the current has decreased to half the peak value (see Figure 19)

10.2.7

duration

T_d

time during which the rectangular impulse current is higher than 90 % of its peak value (see Figure 20 and Figure 21) and where, if there are oscillations present, T_d is taken as the longest time in which the current is consistently higher than 90 % of its peak value

10.2.8

total duration

T_t

virtual parameter defined as the time during which the rectangular impulse current is higher than 10 % of its peak value (see Figure 20 and Figure 21)

NOTE If small oscillations are present on the front, a mean curve should be drawn in order to determine the time at which the 10 % value is reached.

10.2.9

nominal epoch (front part of impulse only)

τ_N

range of values between the minimum ($t_{\min}$) and the maximum ($t_{\max}$) of the relevant time parameter of impulses for which the measuring system is to be approved.

NOTE 1 The relevant time parameter is:

- the range of front time T_1 for exponential impulse current;
- the range of half the difference between T_t and T_d for rectangular impulse current.

NOTE 2 A measuring system may have one, two or more nominal epochs for different waveforms.

NOTE 3 For rectangular impulse current, the nominal epoch should be taken as

$$t_{\min} = \min\left(\frac{T_t - T_d}{2}\right) \text{ and } t_{\max} = \max\left(\frac{T_t - T_d}{2}\right)$$

10.2.10**charge of an impulse current** Q

time integral of the absolute value of the instantaneous current:

$$Q = \int_0^{\infty} |i(t)| dt$$

NOTE 1 For practical reasons, the upper limit of the integral should be chosen in a way that the residual contribution is lower than a specified value given by the relevant technical committee.

NOTE 2 The absolute value of the current is applicable for such cases, where arc-footing points with a substantially constant voltage drop are concerned.

10.2.11**Joule integral of an impulse current** I^2t

time integral of the square of the instantaneous current:

$$I^2t = \int_0^{\infty} i^2(t) dt$$

NOTE For practical reasons, the upper limit of the integral should be chosen in a way that the residual contribution is lower than a specified value given by the relevant technical committee.

10.3 Test current**10.3.1 General**

In testing, different standard impulse currents are used. Examples of exponential impulse-currents are given in Table 10, and more examples are given in Annex H. Other wave shapes may be specified by the relevant IEC technical committees.

NOTE Future work is being considered in order to reduce the number of different wave shapes.

Table 10 – Examples of exponential impulse-current types

Impulse type	Front time T_1 , μs	Time to half value T_2 , μs	Tolerances for time parameters
1 / ≤ 20	1	≤ 20	$T_1 \pm 10 \%$ $T_2 \leq 20 \mu\text{s}$
8/20	8	20	$T_1 \pm 20 \%$ $T_2 \pm 20 \%$
10/350	10	350	$T_1 \pm 30 \%$ $T_2 \pm 20 \%$

10.3.2 Tolerances**10.3.2.1 Exponential impulse current**

If not otherwise specified by the relevant technical committee, the following tolerances for the specified values for exponential impulse currents are as follows:

- charge 0 %, upper limit specified by the relevant technical committee;

- Joule integral 0 %, upper limit specified by the relevant technical committee;
- value of the test current ± 10 %;
- front time T_1 ± 20 %;
- time to half-value T_2 ± 20 %.

NOTE 1 These tolerances are for certain impulse types difficult to achieve with only linear elements due to physical limitations (e.g. 4/10 and 8/20 impulses, see Annex E). The relevant technical committee may specify more details or may change the tolerances.

NOTE 2 In cases where the charge or specific energy is important for the test, the tolerance for T_2 may be ± 50 %.

Any polarity reversal peak after the test current has passed zero shall not be more than 30 % of the value of the impulse current, i.e. the peak value unless otherwise specified by the relevant technical committee.

10.3.2.2 Rectangular impulse current

- charge 0 %, upper limit specified by the relevant technical committee;
- Joule integral 0 %, upper limit specified by the relevant technical committee;
- peak value 0 %, +20 %;
- duration T_d of the peak 0 %, +20 %;
- total duration T_t $< 1,5 T_d$.

The polarity reversal peak after the test current has passed zero should not be more than 10 % of the value of the impulse current, i.e. the peak value.

10.4 Measurement of the test current

10.4.1 Requirements for an approved measuring system

The general requirements are as follows:

- to measure the value of the impulse current, i.e. the peak value with an expanded uncertainty U_{mes} (with a coverage probability of 95 %) of not more than 3 %;
- to measure the time parameters (which define the waveform) with an expanded uncertainty (with a coverage probability of 95 %) of not more than 10 %;
- to exhibit low enough output offset to permit calculation of the charge of an impulse current and the Joule integral.

10.4.2 Uncertainty contributions

For an impulse-current measuring system, the expanded uncertainty shall be evaluated according to 5.10.3 and, if necessary, Annex A and Annex B. The individual contributions to be considered are given in Table 11. The information given here is for guidance only; other contributions can be important in some cases and shall be considered as well.

10.4.3 Dynamic behaviour

10.4.3.1 Requirements

The dynamic behaviour of a measuring system is adequate for its range of waveforms specified in the record of performance if:

- the scale factor is constant within 1 % over each range of waveforms;
- the expanded uncertainty of the measured time parameters plus their errors is not more than 10 %.

The dynamic behaviour of the measuring system shall be determined for the nominal epoch by using impulses with two different waveforms such that:

- $t_{\min}$ is equal to the shortest time parameter within the nominal epoch (see 10.2.9);
- $t_{\max}$ is equal to the longest time parameter within the nominal epoch (see 10.2.9).

The time to half-value (total duration if the waveform is rectangular) should approximate the longest time for which the measuring system is to be approved.

The uncertainty contribution u_{dyn} due to variation of scale factor over the nominal epoch shall be evaluated according to 5.4.

10.4.3.2 Comparison with a reference measuring system (preferred method)

The same records as taken in the test of 5.2.1 may be used and the relevant time parameters of the measured impulses are evaluated for each system. The errors of time parameters measured by the system under calibration shall be evaluated. The uncertainty of the error shall also be evaluated, considering both uncertainty of reference measuring system and uncertainties due to the calibration process.

NOTE If an approval is sought for a group of impulse types, $t_{\min}$ may be chosen from one impulse type and $t_{\max}$ from another. In such cases, the longest time to half-value of all the impulse types should be used.

10.4.3.3 Alternative method based on convolution

The scale factor of the measuring system is established by any suitable method. The wave shape used to determine the scale factor shall be within the range covered by the convolution method described below.

The dynamic behaviour is determined from a step-response measurement on the measuring system and from convolution of the recorded step response with the nominal waveforms for which approval is sought. From the convolution, the errors introduced by the measuring system for different wave shapes can be estimated and from these errors the uncertainty of measurement may be evaluated. The change in scale factor over the nominal epoch shall be within 1 %. The step response shall be recorded in accordance with 10.4.3.6. See also Annex C and Annex D.

10.4.3.4 Component-based calibration

The scale factors of the components of the measuring system are established by any suitable method. The wave shape used to determine the scale factor shall be within the range covered by the convolution method described below.

The dynamic behaviour is determined from step-response measurements on the components and from convolution of the recorded step responses with each other and with the nominal waveforms for which approval is sought. From the convolution, the errors introduced by the component investigated, for different wave shapes can be estimated and from these errors the uncertainty of measurement may be evaluated. The change in scale factor of the complete measuring system over the nominal epoch shall be within 1 %. The step response shall be recorded in accordance with 10.4.3.6. See Annex D for further information on convolution.

10.4.3.5 Reference record (optional)

When wanted for use in performance checks, the step response of the measuring system shall be recorded using the method of 10.4.3.6. The step response shall be included in the record of performance as a reference record ("fingerprint") to permit detection of changes in the dynamic behaviour at subsequent performance checks (see 10.4.5).

10.4.3.6 Step-response record

The system is subjected to a current impulse and its input and output are measured. The input is measured by a reference measuring system having a flat response for the frequency range of interest. The impulse should have a rise time shorter than the shortest rise time $t_{\min}$ (see 10.2.9) for which the system under test is to be qualified. The total time of the impulse should be relevant to the type of impulse for which the system under test is to be qualified.

10.4.4 Calibrations and tests on an approved measuring system

Table 11 – Required tests for impulse current

Type of test	Type test	Routine test	Performance test	Performance check
Scale factor of measuring system at the calibration			5.2	
Scale factor check				10.4.5
Extension of linearity		5.3 (if applicable)	5.3 (if applicable)	
Dynamic behaviour of measuring system	10.4.3 (if applicable)		10.4.3 (if applicable)	10.4.5.4 (if applicable)
Short-term stability of converting device		5.5		
Long-term stability	5.6		5.6 (if applicable)	
Ambient temperature effect	5.7			
Effect of nearby current paths on converting device	5.8 (if applicable)			
Software effect	5.9 (if applicable)			
Interference test on transmission system with active elements; interference ratio			5.12	
Interference test on measuring system; interference ratio			5.12	
Dry voltage withstand test on the converting device		5.13.1 (if applicable)		
Current withstand test		5.13.2		
Scale factor of converting device		5.2		
Scale factor of transmission system other than a cable		5.2		
Scale factor of measuring instrument		5.2		
Responsibility	On components: manufacturer		On measuring system: user	
Recommended repetition rate	Once only (type and routine test)		According to stability, but at least every 5 years	According to stability, but at least annually

The compliance with requirements of the type tests can be proved by tests on a device of the same design or be derived from manufacturer's data. Routine tests shall be performed on each device. See 4.6 for details and 4.4.2 for exceptions.

10.4.5 Performance check

10.4.5.1 General

The scale factor of an approved measuring system can be checked by one of the following methods.

10.4.5.2 Check of the scale factor of the measuring system

A comparison shall be made with another approved measuring system according to the procedure of 5.2.1. If the difference between the two measured values of current is not larger than 3 %, the assigned scale factor is taken as still valid. If it is larger, then the assigned scale factor shall be determined in a performance test.

10.4.5.3 Check of the scale factors of the components

The scale factor(s) of each component can be checked using an internal or an external calibrator having an expanded uncertainty not exceeding 1 %. Impulse calibrators for calibration of impulse measuring instruments shall have an expanded uncertainty of not more than 1,5 %. If the scale factors of individual components differ from their previous values by not more than 1 %, the assigned scale factor of the measuring system is taken as still valid. If any difference exceeds 1 %, then a new value of the assigned scale factor shall be determined in a performance test.

10.4.5.4 Dynamic behaviour check

The dynamic behaviour should be checked by comparison with another approved measuring system (or reference measuring system) using the procedure of 10.4.3.2.

Alternatively, a check should be made with step-response measurements where in each check, the step response shall be recorded in the same manner and in the same circuit as were used to obtain the reference record (see 10.4.3.5). The step-response record shall be compared with those from previous checks. Small variations can be expected from check to check and the extent of acceptable variations shall be established by the early checks. Any large difference shall be investigated and a performance test shall then be made.

10.5 Test procedures

Test procedures shall be defined by the relevant technical committee or shall be based on agreement with the client.

11 Current measurement in high-voltage dielectric testing

11.1 Application

In high-voltage dielectric testing, the impulse-current measuring systems are used for detection of insulation breakdown during lightning-impulse voltage tests, for example on transformers and reactors. The current measuring system is usually connected to the neutral terminal of the transformer (or reactor) and/or to a terminal not subjected to the impulse voltage. The main objective is to verify that the impulse current varies linearly with the applied test voltage, thus providing proof that no internal breakdown has occurred. No requirement is posed on determination of actual current values.

NOTE In impulse-voltage tests, the resolution and reproducibility of the shape of the current through the test object may be of high importance. In these cases, the requirements on the parameters to be measured should be stated by the relevant technical committee.

In the high-voltage test, the time parameters of the recorded current will depend on the complex impedance of the test object (e.g. transformer or reactor) and on reflections in the often, long windings. No à priori knowledge of the wave shape can be postulated. It can, however, in general be assumed that the fastest rise time will be of the same order of magnitude as the rise time of the applied test voltage. As a conventional estimate, the fastest impulse front to be recorded can be assumed to be 0,3 µs.

11.2 Terms and definitions

Not applicable.

11.3 Measurement of the test current

11.3.1 Requirements for an approved measuring system

General requirements:

- the scale factor shall not change by more than 1 % between two test impulses with the same shape but with amplitudes different up to a factor of 2, as encountered during one test sequence;
- the dynamic behaviour shall be sufficient to reproduce a current impulse with a front time of 0,3 μ s.

11.3.2 Uncertainty contributions

The evaluation of uncertainty shall take into account the short-term stability and linearity of the current measuring system.

11.3.3 Dynamic behaviour

The dynamic behaviour of the current measuring system shall be adequate for the range of waveforms that can be encountered in high-voltage dielectric testing. Presumption of conformance to this requirement can be based on the fulfilment of requirements of Clause 10 as regards measuring systems used for the impulse current 1/20.

11.3.4 Calibrations and tests on an approved measuring system

Table 12 – Required tests for impulse current in high-voltage dielectric testing

Type of test	Type test	Routine test	Performance test	Performance check
Scale factor of measuring system			Not applicable	
Scale factor check				10.4.5
Extension of linearity		5.3 (if applicable)	5.3 (if applicable)	
Dynamic behaviour of measuring system	10.4.3 (if applicable)		10.4.3 (if applicable)	10.4.5.4 (if applicable)
Short-term stability of converting device		5.5		
Long-term stability				
Ambient temperature effect				
Effect of nearby current paths on converting device				
Software effect	5.9 (if applicable)			
Interference test on transmission system with active elements; interference ratio			5.12	
Interference test on measuring system; interference ratio			5.12	
Dry voltage withstand test on the converting device		5.13.1 (if applicable)		
Current withstand test		5.13.2		
Scale factor of converting device		5.2		
Scale factor of transmission system other than a cable		5.2		
Scale factor of measuring instrument		5.2		
Responsibility	On components: manufacturer		On measuring system: user	

Type of test	Type test	Routine test	Performance test	Performance check
Recommended repetition rate	Once only (type and routine test)		According to stability, but at least every 5 years	According to stability, but at least annually

The compliance with requirements of the type tests can be proved by tests on a device of the same design or be derived from manufacturer's data. Routine tests shall be performed on each device. See 4.6 for details and 4.4.2 for exceptions.

11.3.5 Performance check

The performance check on measuring systems intended for measurement of impulse current in high-voltage dielectric testing is related to the short-term stability and to dynamic behaviour.

Presumption of fulfilment of requirements can however be shown by a check on the scale factor of the measuring system in accordance with the requirements given in 10.4.5.

11.3.6 Linearity test

See 5.3.

11.3.7 Interference test

Interference test and requirements are described in 5.12.

11.4 Test procedures

Test procedures are defined by the relevant technical committee or shall be based on agreement with the client.

12 Reference measuring systems

12.1 General

A reference measuring system shall have an uncertainty sufficiently low to permit the required uncertainties in calibration of approved measuring systems to be reached. It shall also be traceable to national and/or international standards of measurements through an unbroken chain of comparative measurements all having stated uncertainties.

12.2 Interval between subsequent calibrations of reference measuring systems

In the absence of evidence to the contrary, the calibrations of a reference measuring system should be repeated once a year, but at least once every five years.

It is recommended that reference measuring systems be used only for comparative measurements in performance tests. However, reference measuring systems may be used for other measurements, including routine daily use, if it is shown that such use does not affect their performance. (The performance checks specified in this standard are sufficient to verify this.) In addition, the substitution of an equivalent measuring instrument, which satisfies the relevant IEC standard, shall be accepted.

Annex A (informative)

Uncertainty of measurement

A.1 General

Clause 5 describes a simplified procedure to evaluate uncertainty of measurement under conditions usually applicable and fully sufficient in high-current testing. In some cases it may, however, be necessary or desirable to evaluate uncertainties in a more complex manner. Annex A gives a survey on how to proceed in these cases.

Every measurement of a quantity is to some degree imperfect and the result of a measurement is only an approximation (“estimate”) of the “true” (generally unknowable) value of the measurand. The uncertainty of measurement gives a clear statement on the quality of a measurement. It enables the user to compare and weight the measurement results, e.g. obtained from different laboratories, and it gives information whether or not a measurement result is within the limits specified by a standard. ISO/IEC Guide 98-3 is the internationally accepted standard for estimation of measurement uncertainty.

ISO/IEC Guide 98-3 provides general rules for evaluating and expressing uncertainty in a broad spectrum of measurements at various levels of uncertainty. It is therefore necessary to extract from the ISO/IEC Guide 98-3 a set of clear-cut rules that deals with the specific field of high-current measurement and its level of accuracy and complexity. Corresponding to the basic principles of the ISO/IEC 98-3, uncertainties are grouped into two categories according to their methods of evaluation (type A and type B). Both methods are based on probability distributions of the quantities influencing the measurement and on standard uncertainties quantified by variances or standard deviations. This allows a uniform treatment of both categories of uncertainties and evaluation of a combined standard uncertainty of the measurand. Within the scope of this standard an expanded uncertainty corresponding to a coverage probability of approximately 95 % is required.

The basic principles of the ISO/IEC Guide 93 and examples of determination of uncertainties in high-current measurements are presented below in a simplified version. The equations and examples given here are valid for uncorrelated input quantities, which is often the case in high-current measurements.

A.2 Terms and definitions in addition to 3.6

A.2.1

measurable quantity

attribute of a phenomenon, body or substance that may be distinguished qualitatively and determined quantitatively

A.2.2

value of a quantity

magnitude of a specific quantity generally expressed as unit of measurement multiplied by a number

A.2.3

measurand

specific quantity subject to measurement

A.2.4**variance** s^2

expectation of the square of the deviation of a random variable about its expectation

A.2.5**correlation**

relationship between two or several random variables within a distribution of two or more random variables

A.2.6**coverage probability**

fraction, usually large, of the distribution of values that as a result of a measurement could reasonably be attributed to the measurand

A.2.7**type A evaluation** (of standard uncertainty)

method of evaluation of a standard uncertainty by the statistical analysis of series of observations

A.2.8**type B evaluation** (of standard uncertainty)

method of evaluation of a standard uncertainty by means other than the statistical analysis of series of observations

A.3 Model function

Every measurement can be described by a functional relationship f :

$$Y = f(X_1, X_2, \dots, X_i, \dots, X_N) \quad (\text{A.1})$$

where Y is the output quantity (measurand), which depends on N measurable input quantities X_i . In the meaning of the ISO/IEC Guide 98-3, the model function, f , comprises all measurement values, influence quantities, corrections, correction factors, physical constants, and any other data that can contribute a significant amount to the value of Y and its uncertainty. It may exist as a single or manifold analytical or numerical expression or a combination of both. In general the values of X_i cannot be exactly known due to random variations in the influence quantities (random effects) and are thus denoted as input estimates x_i having specific probability distributions of the possible values and being associated with standard uncertainties $u(x_i)$ of type A or type B. The combination of both types of uncertainty according to the rules of the ISO/IEC Guide 98-3 yields the standard uncertainty $u(y)$ of the output estimate y .

NOTE 1 The model function f in Equation (A.1) is also valid for the input and output estimates x_i and y , respectively.

NOTE 2 In a series of observations, the k^{th} observed value of the input quantity X or X_i is denoted by X_k or $X_{i,k}$ and the corresponding input estimate by x_k or $x_{i,k}$, respectively.

A.4 Type A evaluation of standard uncertainty

The evaluation method of type A is applied to quantities that vary randomly and for which n independent observations x_k have been obtained under the same conditions of measurement. In general, a normal (Gaussian) probability distribution $p(x)$ of the n observations of a random variable x can be assumed (Figure A.1). The arithmetic mean (average) of the estimates x_k of a series of observations of the input quantity X_k is defined by:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n x_k \quad (\text{A.2})$$

and is considered the best estimate of X . Its standard uncertainty of type A is equal to the experimental standard deviation of the mean $s(\bar{x})$:

$$u(\bar{x}) = s(\bar{x}) = \frac{s(x_k)}{\sqrt{n}} \quad (\text{A.3})$$

where $s(x_k)$ is the sample or experimental standard deviation (of the individual values):

$$s(x_k) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^n (x_k - \bar{x})^2} \quad (\text{A.4})$$

The quadratic values $s^2(x_k)$ and $s^2(\bar{x})$ are called the sample variance and the variance of the mean, respectively. The number of observations should be $n \geq 10$ otherwise the reliability of a type A evaluation of standard uncertainty has to be checked by means of the effective degrees of freedom (see Clause A.8).

NOTE In some cases, a pooled (combined) estimate of variance s_p^2 may be available from a large number of previous observations under well-characterized conditions. Then the standard uncertainty of a comparable measurement with a small number n ($n = 1, 2, 3, \dots$) is estimated better by $u(\bar{x}) = s_p / \sqrt{n}$ than by Equation (A.3).

A.5 Type B evaluation of standard uncertainty

The evaluation method of type B applies to all cases other than the statistical analysis of a series of observations. The standard uncertainty of type B is evaluated by scientific judgment based on all available information on the possible variability of an input quantity X_i such as:

- method of evaluating the quantities;
- uncertainty of calibration of the measuring system and its components;
- non-linearity of current-converting devices and measuring instruments;
- short-term stability, e.g. due to self heating;
- long-term stability, e.g. due to drift;
- ambient conditions during measurements;
- limited resolution of digital instruments and/or reading of analogue instruments;
- effect of nearby current paths;
- electromagnetic interference;
- scale-factor variation with frequency or impulse shape;
- effects caused by software used in instruments or in evaluation of results.

Information on the input quantities and uncertainties can be obtained from actual and previous measurements, calibration certificates, data in handbooks and standards, manufacturer's specifications, or knowledge of the characteristics of relevant materials or instruments. The following cases for a type B evaluation of uncertainties can be distinguished:

- a) Often, only a single input value x_i and its standard uncertainty $u(x_i)$ is known, e.g. a single measured value, a correction value or a reference value from literature. This value and its uncertainty will be taken over in the model function (Equation A.1). In case $u(x_i)$ is not

known, it shall to be calculated from other relevant uncertainty data or be estimated on the basis of experience.

- b) The uncertainty of a device is quoted as the k multiple of a standard uncertainty, e.g. the expanded uncertainty U of a digital voltmeter in a calibration certificate (Clause A.7). If the voltmeter is used in a complex measuring system, it contributes to the uncertainty of measurements by:

$$u(x_i) = \frac{U}{k} \quad (\text{A.5})$$

where k is the coverage factor. Instead of expressing the expanded uncertainty and coverage factor, one may find a statement on the level of confidence, e.g. 68,3 %, 95,45 % or 99,7 %. In general, normal distribution according to Figure A.1 can be assumed and the statement on the level of confidence is equivalent to the coverage factor $k = 1, 2$, or 3 , respectively.

- c) The value x_i of an input quantity X_i is estimated to lie in the interval a_- to a_+ with a certain probability distribution $p(x_i)$. Often, there is no specific knowledge on $p(x_i)$ and a rectangular distribution of the probable values is then assumed (Figure A.2). Then, the expected value of X_i is the midpoint of the interval:

$$x_i = \frac{(a_- + a_+)}{2} \quad (\text{A.6})$$

and the associated standard uncertainty:

$$u(x_i) = \frac{a}{\sqrt{3}} \quad (\text{A.7})$$

where $a = (a_+ - a_-)/2$.

In some cases, other probability distributions may be more appropriate. Since the discontinuity of the rectangular distribution at the borders is often unphysical, it seems reasonable to replace the rectangular distribution by a trapezoidal, triangular, or normal distribution.

NOTE 1 The standard uncertainty is $u(x_i) = a/\sqrt{6}$ for the triangular distribution and $u(x_i) = \sigma$, where σ is the standard deviation of the normal distribution. This means that the rectangular distribution gives a larger standard uncertainty than the other distributions.

In ISO/IEC Guide 98-3, it is explicitly stated that a type B uncertainty should not be double-counted if the particular effect has already contributed to a type A uncertainty. Furthermore, the evaluation of uncertainty should be realistic and based on standard uncertainties, avoiding the use of personal or any other factors of safety to obtain larger uncertainties than those evaluated according to the ISO/IEC Guide 98-3. Often, an input quantity X_i has to be adjusted or corrected to eliminate systematic effects of significant magnitude, e.g. based on temperature or current dependence. However, the uncertainty $u(x_i)$ associated with this correction shall still be taken into account.

NOTE 2 Double-counting of uncertainty contributions may occur when a digital recorder is used for repetitive impulse measurements, e.g. when calibrating the scale factor. The dispersion of the n measurement values giving rise to a Type A standard uncertainty is partially caused by the limited resolution of the recorder and its internal noise. The resolution does not need to be considered again in full but only in a small portion as a residual type B uncertainty. However, if the digital recorder is then used during an impulse-current test to obtain a single measurement value, the limited resolution should be considered in a type B uncertainty.

NOTE 3 The evaluation of type B uncertainties requires extensive knowledge and experience on the relevant physical relationships, influence quantities, and measurement techniques. As the evaluation itself is not an exact science leading to only a single solution, it is not uncommon that experienced test engineers may judge the measurement process in a different manner and obtain different type B uncertainty values.

A.6 Combined standard uncertainty (u_c)

The standard uncertainty $u(x_i)$ of the estimate x_i of each input quantity X_i evaluated by method type A or B contributes to the standard uncertainty of the output quantity by:

$$u_i(y) = c_i u(x_i) \quad (\text{A.8})$$

where c_i is the sensitivity coefficient. It describes how the output estimate y is influenced by variations of the input estimate x_i . It can be evaluated directly as the partial derivative of the model function f with respect to X_i :

$$c_i = \left. \frac{\partial f}{\partial X_i} \right|_{X_i=x_i} = \frac{\partial f}{\partial x_i} \quad (\text{A.9})$$

or by using equivalent numerical and experimental methods. The sign of c_i may be positive or negative. In cases where input quantities are uncorrelated, the sign need not be further considered since only the quadratic values of standard uncertainties are used in the next steps.

The N standard uncertainties $u_i(y)$ defined by Equation (A.8) contribute to a combined standard uncertainty $u_c(y)$ of the output quantity according to the “law of propagation of uncertainty”:

$$u_c^2(y) = u_1^2(y) + u_2^2(y) + \dots + u_N^2(y) = \sum_{i=1}^N u_i^2(y) \quad (\text{A.10})$$

from which $u_c(y)$ is evaluated as the positive square root:

$$u_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^N u_i^2(y)} = \sqrt{\sum_{i=1}^N [c_i u(x_i)]^2} \quad (\text{A.11})$$

If the output quantity Y is a product or quotient of the input quantities X_i , a similar relationship as given in Equations (A.10) and (A.11) can be obtained for the relative uncertainties $u_c(y)/|y|$ and $u(x_i)/|x_i|$. The law of propagation of uncertainty applies thus to both types of the model function for uncorrelated input quantities.

NOTE In a case where correlation exists, linear terms will be present in the law of propagation of uncertainty and the sign of the sensitivity coefficients becomes relevant. Correlation occurs when, for example, the same instrument is used for measuring two or more input quantities. To avoid complicated calculation, the correlation can be removed by adding additional input quantities in the model function, f , with appropriate corrections and uncertainties. In some cases, the presence of correlated input quantities may even reduce the combined standard uncertainty. Taking correlation into account is thus mainly essential for sophisticated uncertainty analysis to achieve very accurate estimation of uncertainty. Correlation is not further discussed in this standard.

A.7 Expanded uncertainty

In the field of high-voltage and high-current measurements, as in most other industrial applications, a statement of uncertainty corresponding to a coverage probability, p , of approximately 95 % is required. This is achieved by multiplying the combined standard uncertainty $u_c(y)$ of Equation (A.11) by a coverage factor k :

$$U = k \times u_c(y) \quad (\text{A.12})$$

where U is the expanded uncertainty.

The coverage factor $k = 2$ is used in cases where:

- a normal distribution can be attributed to the output estimate y ; and
- $u_c(y)$ has sufficient reliability, i.e. the effective degrees of freedom of $u_c(y)$ is sufficiently large (see Clause A.8). Otherwise a value $k > 2$ has to be determined to obtain $p = 95$ %.

NOTE 1 In some older standards, the term “overall uncertainty” is used. In the majority of cases, this term is interpreted as an expanded uncertainty U with the coverage factor k being equal to 2.

NOTE 2 Since uncertainties are defined as positive numbers, the sign of U is always positive. In cases where U means an uncertainty interval, it is quoted as $\pm U$.

A.8 Effective degrees of freedom

The assumption of a normal distribution of the output estimate y is, in general, fulfilled in cases where several (i.e. $N \geq 3$) uncertainty components of comparable values and well-defined probability distribution (Gaussian, rectangular, etc.) contribute to the combined standard uncertainty and where the type A uncertainty is based on $n \geq 10$ repeated observations. These conditions are satisfied in many calibrations of high-current measuring systems. If the assumption of a normal (Gaussian) distribution is not justified, a value of $k > 2$ shall be evaluated to obtain a coverage probability of approximately 95 %. The appropriate coverage factor can be evaluated on the basis of the effective degrees of freedom ν_{eff} of the combined standard uncertainty $u_c(y)$:

$$\nu_{\text{eff}} = \frac{u_c^4(y)}{\sum_{i=1}^N \frac{u_i^4(y)}{\nu_i}} \quad (\text{A.13})$$

where

$u_i(y)$ is given by Equation (A.8) for $i = 1, 2, \dots, N$; and

ν_i is the corresponding degrees of freedom.

Reliable values of ν_i are:

- $\nu_i = n - 1$ for a type A uncertainty based on n independent observations;
- $\nu_i \geq 50$ for a type B uncertainty taken from a calibration certificate and when the coverage probability is stated to be not less than 95 %;
- $\nu_i = \infty$ for a type B uncertainty assuming a rectangular distribution within a_- and a_+ .

The effective degrees of freedom can then be calculated by Equation (A.13) and the coverage factor be taken from Table A.1 that is based on a t -distribution evaluated for a coverage probability of $p = 95,45$ %. If ν_{eff} is not an integer, interpolate or truncate ν_{eff} to the next lower integer.

Table A.1 – Coverage factor k for effective degrees of freedom ν_{eff} ($p = 95,45$ %)

ν_{eff}	1	2	3	4	5	6	7	8	10	20	50	∞
k	13,97	4,53	3,31	2,87	2,65	2,52	2,43	2,37	2,28	2,13	2,05	2,00

The following formula can also be used to calculate k from ν_{eff} :

$$k = 1,96 + \frac{2,374}{\nu_{\text{eff}}} + \frac{2,818}{\nu_{\text{eff}}^2} + \frac{2,547}{\nu_{\text{eff}}^3} \quad (\text{A.14})$$

NOTE It is also possible to calculate this inverse t -distribution using spreadsheet software.

A.9 Uncertainty budget

The uncertainty budget of a measurement provides an overview of a detailed analysis of all sources and values of uncertainty based on the model function, f . The relevant data should be kept for inspection in the form of a table equal or comparable to Table A.2. The last row gives the values of the measurement result, y , the effective degrees of freedom ν_{eff} and the combined standard uncertainty $u_c(y)$.

Table A.2 – Schematic of an uncertainty budget

Quantity X_i Y	Estimate x_i y	Standard uncertainty of components $u(x_i)$ –	Degrees of freedom ν_i ν_{eff}	Sensitivity coefficient c_i –	Uncertainty contribution $u_i(y)$ $u_c(y)$
X_1	x_1	$u(x_1)$	ν_1	c_1	$u_1(y)$
X_2	x_2	$u(x_2)$	ν_2	c_2	$u_2(y)$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
X_N	x_N	$u(x_N)$	ν_N	c_N	$u_N(y)$
Y	y	–	ν_{eff}	–	$u_c(y)$

NOTE Validated software is commercially available or may be developed by the user from general software that enables automated calculation of the quantities in Table A.2 from the model function, f . It is recommended to present the absolute (not relative) values $u(x_i)$ including their units in the uncertainty budget.

A.10 Statement of the measurement result

In calibration and test certificates, the measurand Y shall be expressed as $(y \pm U)$ for a coverage probability (or level of confidence) of approximately $p = 95 \%$. The numerical value of the expanded uncertainty U shall be rounded to give not more than two significant figures. If rounding down reduces the value by more than $0,05 U$, the rounded-up value shall be used. The numerical value of y shall be rounded to the least significant figure that could be affected by the expanded uncertainty.

NOTE 1 As an example, the result of a current measurement is stated in one of the following ways:

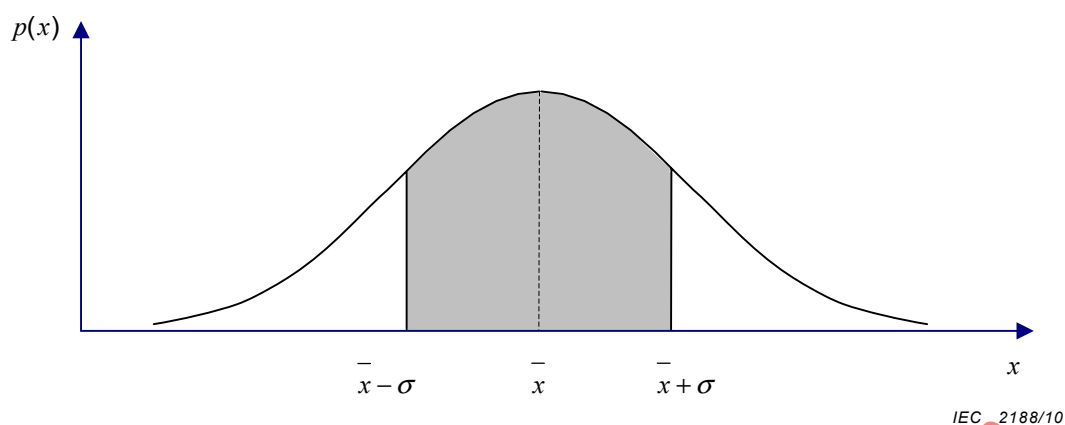
$$(227,2 \pm 2,5) \text{ kA};$$

$$227,2 \times (1 \pm 0,011) \text{ kA}.$$

An explanatory note shall be added informing on the coverage probability p and the coverage factor k .

NOTE 2 As an example, the following complete wording is recommended (the terms in brackets apply to the cases $\nu_{\text{eff}} < 50$, i.e. $k > 2,05$ according to Table A.1):

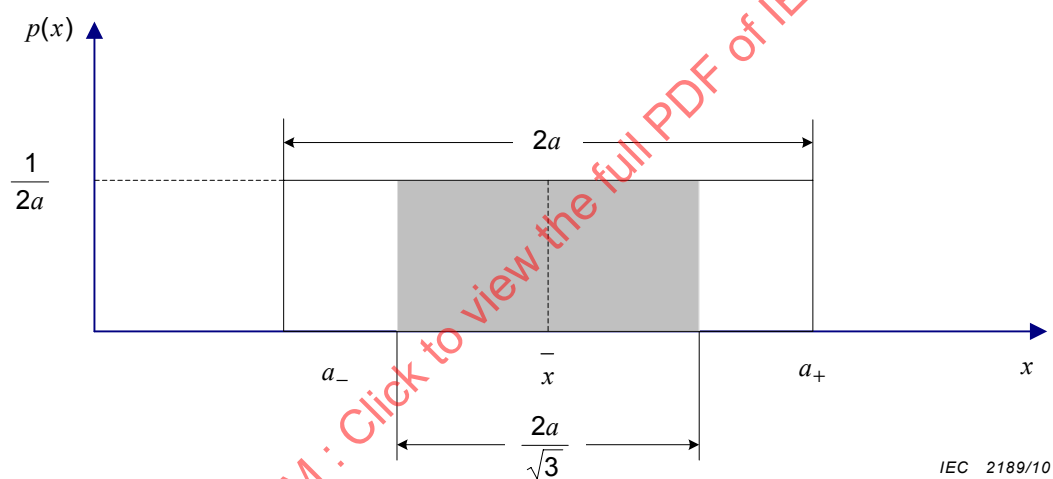
“The reported expanded uncertainty of measurement is stated as the combined standard uncertainty multiplied by the coverage factor $k = 2$ ($k = XX$), which for a normal distribution (t -distribution with $\nu_{\text{eff}} = YY$ effective degrees of freedom) corresponds to a coverage probability of approximately 95 %. The combined standard uncertainty of measurement has been determined in accordance with IEC 62475.”



NOTE 3 The symbol σ is the standard deviation.

NOTE 4 The shaded area indicates the standard uncertainty.

Figure A.1 – Normal probability distribution $p(x)$ of a continuous random variable x



NOTE 5 The shaded area indicates the rectangular uncertainty.

Figure A.2 – Rectangular symmetric probability distribution $p(x)$ of the estimate x of an input quantity X

Annex B (informative)

Examples of the uncertainty calculation in high-current measurements

B.1 General

A clear distinction should be made between the calibration uncertainty and the uncertainty of measurements performed by the calibrated measuring system. The calibration uncertainty applies to the calibration situation only. It is primarily covered by an analysis of the reference measuring system, although some components of uncertainty related to the system under calibration may have to be considered.

The uncertainty of measurements performed by the calibrated measuring system is based on an analysis of the combination of the calibration uncertainty and parameters related to the calibrated measuring system and the conditions of use.

In this annex, examples are given on how to apply Clause 5 in the evaluation of measuring systems.

B.2 Example 1: Calibration of the scale factor of an a.c. current measuring system (comparison or reference method)

An a.c. measuring system with an assigned measurement range of 1 kA to 10 kA, denoted by X, is calibrated by an accredited calibration laboratory in the test laboratory of the user. The calibration is performed by comparison with a reference measuring system up to 5 kA, denoted by N (Figure B.1). Both systems consist of a shunt and a digital voltmeter indicating the r.m.s. voltages V_N and V_X at the outputs of the shunts. The scale factor and the relative expanded uncertainty of the reference system N at 20 °C is $F_N = 10\,025$ A/V and $U_N = 0,8\%$ ($k = 2$), respectively, including a small contribution due to the long-term instability.

During the calibration, the ambient temperature is (15 ± 2) °C. Thus, the scale factor of N is to be corrected by $-0,01\%$ according to the temperature coefficient, yielding the actual value $F_N = 10\,024$ A/V at 15 °C. This correction, however, would not be very accurate due to further temperature variation within ± 2 °C during the calibration and the probable values of F_N are therefore assumed to lie within an interval of $\pm 0,1\%$ with rectangular distribution. Simultaneous readings of V_N and V_X are taken for $n = 10$ applications of the current for a short time, while a long current-free time is held between the applications; therefore, the effect from the temperature rise can be ignored. The linearity of the system under calibration, X, is checked from 5 kA up to 10 kA with a Rogowski coil (see 5.2.1.3) and considered in Clause B.3.

The model equation for calculating the value of F_X and its combined standard uncertainty can be developed as follows. In the ideal case, both measuring systems indicate the same value of the a.c. test current I (Figure B.1):

$$I = F_N V_N = F_X V_X \quad (\text{B.1})$$

This leads to the basic equation for calculating the scale factor of the system under calibration:

$$F_X = \frac{V_N}{V_X} F_N \quad (\text{B.2})$$

As described above, the scale factors of both systems are subject to several influence quantities like drift, temperature etc. They contribute to the scale-factor values and their uncertainties as well. These contributions are denoted here by $\Delta F_{N,1}$, $\Delta F_{N,2}$, for the reference system and $\Delta F_{X,1}$, $\Delta F_{X,2}$, ... for the system under calibration (the former determine the uncertainty of calibration, whereas the latter, in addition, constitute the uncertainty of measurements performed by the calibrated measuring system). In general, each contribution to the scale factor F_N or F_X consists of an error δ_i and a standard uncertainty u_i . The error is used to correct the scale factor, the correction being of opposite sign. The uncertainty contribution is related to the relevant scale factor F_N or F_X and evaluated in a similar way as described in Clause A.5, i.e. either by:

- assuming a symmetrical rectangular probability distribution within an interval of $\pm a_i$ and the half-width a_i , leading to a standard uncertainty $u_i = a_i/\sqrt{3}$; or,
- in the case of a calibrated component, by dividing its expanded uncertainty U by the coverage factor k .

The contribution $\Delta F_{N,m}$ or $\Delta F_{X,i}$ need not always have an error (or δ_i is assumed negligibly small) and then it consists only of an uncertainty contribution u_i .

The basic Equation (B.2) is thus supplemented by the contributions $\Delta F_{N,m}$ and $\Delta F_{X,i}$ to obtain the complete model function for determining the scale factor F_X and its combined standard uncertainty. Since correlation between the influence quantities is neglected, Equation (B.2) can be written in the general form:

$$F_X - \sum_i \Delta F_{X,i} - \sum_k \Delta F_{X,k} = \frac{V_N}{V_X} F_N \left(1 - \sum_m \Delta F_{N,m} - \sum_n \Delta F_{N,n} \right) \quad (\text{B.3})$$

NOTE By definition, the errors inserted on both sides of the equation have a negative sign. They are defined as $\Delta F = (\text{measured value}) - (\text{reference value})$, (term 3.6.7).

The scale factor $F_{X,\text{cal}}$ assigned by the comparison method of calibration to the a.c. measuring system can be expressed by:

$$F_{X,\text{cal}} = \left(\overline{\frac{V_N}{V_X}} \right) \times (F_N - \Delta F_{N,\text{temp}}) = \left(\overline{\frac{V_N}{V_X}} \right) \times F_N \times \left(1 - \frac{\Delta F_{N,\text{temp}}}{F_N} \right) \quad (\text{B.4})$$

where

$\Delta F_{N,\text{temp}}$ is the contribution due to the reference system being used at a lower temperature than the temperature at which its scale factor has been established;

$\left(\overline{\frac{V_N}{V_X}} \right)$ is the arithmetic mean of the quotients $q = V_N/V_X$ of the comparison measurements.

The comparison measurement yields ten pairs of measured values V_N and V_X from which the quotients V_N/V_X , their mean, and the experimental standard deviation s are calculated (see Table B.1). An example for the values measured at a current of about 25 % of $I_{X\text{max}}$ is given in Table B.1. In the same manner, the quotients V_N/V_X and their related standard deviations s are obtained for in total $g = 3$ current levels up to 5 kA (see Table B.2). The result of the linearity test is shown in Table B.3.

Table B.1 – Result of the comparison measurement

Number of measurement	Reference system V_N	System under test V_X	Quotient V_N/V_X
1	0,191 4	0,190 8	1,003 1
2	0,191 6	0,190 9	1,003 7
3	0,190 7	0,189 9	1,004 2
4	0,189 9	0,189 0	1,004 8
5	0,190 9	0,189 0	1,010 1
6	0,191 2	0,190 2	1,005 3
7	0,191 3	0,190 4	1,004 7
8	0,191 2	0,190 4	1,004 2
9	0,190 6	0,189 9	1,003 7
10	0,191 3	0,190 7	1,003 1
Mean of V_N/V_X .			1,004 7
Experimental sample standard deviation s .			0,002 32

The standard uncertainty of type A is evaluated from s and n according to Equation (A.3):

$$u_g = u\left(\frac{V_N}{V_X}\right) = \frac{s_g}{\sqrt{n}} = \frac{0,002\,32}{\sqrt{10}} = 0,000\,73 \quad (\text{B.5})$$

Table B.2 – Result of the comparison measurement

g no.	Current level % of $I_{X,\max}$	V_N/V_X	$s(V_N/V_X)$	u_{Xg}
1	10	1,004 2	0,002 44	0,000 77
2	25	1,004 7	0,002 32	0,000 73
3	50	1,003 7	0,002 88	0,000 91 ($= u_{\max}$)
Mean		1,004 2		

With this, the scale factor from the comparison with the reference system is estimated to be:

$$F_X = 100\,25 \times 1,004\,2 = 100\,67,1 \quad (\text{B.6})$$

The uncertainty estimation of V_N/V_X is evaluated as:

$$u_F = \sqrt{\frac{1}{3} \left(\max_{g=1}^3 \left| \frac{\overline{F}_g}{F} - 1 \right| \right)^2 + \left(\max_{g=1}^3 (u_g) \right)^2} = \sqrt{\frac{1}{3} (0,000\,5)^2 + (0,000\,91)^2} = 0,000\,6 \quad (\text{B.7})$$

The values and standard uncertainties of the quantities on the right side of the model function Equation (B.4) are listed in the uncertainty budget (Table B.3). The degrees of freedom are determined in accordance with Equation (A.13). The result of the evaluation consisting of the scale factor, its combined standard uncertainty, and effective degrees of freedom is given in the last row of Table B.3. The large value $\nu_{\text{eff}} = 52$ indicates normal distribution of the probable values of F_X for which $k = 2$ is valid (Table A.1).

Table B.3 – Uncertainty budget for calibration of scale factor F_X

Quantity	Value	Standard uncertainty of components	Degrees of freedom	Sensitivity coefficient	Contribution to combined standard uncertainty
V_N/V_X	1,004 2	0,000 6 ^a	∞	10 026,002 5	5,8
F_N	1002 5	40,1 ^a	50	1,004 2	40
$\Delta F_{N,temp}$	-1,002 5	5,79 ^b	∞	-1,004 2	-5,8
F_X	10 068,1		55		41
^a Normal distribution.					
^b Rectangular distribution.					

The combined standard uncertainty u_{cal} in Table B.3 has been calculated as:

$$\begin{aligned}
 u_{cal} &= \sqrt{u_{V_N/V_X}^2 + u_{F_N}^2 + u_{\Delta F_{N,temp}}^2} = \\
 &= \sqrt{6^2 + 40,1^2 + 5,8^2} = 41
 \end{aligned}
 \quad (B.8)$$

Finally, the complete result of the calibration is expressed by:

$$F_X = F_{X,cal} = 100\,68 \pm 82 = 100\,68 \times (1 \pm 0,008) \text{ for a coverage probability of not less than 95 \% } (k = 2).$$

The expanded uncertainty of the calibration of the scale factor is $U_{cal} = 0,8 \%$. For uncertainty of measurements performed by the measuring system, further uncertainty contributions have to be considered.

B.3 Example 2: Expanded uncertainty of measurement using an approved measuring system

The approved measuring system X for a.c. has been calibrated as described in Clause B.2. The scale factor and the expanded uncertainty of the calibration was $F_X = 100\,68$ and $U_X = 0,8 \%$ ($k = 2$). The linearity of the approved measuring system was checked from 5 kA up to 10 kA with a Rogowski coil (the results are given in Table B.4). Further investigations on the dynamic behaviour, short-term stability, temperature interval, and interference show an influence on F_X within $\pm 0,2 \%$ each. The long-term instability of F_X is estimated on the basis of the manufacturer's data to lie within $\pm 0,3 \%$ until the next calibration. The effect of nearby current paths need not be considered in addition since the approved measuring system X is used in a fixed position in the test hall of the user, i.e. this effect was included in the calibration.

The model equation for calculating the value of the scale factor $F_{X,mes}$ of the approved measuring system and its combined standard uncertainty is shown as follows:

$$F_{X,mes} = F_{X,cal} - \Delta F_{X,lin} - \Delta F_{X,st} - \Delta F_{X,lt} - \Delta F_{X,dyn} - \Delta F_{X,temp} \quad (B.9)$$

where

- $F_{X,cal}$ is the scale factor resulting from the comparison calibration (see Equation (B.2));
- $\Delta F_{X,lin}$ is the contribution from the linearity test;
- $\Delta F_{X,st}$ is the contribution due to the short-term instability of the system;

- $\Delta F_{X,lt}$ is the contribution due to the long-term instability of the system;
 $\Delta F_{X,dyn}$ is the contribution due to the dynamic behaviour of the system;
 $\Delta F_{X,temp}$ is the contribution due to the temperature interval in which the system is expected to be used.

The scale factor of the system is subject to several influence quantities like drift, temperature, etc. They contribute to the scale factor value and its uncertainties as well. The contributions thought to be pertinent in this case are listed above. In general, each contribution to the scale factor F_X consists of an error δ_i and a standard uncertainty u_i . The error is used to correct the scale factor, the correction being of opposite sign. The uncertainty contribution is evaluated as described in Clause A.5, i.e. either by assuming a rectangular probability distribution within an interval of half-width a_i , leading to a standard uncertainty $u_i = a_i/\sqrt{3}$, or, in the case of a calibrated component, by dividing its expanded uncertainty U by the coverage factor k . The contribution $\Delta F_{X,i}$ need not always have an error (or δ_i is assumed being negligibly small) and then it consists only of an uncertainty contribution u_i . Correlation between the influence quantities is neglected.

The result of the linearity test is shown in Table B.4.

Table B.4 – Result of linearity test

g No.	Current level % of $I_{X,max}$	F_{Xg}	$(F_{Xg}/F_X)-1$
4	50	10 064,1	-0,001 9
5	75	10 077,2	-0,000 6
6	100	10 107,4	+0,002 4
Mean		10 082,9	

The relative standard uncertainty u_{lin} is estimated in accordance with 5.3:

$$u_{lin} = \frac{1}{\sqrt{3}} \times \max_{g=4}^6 \left| \frac{F_{Xg}}{F_X} - 1 \right| = 0,0014 \quad (B.10)$$

The values and standard uncertainties of the quantities on the right-hand side of the model function (Equation (B.5)) are listed in the uncertainty budget (Table B.5). The degrees of freedom are determined according to Equation (A.13). The result of the evaluation consisting of the scale factor, its combined standard uncertainty, and effective degrees of freedom is given in the last row of Table B.5. The large value $\nu_{eff} = 120$ indicates normal distribution of the probable values of $F_{X,mes}$ for which $k = 2$ is valid (Table B.5).

Table B.5 – Uncertainty budget of scale factor $F_{X,mes}$

Quantity	Value	Standard uncertainty of components	Degrees of freedom	Sensitivity coefficient	Contribution to combined standard uncertainty
$F_{X,cal}$	10 068,1	41,1 ^a	50	1,0	41,1
$\Delta F_{X,lin}$	0	14,1 ^b	∞	-1,0	-14,1
$\Delta F_{X,st}$	0,0	11,6 ^b	∞	-1,0	-11,6
$\Delta F_{X,lt}$	0,0	17,4 ^b	∞	-1,0	-17,4
$\Delta F_{X,dyn}$	0,0	11,6 ^b	∞	-1,0	-11,6
$\Delta F_{X,temp}$	0,0	11,6 ^b	∞	-1,0	-11,6
$\Delta F_{X,prox}$	Covered by calibration				
$F_{X,mes}$	10 068,3		118		51

^a Normal distribution.
^b Rectangular distribution.

The combined standard uncertainty u_{mes} in Table B.5 has been calculated as:

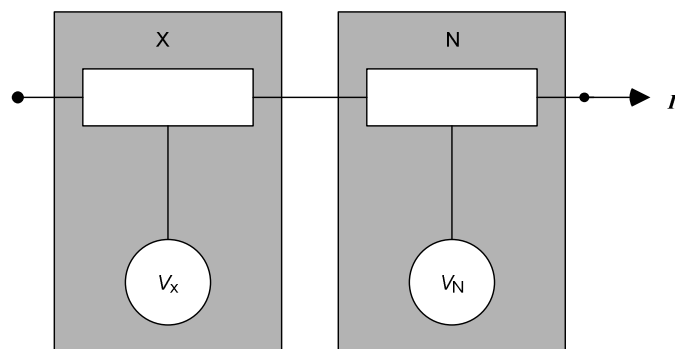
$$u_{mes} = \sqrt{u_{X,cal}^2 + \sum_{i=1}^N u_{X,Bi}^2} = \sqrt{u_{X,cal}^2 + u_{X,lin}^2 + u_{X,st}^2 + u_{X,lt}^2 + u_{X,dyn}^2 + u_{X,temp}^2 + u_{X,prox}^2} = \quad (B.11)$$

$$= \sqrt{41,1^2 + 14,1^2 + 11,6^2 + 17,4^2 + 11,6^2 + 11,6^2 + 0^2} = 50,94$$

Finally, the complete result as regards the scale factor to be used in measurements with the approved measuring system is expressed by:

$$F_{X,mes} = 10\,068 \pm 102 = 10\,070 \times (1 \pm 0,010) \text{ for a coverage probability of not less than 95 \% } (k = 2).$$

The expanded uncertainty of the scale factor when using the measuring system is $U_{mes} = 1,0 \%$ which can be applied as the maximum value of the expanded measuring uncertainty until the next calibration.



IEC 2190/10

Figure B.1 – Comparison between the system under calibration X and the reference system N

Annex C (informative)

Step-response measurements

C.1 Generation of current step

The circuit arrangement used for determining the step response should be described in the record of performance and it should be as near as possible to the operating conditions.

An approximate step current is injected into the input terminals of the current-converting device. The rise time of the step should be much shorter than the shortest front time (rise time) of the current to be measured (a factor of 10 or more is recommended). The flat portion of the step should be as long as possible with the minimal decay, and in any case, it should be much longer than the longest tail time (duration) of the current waveform to be measured (a factor of 10 or more is recommended). The output quantity of the converting device (current or voltage) is measured using a digital recorder or oscilloscope.

Two methods to generate the step current are shown below. In Figure C.1, a coaxial cable is used to store the energy necessary for the step while in Figure C.2, a capacitor is used. The current waveform generated by coaxial cable is a sharp rectangle whose interval is twice the travelling time along the cable. A gap and a resistance between the energy storage device and the current-converting device are also shown. The chopping can be achieved in different ways. The following methods are often used:

- chopping by a relay with mercury-wetted contacts: this gives steps up to some 10 A;
- chopping by a uniform-field gap in air at atmospheric pressure with a spacing up to some millimetres: this gives steps up to some 100 A;
- chopping by a uniform gap with spacing up to some millimetres under increased gas pressure: this gives steps up to some kA.

When the step is generated using a repetitive generator, the duration of the step and of the interval between steps shall be chosen such that no additional errors are introduced with respect to a single pulse.

Current step generators using semiconductor devices have also been used to advantage in some laboratories.

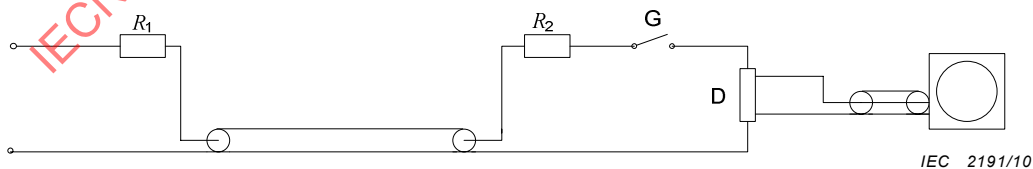


Figure C.1 – Circuit to generate current step using a coaxial cable

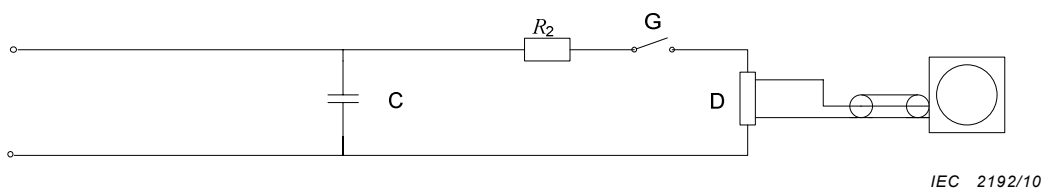


Figure C.2 – Circuit to generate current step using a capacitor

where

- C is the energy storing capacitor;
- G is the gap to generate the step;
- D is the current-converting device.

C.2 Terms and definitions

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

C.2.1

reference level (impulse measurements only)

mean value, I_R , of the step response taken over the range of $0,5 \times I_{\min}$ to $2 \times I_{\max}$ (see Figure C.3)

NOTE A measuring system may have more than one reference level, for example, it may have different scale factors for different waveforms due to the variation of the response level (see Figure C.3).

C.2.2

origin of a step response

O_1

instant when the response curve first starts a monotonic rise above the amplitude of the noise at the zero level of the (unit) step response (see Figure C.3)

NOTE All time values are measured from the origin O_1 .

C.2.3

unit step response

$g(t)$

step response normalized such that a reference level becomes unity and the zero level becomes zero (Figure C.3)

NOTE A measuring system has a unit step response for each reference level. The origin O_1 of the step response is identical with that of the unit step response.

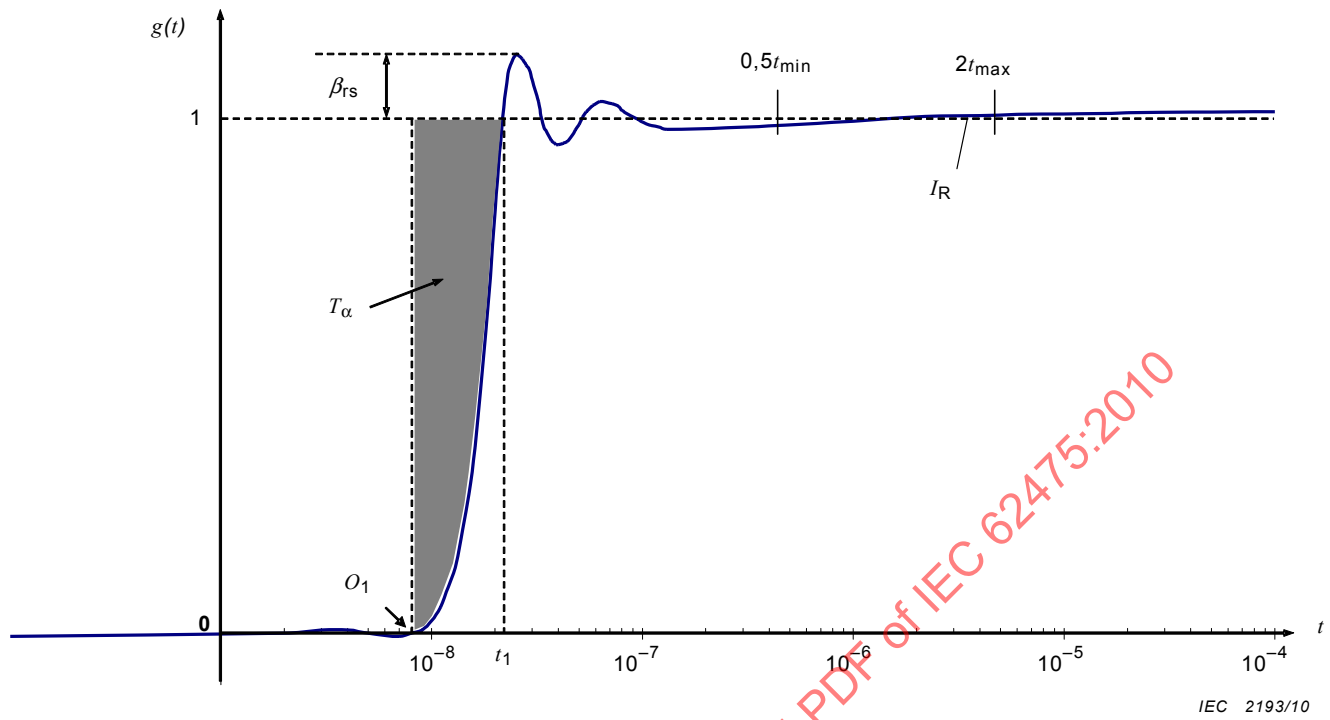


Figure C.3 – Definition of response parameters with respect to step response

Annex D (informative)

Convolution method for estimation of dynamic behaviour from step-response measurements

D.1 General

The convolution method is used to evaluate the dynamic performance of an impulse current-converting device, a digital recorder, or a complete impulse measuring system from their step responses as Annex C.

The convolution method uses the step response of the measuring system to calculate its output impulse waveform from the input impulse waveform. The errors of the impulse parameters of the output waveform relative to the input waveform may be used to evaluate the performance of the measuring system for a particular waveform to be measured.

The convolution method assumes that the step response of the measuring system is correctly measured and the input waveform used in the calculation is representative of the real impulse waveforms to be measured.

D.2 The convolution method

If the input impulse waveform and the unit (normalized) step response (Annex C) of an impulse measuring system are $V_{in}(t)$ and $g(t)$ respectively, the output, $V_{out}(t)$, may be expressed by the following convolution integral (see John G. Proakis and Dimitris G. Manolakis, as listed in the bibliography)

$$V_{out}(t) = \int_0^t V'_{in}(\tau) \times g(t - \tau) \times d\tau \quad (D.1)$$

where t is time and $V'_{in}(t)$ is the first derivative of the input impulse waveform $V_{in}(t)$.

If $g(t)$ and $V_{in}(t)$ are sampled with the same sampling interval and the number of samples of $g(t)$ is less than that of $V_{in}(t)$, the continuous convolution integral (see Equation (D.1)) reduces to the causal form of the discrete convolution sum:

$$V_{out}(i) = \sum_{k=0}^i V'_{in}(k) \times g(i - k) \times \Delta t \quad i = 0, 1, 2, \dots, n - 1 \quad (D.2)$$

where

$V_{out}(i)$ is the discrete output array;

$V'_{in}(i)$ is the first derivative of input array;

$g(i)$ is the unit step-response array;

n is the number of samples of the input array; and

Δt is the sampling interval of the input and output arrays, and the step-response array.

D.3 Procedure for performing the convolution calculation

This procedure is based on the discrete convolution sum described by Equation (D.2). It is used for computer-aided calculation using digital impulse waveforms. The procedure is used to estimate the errors of the impulse parameters of the output relative to the input waveforms of an impulse measuring system. The procedure given here describes the major steps of calculation. These steps are as follows:

- a) Obtain the input impulse-waveform array $V_{in}(i)$ for $i = 0, 1, 2, \dots, n-1$, and calculate its impulse parameters.
- b) The sampling rate of the input impulse waveform should be identical to that of the unit step response, with the number of its samples equal to that of the unit step response (see step b). The input waveform should be a smooth waveform with the highest frequency of the noise having been reduced well below the Nyquist frequency (half of the sampling frequency of the impulse array). A smooth input waveform array and its impulse parameters may be derived either:
 - 1) from an analytical expression of the impulse, e.g. a superposition of two ideal exponential functions. The impulse parameters of this waveform may either be obtained from the analytical expression or from the impulse calculation software of the impulse measuring system being examined;
 - 2) from a recorded real waveform, smoothed by a precision low-pass digital filter or a piecewise cubic spline fitting algorithm. The impulse parameters of this waveform may be obtained from the impulse calculation software of the impulse measuring system being examined.
- c) Obtain the first derivative $V'_{in}(i)$ for $i = 0, 1, 2, \dots, n-1$, of the input impulse waveform $V_{in}(i)$ by numerical derivation
- d) Obtain the unit step response array $g(i)$ for $i = 1, 2, \dots, m-1$ and $m = n + j$, with j being the number of points before the origin of the recorded step response O_1 .
 - 1) Obtain the unit step response by normalizing the measured step response (Annex C). To obtain a low-noise unit step response for convolution purposes, averaging several step-response records may be used. The smoothness of the unit step response array $g(i)$ is less critical if Equation (D.2) is used for the convolution calculation and the impulse array $V_{in}(i)$ is already smooth.

NOTE 1 For high-current measuring systems, a step response with a short enough rise time and a long enough tail time may be impossible to obtain. In such cases, an approximate step response could possibly be obtained by combining a short record, using the front, and a long record, using the tail. These records may have been obtained via different methods.

- 2) Obtain the zero level, l_0 , of the step response by averaging the samples of the recorded step-response array $s(i)$ before the starting edge of the step.
- 3) Obtain the reference level, l_R , of the step response by averaging the samples of the recorded step-response array $s(i)$ within a time range including the shortest front time to for which the measuring system is to be used, and up to the time reflecting the frequency at which the scale factor of the converting device has been determined.
- 4) Normalize the step-response array $s(i)$ into a temporary unit-step-response array, $g_0(i)$, by using the following formula:

$$g_0(i) = \frac{s(i) - l_0}{l_R - l_0} \quad (D.3)$$

- 5) Find the noise amplitude at the zero level by finding the standard deviation, d_0 , of the samples of the $g_0(i)$ array before the start of the step. Searching backwards from the end of $g_0(i)$, find the sample with its value being higher than three times of the

standard deviation d_0 . The time of this sample is assigned as the origin, O_1 , of $g_0(i)$. Assign the index of this sample to j .

- 6) Construct the unit step response $g(t)$ from the origin by removing the samples of $g_0(i)$ before the origin, i.e.:

$$g(i-j) = g_0(i), \quad i = j, \dots, m-1 \quad (\text{D.4})$$

NOTE 2 Recorded $g_0(i)$ has $m+j$ points. Unit step response $g(i-j)$ has $n=m$ points after removing j points before the origin O_1 .

e) Obtain the output array and its impulse parameters array:

- 1) Obtain the output impulse waveform array $V_{\text{out}}(i)$ by calculation using Equation (D.2) either in the time domain or in the frequency domain.
- 2) Calculate the impulse parameters of $V_{\text{out}}(i)$ using the impulse calculation software of the impulse measuring system.
- 3) Calculate the errors of $V_{\text{out}}(i)$ as the difference between the impulse parameters of $V_{\text{out}}(i)$ and $V_{\text{in}}(i)$.

D.4 Uncertainty contributions

In principle, the errors calculated by the convolution may be used for correcting the parameters calculated. Such correction does however require a priori knowledge of the wave-shape, i.e. unless the impulse is of known regular shape, the correction is not reliable. The errors and their scatter for different wave-shapes, can be used as an uncertainty contribution to the combined uncertainty of measurement of the parameter concerned. Uncertainty calculation should be performed in accordance with ISO/IEC Guide 98-3. Guidance on uncertainty calculations is given in Annex A, with examples given in Annex B.

D.5 Discussion of the calculated errors of impulse parameters

D.5.1 Error in the peak amplitude

The unit level of the unit step response is usually not constant. Therefore, the calculated error of the peak amplitude is often significant in comparison with the numerical error of the convolution calculation, although it may be small in comparison with the required measurement uncertainty of the peak amplitude. The calculated relative error of the peak amplitude should be equal to the relative difference between unity and the value of $g(i)$ at a time approximately equal to 2 times the front time T_1 of the input impulse $V_{\text{in}}(i)$. The calculated error in the peak amplitude can be compared to the unit step response to verify if the convolution calculation has been performed correctly.

D.5.2 Error in the front time

The convolution calculation can reveal a change in the wave shape of the impulse caused by the performance of the measuring system, and therefore the magnitude of the error of the front time, which cannot be revealed by the step response itself. As the consequence of a slower step response, the front time of the output impulse becomes larger. However, the front time is also influenced by the overshoot/undershoot of the step response. Depending on the time-positions of the overshoot and undershoot on the step response, the front part of the impulse waveform may be changed into different shapes, leading to either an increased or decreased front-time value.

D.5.3 Error in the time to half-value

The time to half-value is mainly affected by the difference between the $g(i)$ value at a time approximately equal to 2 times the front time T_1 and the $g(i)$ value at the time equal to T_2 of the impulse being evaluated. The convolution calculation can be used to estimate the magnitude of the error of T_2 , which cannot be directly estimated from the step response itself.

Annex E (informative)

Constraints for certain wave shapes

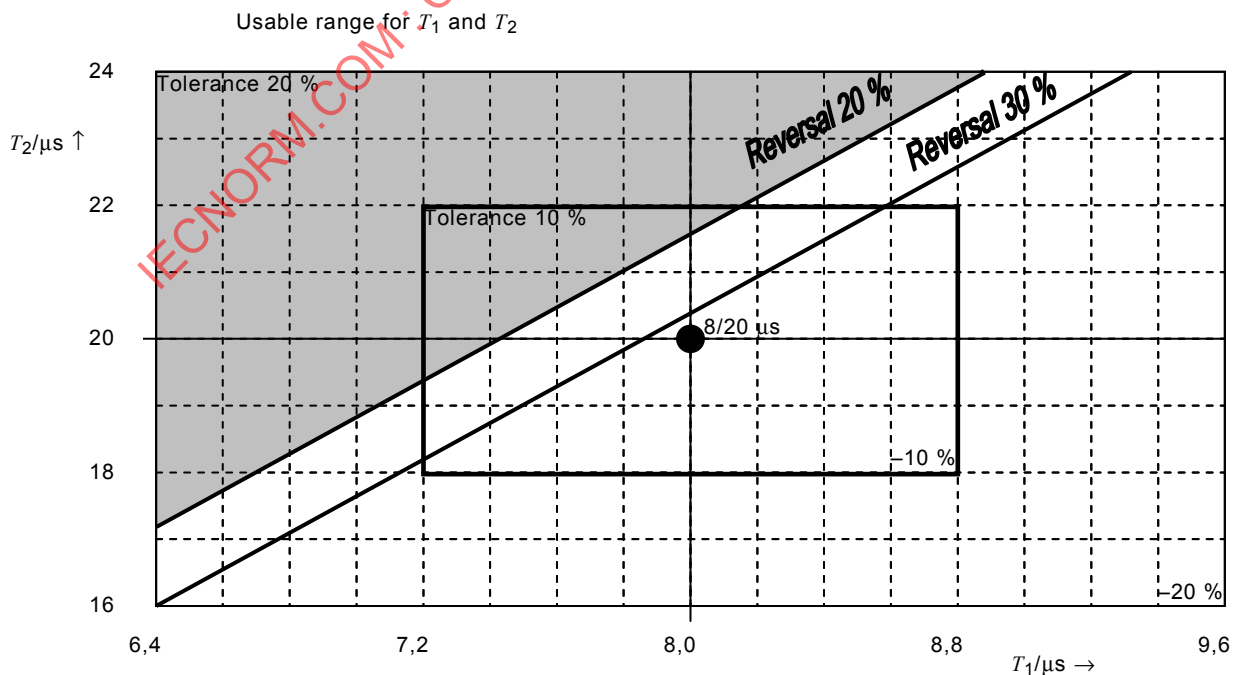
It has been observed that certain current wave shapes, originally used for testing of non-linear elements, have also been applied to linear elements leading to some problems in achieving a standardized wave shape. For example, the wave shape 8/20 is defined in arrester testing, where the arrester is a strongly non-linear element. In the case of non-linear loads, this wave shape is readily obtainable. The parameters are as follows:

- peak value: $\pm 10\%$;
- $T_1 = 8\ \mu\text{s} \pm 10\%$;
- $T_2 = 20\ \mu\text{s} \pm 10\%$;
- reversal peak: $< 20\%$ of the peak value.

However, in case of linear loads, these parameters are generally not achievable because with a generating circuit using only R , L , and C elements, it is possible to obtain only a very small fraction of the total permissible parameter combinations T_1 and T_2 .

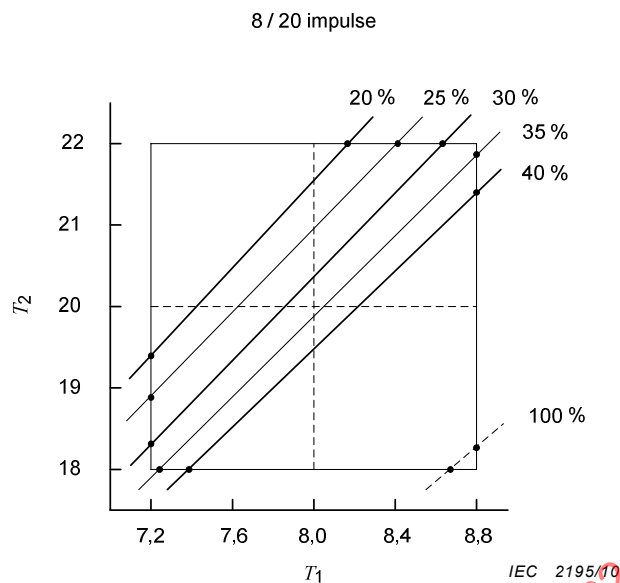
Calculation of the waveform with the condition of undershoot less than 20% , it is possible to obtain a ratio of $2,7 < T_2/T_1 < 3,8$ (see S. Sato, T. Harada and M. Hanai, as listed in the bibliography). Figure E.1 shows the effective ranges (shaded) for T_1 and T_2 at 10% and at 20% permissible tolerance on T_1 and T_2 , both for 20% and 30% tolerated polarity reversal. For instance, if we determine $T_2 = 20\ \mu\text{s}$, we have for T_1 a range between $6,4\ \mu\text{s}$ and $7,4\ \mu\text{s}$ at $\pm 20\%$ tolerance for the time parameters. In the case of a $\pm 10\%$ tolerance, we have only a range of $7,2\ \mu\text{s}$ to $7,4\ \mu\text{s}$ for T_1 .

Consequently, it is advisable to permit larger undershoot if only linear test objects are to be tested, see Figures E.2 and E.3.



IEC 2194/10

Figure E.1 – Attainable combinations of time parameters (shaded area) for the 8/20 impulse at maximum 20% undershoot and for 20% tolerance on the time parameters



NOTE Results are also typical for 1/2,5 and 4/10 impulses.

Figure E.2 – Locus for limit of attainable time parameters as a function of permissible undershoot for the 8/20 impulse

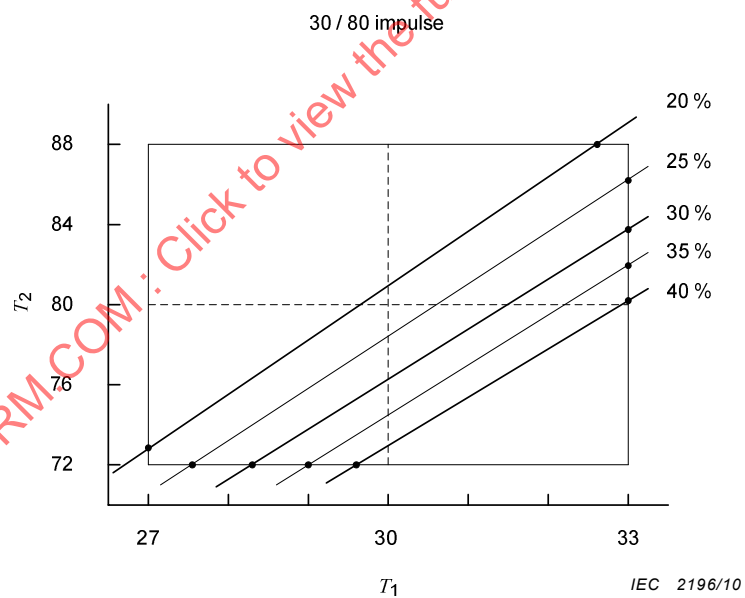


Figure E.3 – Locus for limit of attainable time parameters as a function of permissible undershoot for the 30/80 impulse

Annex F (informative)

Temperature rise of measuring resistors

Under normal operating conditions of impulse-current and/or short-time current, current-converting shunts must dissipate a considerable amount of energy in a time so short that the heating of the resistor material is virtually adiabatic. Under these circumstances, the temperature rise $\Delta\vartheta$ and the resistance change ΔR may be calculated as follows:

$$\Delta\vartheta = \frac{W}{m \times c}$$

$$\Delta R = \Delta\vartheta \times R \times \alpha$$

where

- $\Delta\vartheta$ is the temperature rise in K;
- W is the energy dissipated in the current-converting shunt expressed in J;
- m is the mass of resistance material in kg;
- c is the specific heat capacity of the resistance material in J/(kg×K);
- R is the resistance of the current-converting shunt in Ω ;
- ΔR is the change of resistance R in Ω ;
- α is the temperature coefficient in K⁻¹.

In the event of failure of a test object undergoing e.g. an impulse-current test, the stored energy of the impulse generator will be dissipated mainly in the current-converting shunt. It is suggested that the characteristics of the shunt should be such that, under this condition, the temperature rise does not exceed 200 K.

For the progressive temperature rise associated with repeated current applications, the total permissible rise depends on the temperature coefficient of the resistor material and the temperature class of the insulating material employed.

Annex G (informative)

Determination of r.m.s. values of short-time a.c. current

G.1 General characterization of a short-time alternating current

The equivalent circuit diagram of a short-circuit current test is shown in Figure G.1. This diagram describes the situation behind a transformer showing its leakage inductance, L , but neglecting the magnetizing inductance. It does, however, not fully describe the short-circuit conditions at or near the terminals of a generator since its transient and subtransient reactance can significantly increase the initial peak value of the short-circuit current.

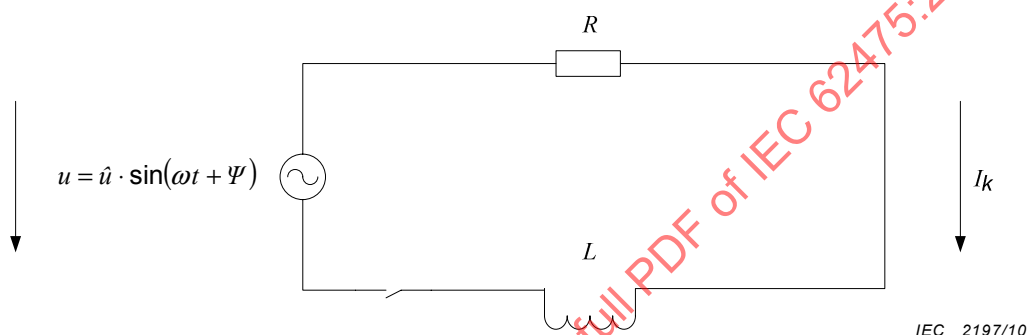


Figure G.1 – Equivalent circuit of short-circuit test

For the circuit shown in Figure G.1, with the beginning of the short-circuit at $t = 0$ (i.e. the arbitrary instant of closing of the switch is taken as the zero-time reference on the voltage wave), the mathematical expression which describes the behaviour of the current is given by application of Kirchhoff's voltage law:

$$\hat{u} \times \sin(\omega t + \psi) = L \times \frac{di_k}{dt} + R \times i_k \quad (\text{G.1})$$

where ψ is the angle on the voltage wave at which the switch is closed.

The solution of this differential equation leads to the following expression:

$$i_k = \hat{i}_k \times \left[\sin(\omega t + \psi - \varphi) - \sin(\psi - \varphi) \times e^{-\frac{t}{\tau}} \right] \quad (\text{G.2})$$

where

- $\hat{i}_k$ is the peak value of the current;
- $\omega = 2\pi \times f$ is the angular frequency with f being the power frequency;
- φ is the phase angle (or impedance angle): $\varphi = \arctan \frac{X}{R} = \arctan \frac{\omega L}{R}$ (G.3)

- τ is the time constant: $\tau = \frac{L}{R} = \frac{X}{\omega R}$ (G.4)

- ψ is the actuating angle, i.e. the angle on the voltage wave, at which the switch is closed.

Equation (G.2) can be split into two parts. The first part describes the steady-state a.c. component of the short-time current:

$$i_{kd} = \hat{i}_k \times \sin(\omega t + \psi - \varphi) \quad (G.5)$$

The second part describes the decay of the d.c. component of the current:

$$i_{dc} = -\hat{i}_k \times \sin(\psi - \varphi) \times e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (G.6)$$

This equation shows that the maximum value of the d.c. component also depends on the time constant $\frac{L}{R}$. For technical reasons, the phase (or impedance) angle is often expressed by $\cos \varphi$ (i.e. the power factor) from which the time constant $\frac{L}{R}$ can be derived.

G.2 True r.m.s. value

Refer to 7.2.2 for the true r.m.s. value of a periodic current and to 9.2.2 for the true r.m.s. value of an event.

G.3 Symmetrical a.c. component (r.m.s. value)

The symmetrical a.c. component of the alternating short-circuit current (such as the prospective short-circuit current of a particular test circuit free from any additional test object impedance or the actual test short-circuit current carried by the test object) is defined as the r.m.s. value described in Figure G.2:

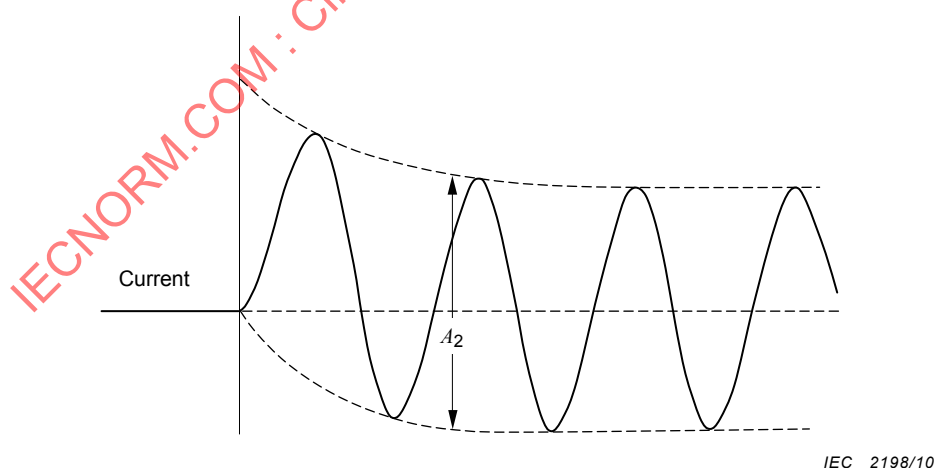


Figure G.2 – Symmetrical a.c. component of an alternating short-circuit current

The symmetrical component of the current is $\frac{A_2}{2\sqrt{2}}$.

G.4 Numerical method of obtaining the true r.m.s. value using the trapezium rule

To obtain the true r.m.s. value of a given periodic a.c. current, it is at first necessary to calculate the integral of the following expression within an integer number of cycles:

$$I_{\text{rms}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2(t) dt}$$

The area of the function $i^2(t)$ using the trapezium rule is given by:

$$A_i = \frac{h}{2} \times [i^2(t_i) + i^2(t_{i+1})]$$

where $i = (0, \dots, n-1)$.

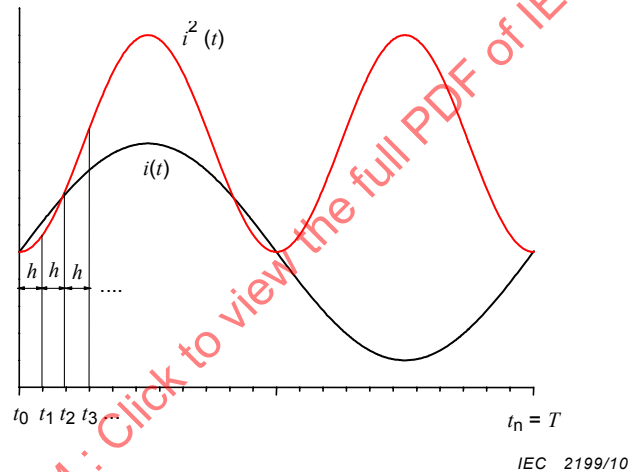


Figure G.3 – Numerical evaluation of r.m.s value showing both instantaneous current and instantaneous squared value of the current

Summation of all partial areas leads to the true r.m.s. value of the current:

$$A(n) = \frac{h}{2} \sum_{i=0}^{n-1} [i^2(t_i) + i^2(t_{i+1})] = \frac{h}{2} \times \left(i^2(t_0) + 2 \sum_{i=1}^{n-1} i^2(t_i) + i^2(T) \right) = I_{\text{rms}}^2 \times T$$

$$\Rightarrow I_{\text{rms}} = \sqrt{\frac{h}{2T} \left(i^2(t_0) + 2 \sum_{i=1}^{n-1} i^2(t_i) + i^2(T) \right)}$$

In order to get an acceptably small error in this numerical integration, a sufficient number of samples n is necessary (e.g. 800 samples for a 50 Hz current waveform).

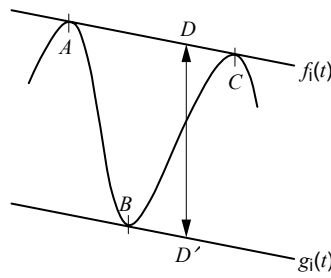
G.5 Conventional r.m.s. value of the a.c. component

The conventional r.m.s. value I_{conv} of the a.c. component is determined using three consecutive peak values $A(t_{i-1}, Y_{i-1})$, $B(t_i, Y_i)$, and $C(t_{i+1}, Y_{i+1})$. This method is also known as the three-crest method,

where

t_i is the time instant when the peak occurs;

Y_i is the instantaneous value at time t_i .



IEC 2200/10

Figure G.4 – Three-crest method

The r.m.s. value I_{conv} is measured as $\frac{[DD']}{2 \times \sqrt{2}}$. This value can be obtained graphically or by calculation using digital data and the formula:

$$I_{\text{conv}} = \frac{\frac{A + C}{2} - B}{2 \times \sqrt{2}}$$

or calculating the two lines as:

- $f_i(t)$ being a straight line between the peak values A and C , related to the mean time instant t_i :

$$f_i(t) = a_i \times t_i + b_f$$

where

$$a_i = \frac{Y_{i+1} - Y_{i-1}}{t_{i+1} - t_{i-1}}$$

$$b_f = Y_{i+1} - a_i \times t_{i+1} \quad \text{or} \quad b_f = Y_{i-1} - a_i \times t_{i-1}$$

- $g_i(t)$ being a straight line parallel to $f_i(t)$ going through the peak value B :

$$g_i(t) = a_i \times t_i + b_g \quad b_g = Y_i - a_i \times t_i$$

G.6 Conventional r.m.s. value of an arc current

To avoid a possible effect of current and/or frequency variation, the r.m.s. value of an arc current is obtained from a non-weighted average of the r.m.s. values (three-crest-method, as described in Clause G.5). Each r.m.s. value is obtained by a sliding from one crest to the previous one. To prevent border effects, the first and, if possible, the last cycle (loop) shall be omitted.

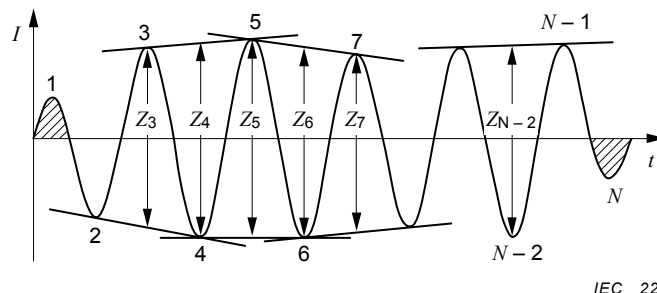


Figure G.5 – Evaluation of conventional r.m.s. value of an arc current using the three-crest method

The r.m.s. value for a signal with N crests $[1, \dots, N]$ is given by the following expression:

$$I = \frac{1}{N-4} \times \sum_{i=3}^{N-2} (X_i) \text{ or}$$

$$I = \frac{1}{N-4} \times \frac{1}{\sqrt{8}} \times \sum_{i=3}^{N-2} (Z_i)$$

where

X_i is the r.m.s. value of the arc current at crest number i and;

Z_i is the peak-to-peak value of the arc current at crest number i .

In the analytical form, the r.m.s. value is given for a signal with N crests by the following expression:

$$I = \frac{1}{N-4} \times \frac{1}{\sqrt{8}} \times \sum_{i=3}^{N-2} (a_i \times t_i + b_i - y_i)$$

where

t_i is the instant (time abscissa) of crest number i ;

y_i is the peak value of crest number i ;

a_i is the slope of straight line $f_i(t)$;

b_i is the origin of the straight line $f_i(t)$ at $t = 0$.

G.7 Equivalent r.m.s. value of a short-time current during a short-circuit of a given duration

If the short-time current does not show a constant symmetrical r.m.s. value, the equivalent r.m.s. value can be determined from the oscillogram, using the method described as follows:

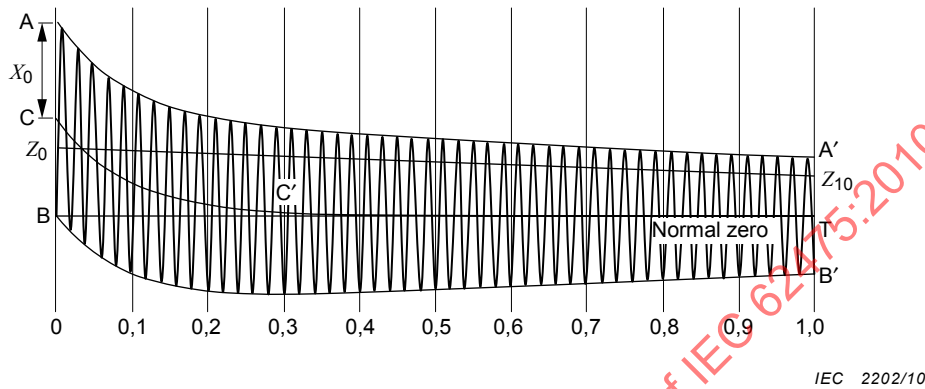


Figure G.6 – Evaluation of equivalent r.m.s. value of a short-time current during a short-circuit test

AA' and BB' is the envelope of the short-circuit current;

CC' is the displacement of current-wave zero line from normal zero line at any instant;

$Z_0, \dots, Z_{10}$ is the r.m.s. value of the a.c. component of current at any instant measured from normal zero: d.c. component is neglected;

X_0 is the peak value of the a.c. component of current at the instant of initiating short-circuit;

BT is the duration (total time) of the short circuit (t_t).

The total time t_t of the test is divided into 10 equal parts by verticals 0 – 0,1 – , ..., 1 and the r.m.s value of the a.c. component of the current is measured at these verticals.

These values are designated: $Z_0, Z_1, \dots, Z_{10}$

where

$$Z = \frac{X}{\sqrt{2}} \text{ and}$$

X is the peak value of the a.c. component of current.

The equivalent r.m.s. current during the time t_t is given by:

$$I_t = \sqrt{\frac{1}{30} \times [Z_0^2 + 4 \times (Z_1^2 + Z_3^2 + Z_5^2 + Z_7^2 + Z_9^2) + 2 \times (Z_2^2 + Z_4^2 + Z_6^2 + Z_8^2) + Z_{10}^2]}$$

The d.c. component of current represented by CC' is not taken into account.

G.8 Determination of the impedance angle

The impedance angle can be found by measurement of the current in a test circuit with a closing angle of 0° using the following equations:

Peak factor k can be derived from the measured current after the d.c. component has decayed.

$$k = \frac{I_p}{\sqrt{2} \times I_{rms}}$$

where

I_p is the peak value (see 9.2.1);

I_{rms} is the true r.m.s. value of the after any d.c. component has decayed (see 9.2.3).

The impedance angle is shown on the graph in Figure G.7, and can be calculated, using the following equations:

$$\frac{R}{X} = \sqrt{\frac{\cos^2 \varphi}{1 - \cos^2 \varphi}}$$

$$k = \left[\frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{R}{X} \right)^2}} e^{\frac{R}{X} \left(\frac{\pi}{2} + \arctan \frac{X}{R} \right)} \right]$$

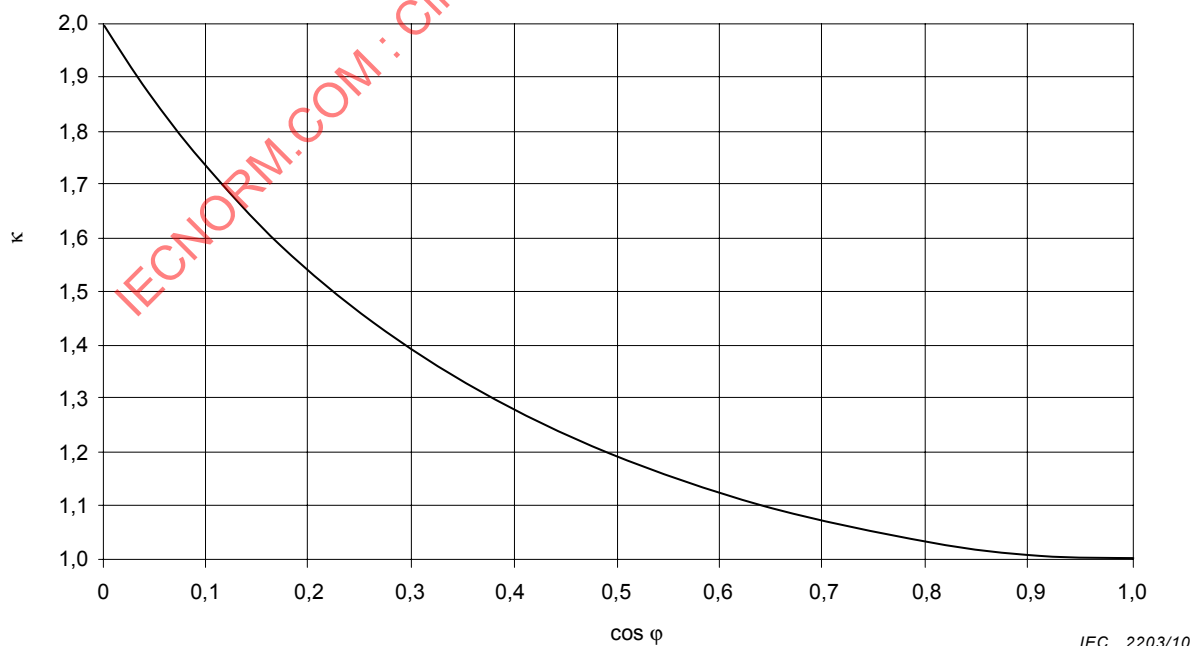


Figure G.7 – Relation between peak factor, k , and power factor $\cos(\varphi)$

Annex H (informative)

Examples of IEC standards with high-current tests

Table H.1 – List of typical tests with short-time alternating current

Type of tests	Reference to IEC standards (examples)
Peak-withstand and short-time withstand current tests	IEC 60076-5 IEC 60439-2 IEC 60947-1, IEC 60947-2, IEC 6047-3 IEC 61230 IEC 61439-1 IEC 62271-1
Making and breaking tests	IEC 60265-1 IEC 60947-1, IEC 60947-2, IEC 6047-3 IEC 62271-100, IEC 62271-102, IE 62271-104, IEC 62271-105
Shunt-reactor switching tests	IEC 62271-110
Capacitive-current switching tests	IEC 62271-100
Synthetic tests	IEC 62271-101
Current-limiting fuse tests	IEC 60282-1

IECNORM.COM : Click to view the full text of IEC 62475:2010

Table H.2 – List of typical tests with exponential impulse current

Type of equipment under test	Reference to IEC standards	Impulse type	Tolerances for time parameters
Surge-arresters test without gaps	IEC 60099-4	1 / ≤ 20	$T_1 \pm 10 \%$ $T_2 \leq 20 \mu\text{s}$
Surge-arresters test without gaps	IEC 60099-4	4/10	$(3,5 < T_1 < 4,5) \mu\text{s}$ $T_2 \pm 10 \%$
Surge-arresters test without gaps	IEC 60099-4	8/20	$(7 < T_1 < 9) \mu\text{s}$ $(18 < T_2 < 22) \mu\text{s}$
Surge-arresters test	Future IEC 61643-11		$T_1 \pm 10 \%$ $T_2 \pm 10 \%$
Electronic devices	IEC 61000-4-5		$T_1 \pm 20 \%$ $T_2 \pm 20 \%$
Surge protective devices connected to telecommunications and signalling networks	IEC 61643-21		$T_1 \pm 20 \%$ $T_2 \pm 20 \%$
Surge protective devices (SPD) connected to low voltage power distribution systems			
Surge-arresters test without gaps	IEC 60099-4	30/80	$(25 < T_1 < 35) \mu\text{s}$ $(70 < T_2 < 90) \mu\text{s}$
Surge-arresters test without gaps	IEC 60099-4	30-100 / (60-200)	
Surge-arresters test without gaps	IEC 60099-4:2004, Tables 5 and 6	T_d of 500 μs , 1 000 μs or 2 000 μs or between 2 000 μs and 3 200 μs	$T_1 \pm 20 \%$ $T_2 \pm 20 \%$
Surge protective devices connected to telecommunications and signalling networks	IEC 61643-21	5/300	$T_1 \pm 30 \%$ $T_2 \pm 20 \%$
Surge-arresters test without gaps	IEC 62305-1	10/350	Not given
Surge protective devices connected to telecommunications and signalling network	IEC 61643-21	10/350 10/250	$T_1 \pm 30 \%$ $T_2 \pm 20 \%$

Table H.3 – List of typical tests with rectangular impulse current

Type of equipment under test	Reference to IEC Standards	Impulse type
Surge-arresters test without gaps	IEC 60099-4:2004, Tables 5 and 6	T_d of 500 μs , 1 000 μs or 2 000 μs or between 2 000 μs and 3 200 μs

Bibliography

- IEC 60050-151:2001, *International Electrotechnical Vocabulary – Part 151: Electrical and magnetic devices*
- IEC 60050-300:2001, *International Electrotechnical Vocabulary – Electrical and electronic measurements and measuring instruments – Part 311: General terms relating to measurements – Part 312: General terms relating to electrical measurements – Part 313: Types of electrical measuring instruments – Part 314: Specific terms according to the type of instrument*
- IEC 60050-321:1986, *International Electrotechnical Vocabulary – Part 321: Instrument transformers*
- IEC 60076-5:2000, *Power transformers – Part 5: Ability to withstand short circuit*
- IEC 60099-4:2004, *Surge arresters – Part 4: Metal-oxide surge arresters without gaps for a.c. systems*
- IEC 60265-1:1998, *High-voltage switches – Part 1: Switches for rated voltages above 1 kV and less than 52 kV*
- IEC 60282-1:2009, *High-voltage fuses – Part 1: Current-limiting fuses*
- IEC 60947-1:2007, *Low-voltage switchgear and controlgear – Part 1: General rules*
- IEC 60947-2:2006, *Low-voltage switchgear and controlgear – Part 2: Circuit-breakers*
- IEC 60947-3:2008, *Low-voltage switchgear and controlgear – Part 3: Switches, disconnectors, switch-disconnectors and fuse-combination units*
- IEC 61000-4-5, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-5: Testing and measurement techniques – Surge immunity test*
- IEC 61083-1:2001, *Instruments and software used for measurement in high-voltage impulse tests – Part 1: Requirements for instruments*
- IEC 61083-2:1996, *Digital recorders for measurements in high-voltage impulse tests – Part 2: Evaluation of software used for the determination of the parameters of impulse waveforms*
- IEC 61180-2:1994, *High-voltage test techniques for low-voltage equipment, Test equipment*
- IEC 61230:2008, *Live working – Portable equipment for earthing or earthing and short-circuiting*
- IEC 61643-1:2005, *Low-voltage surge protective devices – Part 1: Surge protective devices connected to low-voltage power distribution systems – Requirements and tests*
- IEC 61643-11, *Low-voltage surge protective devices – Part 11: Surge protective devices connected to Low-voltage power distribution systems – Performance requirements and testing methods¹*

¹ Under consideration.

IEC 61643-21, *Low-voltage surge protective devices – Part 21: Surge protective devices connected to telecommunications and signalling networks – Performance requirements and testing methods*

IEC 62271-1, *High-voltage switchgear and controlgear – Part 1: Common specifications*

IEC 62271-100:2008, *High-voltage switchgear and controlgear – Part 100: Alternating-current circuit-breakers*

IEC 62271-101, *High-voltage switchgear and controlgear – Part 101: Synthetic testing*

IEC 62271-102:2001, *High-voltage switchgear and controlgear – Part 102: Alternating current disconnectors and earthing switches*

IEC 62271-103, *High-voltage switchgear and controlgear – Part 103: Switches for rated voltages above 1 kV up to and including 52 kV²*

IEC 62271-104, *High-voltage switchgear and controlgear – Part 104: Alternating current switches for rated voltages of 52 kV and above*

IEC 62271-105:2002, *High-voltage switchgear and controlgear – Part 105: Alternating current switch-fuse combinations*

IEC 62271-110:2009, *High-voltage switchgear and controlgear – Part 110: Inductive load switching*

IEC 62305-1, *Protection against lightning – Part 1: General principles*

ISO/IEC 17025:2005, *General requirements for the competence of testing and calibration laboratories*

ISO/IEC Guide 99:2007, *International vocabulary of metrology — Basic and general concepts and associated terms (VIM)*

European Association of National Metrology Institutes (EUROMET), "Metrology – In Short": Third edition, July 2008, ISBN: 87-988154-1-2

JCGM 100:2008 (GUM 1995 with minor corrections): *Evaluation of measurement data – Guide to the expression of uncertainty in measurement*, <http://www.bipm.org/en/publications/guides>

JCGM 101:2008, *Evaluation of measurement data – Supplement 1 to the "Guide to the expression of uncertainty in measurement" – Propagation of distributions using a Monte Carlo method*, <http://www.bipm.org/en/publications/guides>

JCGM 104:2009, *Evaluation of measurement data – An introduction to the "Guide to the expression of uncertainty in measurement" and related documents*, <http://www.bipm.org/en/publications/guides>

JCGM 200:2008, *International vocabulary of metrology – Basic and general concepts and associated terms (VIM)*, <http://www.bipm.org/en/publications/guides>

SATO, S., HARADA, T. and HANAI, M. "IEC 60060-1 Requirements in Impulse Current Waveform Parameters", *Proceedings of the 7th International Power Engineering Conference, CD-ROM, No. TM-3.4, pp. 1-5, Singapore, (2005)*

² Under consideration.

SATO, Shuji, HARADA, Tatsuya and HANAI, Masahiro, *"IEC 60060-1 Requirements in Impulse Current Waveform Parameters"*, *International Journal of Emerging Electric Power Systems*, Vol. 6, Art 7. pp.1-12, 2006, June

SATO, Shuji, HARADA, Tatsuya, YOKOYAMA, Taizou, SAKAGUCHI, Sumiko, EBANA, Takao and SAITO, Tatsunori, *"Impulse Current Waveform Compliance with IEC 60060-1"*, *IEEE Trans. FM*, Vol. 125, No.8, pp.609-613, (2005)

PROAKIS, John G. and MANOLAKIS, Dimitris G. *"Introduction to Digital Signal Processing"*, Macmillan Publishing Company, New York, 1988.

RUNGIS, Y. Li, J. and PFEFFER, A. *"The Voltage and Time Parameter Measurement Uncertainties of a Large Damped Capacitor Divider due to its Non-ideal Step Response"*, *proceedings of 15th International Symposium on High Voltage Engineering*, 27 – 31 August 2007, Ljubljana, Slovenia

MALEWSKI, R., NGUYEN, C.T., FESER, K., HYLÉN-CAVALLIUS, N. *"Elimination of the skin effect error in heavy current shunts"*, *IEEE Transactions*, PAS-100, 1981

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62475:2010

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62475:2010

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	110
1 Domaine d'application	112
2 Références normatives	112
3 Termes et définitions	113
3.1 Systèmes de mesure	113
3.2 Constituants d'un système de mesure	113
3.3 Coefficients de conversion	114
3.4 Caractéristiques assignées	115
3.5 Définitions relatives au comportement dynamique	116
3.6 Définitions relatives à l'incertitude	116
3.7 Définitions relatives aux essais sur des systèmes de mesure	118
4 Procédures de qualification et d'utilisation d'un système de mesure	119
4.1 Principes généraux.....	119
4.2 Programme des essais de détermination des caractéristiques.....	119
4.3 Programme des contrôles des caractéristiques.....	120
4.4 Exigences applicables au recueil de caractéristiques	120
4.4.1 Contenu du recueil de caractéristiques	120
4.4.2 Exceptions.....	121
4.5 Conditions d'utilisation	121
4.6 Incertitude	121
5 Essais et exigences d'essai pour un système de mesure approuvé.....	122
5.1 Exigences générales	122
5.2 Etalonnage – Détermination du coefficient de conversion	123
5.2.1 Etalonnage d'un système de mesure par comparaison avec un système de mesure de référence (méthode à privilégier)	123
5.2.2 Détermination du coefficient de conversion d'un système de mesure à partir de ceux de ses constituants	127
5.3 Essai de linéarité.....	128
5.3.1 Application	128
5.3.2 Autres méthodes par ordre d'adéquation	129
5.4 Comportement dynamique.....	129
5.5 Stabilité à court terme	129
5.5.1 Méthode	129
5.5.2 Courant en régime établi	130
5.5.3 Courant de choc et courant de courte durée	131
5.5.4 Courants périodiques de choc et de courte durée	131
5.6 Stabilité à long terme	132
5.7 Effet de la température ambiante.....	132
5.8 Effet des trajets de courant voisins.....	133
5.9 Effet du logiciel	135
5.10 Calcul de l'incertitude	135
5.10.1 Généralités.....	135
5.10.2 Incertitude d'étalonnage	135
5.10.3 Incertitude de mesure utilisant un système de mesure approuvé	136
5.11 Calcul de l'incertitude de mesure des paramètres temporels (courants de choc uniquement).....	137
5.11.1 Généralités.....	137

5.11.2	Incertitude d'étalonnage des paramètres temporels	137
5.11.3	Incertitude de mesure des paramètres temporels au moyen d'un système de mesure approuvé	139
5.12	Essai de perturbations.....	139
5.12.1	Application	139
5.12.2	Shunts de conversion de courant et transformateurs de courant avec fer	140
5.12.3	Systèmes de mesure inductifs sans fer (bobines de Rogowski)	141
5.13	Essais de tenue.....	142
5.13.1	Essais de tension de tenue.....	142
5.13.2	Essais de courant de tenue	142
6	Courant continu en régime établi	143
6.1	Application	143
6.2	Termes et définitions	143
6.3	Courant d'essai	143
6.3.1	Exigences.....	143
6.3.2	Tolérances	143
6.4	Mesure du courant d'essai.....	143
6.4.1	Exigences applicables à un système de mesure approuvé.....	143
6.4.2	Contributions à l'incertitude	144
6.4.3	Comportement dynamique.....	144
6.4.4	Etalonnages et essais pour un système de mesure approuvé	144
6.4.5	Contrôle des caractéristiques	145
6.5	Mesure de l'amplitude de l'ondulation.....	145
6.5.1	Exigences applicables à un système de mesure approuvé.....	145
6.5.2	Contributions à l'incertitude	145
6.5.3	Comportement dynamique de l'ondulation	145
6.5.4	Etalonnages et essais pour un système de mesure approuvé du courant ondulatoire.....	146
6.5.5	Mesure du coefficient de conversion à la fréquence d'ondulation	146
6.5.6	Contrôle des caractéristiques du système de mesure de courant ondulatoire	146
6.6	Procédures d'essai.....	147
7	Courant alternatif en régime établi.....	147
7.1	Application	147
7.2	Termes et définitions	147
7.3	Courant d'essai	148
7.3.1	Exigences.....	148
7.3.2	Tolérances	148
7.4	Mesure du courant d'essai.....	148
7.4.1	Exigences applicables à un système de mesure approuvé.....	148
7.4.2	Contributions à l'incertitude	148
7.4.3	Comportement dynamique.....	149
7.4.4	Etalonnages et essais pour un système de mesure approuvé	151
7.4.5	Contrôle des caractéristiques	151
7.5	Procédures d'essai.....	152
8	Courant continu de courte durée	152
8.1	Application	152
8.2	Termes et définitions	153

8.3	Courants d'essai.....	153
8.3.1	Exigences relatives au courant d'essai	153
8.3.2	Tolérances	153
8.4	Mesure du courant d'essai.....	154
8.4.1	Exigences applicables à un système de mesure approuvé.....	154
8.4.2	Contributions à l'incertitude	154
8.4.3	Comportement dynamique.....	154
8.4.4	Etalonnages et essais pour un système de mesure approuvé	155
8.4.5	Contrôle des caractéristiques	155
8.4.6	Essai de linéarité.....	156
8.5	Procédures d'essai.....	156
9	Courant alternatif de courte durée	156
9.1	Application	156
9.2	Termes et définitions	157
9.3	Courant d'essai	158
9.3.1	Exigences relatives au courant d'essai	158
9.3.2	Tolérances	158
9.4	Mesure du courant d'essai.....	159
9.4.1	Exigences applicables à un système de mesure approuvé.....	159
9.4.2	Contributions à l'incertitude	159
9.4.3	Comportement dynamique.....	159
9.4.4	Etalonnages et essais pour un système de mesure approuvé	161
9.4.5	Contrôle des caractéristiques	162
9.4.6	Essai de linéarité.....	162
9.4.7	Essai de perturbations.....	162
9.5	Procédures d'essai.....	162
10	Courants de choc	163
10.1	Application	163
10.2	Termes et définitions	163
10.3	Courant d'essai.....	167
10.3.1	Généralités.....	167
10.3.2	Tolérances	167
10.4	Mesure du courant d'essai.....	168
10.4.1	Exigences applicables à un système de mesure approuvé.....	168
10.4.2	Contributions à l'incertitude	168
10.4.3	Comportement dynamique.....	168
10.4.4	Etalonnages et essais pour un système de mesure approuvé	170
10.4.5	Contrôle des caractéristiques	170
10.5	Procédures d'essai.....	171
11	Mesure du courant lors d'essais diélectriques à haute tension	171
11.1	Application	171
11.2	Termes et définitions	172
11.3	Mesure du courant d'essai.....	172
11.3.1	Exigences applicables à un système de mesure approuvé.....	172
11.3.2	Contributions à l'incertitude	172
11.3.3	Comportement dynamique.....	172
11.3.4	Etalonnages et essais pour un système de mesure approuvé	172
11.3.5	Contrôle des caractéristiques	173
11.3.6	Essai de linéarité.....	173

11.3.7 Essai de perturbations.....	173
11.4 Procédures d'essai.....	173
12 Systèmes de mesure de référence	173
12.1 Généralités.....	173
12.2 Intervalle entre étalonnages successifs de systèmes de mesure de référence	174
Annexe A (informative) Incertitude de mesure.....	175
Annexe B (informative) Exemples de calcul de l'incertitude dans les mesures à haute intensité.....	183
Annexe C (informative) Mesures de la réponse indicielle	189
Annexe D (informative) Méthode de convolution pour l'estimation du comportement dynamique à partir des mesures des réponses indicielles	192
Annexe E (informative) Contraintes liées à certaines formes d'onde	196
Annexe F (informative) Echauffement des résistances de mesure.....	199
Annexe G (informative) Détermination des valeurs efficaces de courant alternatif de courte durée	200
Annexe H (informative) Exemples de normes CEI relatives aux essais à haute intensité.....	207
Bibliographie.....	209
Figure 1 – Exemples de réponses amplitude/fréquence pour les fréquences limites (f_1 ; f_2).....	116
Figure 2 – Etalonnage par comparaison sur l'ensemble de l'étendue de mesure affectée	125
Figure 3 – Contributions à l'incertitude de l'étalonnage (exemple avec un minimum de 5 niveaux de courant)	125
Figure 4 – Etalonnage par comparaison sur un domaine de courant limité, avec un essai de linéarité (voir 5.3) permettant une extension jusqu'à la valeur la plus élevée de l'étendue de mesure affectée	126
Figure 5 – Essai de linéarité du système de mesure avec un dispositif linéaire dans la plage de tension étendue.....	128
Figure 6 – Essai de stabilité à court terme pour un courant en régime établi.....	130
Figure 7 – Essai de stabilité à court terme pour un courant de choc et un courant de courte durée	131
Figure 8 – Essai de stabilité à court terme pour des courants périodiques de choc et de courte durée	132
Figure 9 – Circuit d'essai de l'effet du trajet de courant voisin pour des shunts de conversion de courant et des transformateurs de courant avec fer.....	134
Figure 10 – Circuit d'essai de l'effet du trajet de courant voisin pour des systèmes de mesure inductifs sans fer (bobines de Rogowski).....	134
Figure 11 – Principe du circuit d'essai de perturbations	140
Figure 12 – Essai de perturbations réalisé sur le système de mesure $i_1(t)$, fondé sur un shunt de conversion de courant ou un transformateur de courant avec fer dans un montage d'essai en court-circuit triphasé typique (exemple)	141
Figure 13 – Circuit d'essai de perturbations pour des systèmes inductifs sans fer.....	142
Figure 14 – Réponse amplitude-fréquence normalisée acceptable d'un système de mesure du courant alternatif pour une fréquence fondamentale unique f_{nom}	149
Figure 15 – Réponse amplitude-fréquence normalisée acceptable d'un système de mesure du courant alternatif pour une gamme de fréquences fondamentales f_{nom1} à f_{nom2}	150

Figure 16 – Exemple de courant continu de courte durée.....	152
Figure 17 – Exemple de courant alternatif de courte durée	157
Figure 18 – Courant de choc exponentiel	163
Figure 19 – Courant de choc exponentiel – oscillations sur la queue.....	164
Figure 20 – Courant de choc – Rectangulaire, lisse	164
Figure 21 – Courant de choc – Rectangulaire avec oscillations	165
Figure A.1 – Loi normale $p(x)$ d'une variable aléatoire continue x	182
Figure A.2 – Loi de probabilité rectangulaire symétrique $p(x)$ de l'estimation x d'une grandeur d'entrée X	182
Figure B.1 – Comparaison entre le système en cours d'étalonnage X et le système de référence N	188
Figure C.1 – Circuit de génération d'échelon de courant au moyen d'un câble coaxial	189
Figure C.2 – Circuit de génération d'échelon de courant au moyen d'un condensateur	190
Figure C.3 – Définition des paramètres de réponse par rapport à la réponse individuelle	191
Figure E.1 – Zone grisée montrant les combinaisons réalisables de paramètres temporels pour le courant de choc 8/20 avec un sous-dépassement maximal de 20 % et une tolérance de 20 % sur les paramètres temporels	197
Figure E.2 – Zone limite des paramètres temporels réalisables en fonction du sous- dépassement admissible pour des formes d'onde de courant de choc 8/20	197
Figure E.3 – Zone limite des paramètres temporels réalisables en fonction du sous- dépassement admissible pour un courant de choc 30/80	198
Figure G.1 – Circuit équivalent d'essai de court-circuit.....	200
Figure G.2 – Composante alternative symétrique d'un courant alternatif de court-circuit	201
Figure G.3 – Evaluation numérique de la valeur efficace démontrant à la fois le courant instantané et le carré instantané du courant	202
Figure G.4 – Méthode des trois crêtes	203
Figure G.5 – Evaluation de la valeur efficace conventionnelle d'un courant d'arc par la méthode des trois crêtes.....	204
Figure G.6 – Evaluation de la valeur efficace équivalente d'un courant de courte durée au cours d'un essai de court-circuit.....	205
Figure G.7 – Relation entre le facteur de crête k et le facteur de puissance $\cos(\varphi)$	206
Tableau 1 – Essais exigés pour le courant continu en régime établi.....	144
Tableau 2 – Essais exigés pour le courant ondulatoire.....	146
Tableau 3 – Essais exigés pour le courant alternatif en régime établi	151
Tableau 4 – Exigence de tolérance des paramètres d'essai de courant continu de courte durée	154
Tableau 5 – Essais exigés pour un courant continu de courte durée	155
Tableau 6 – Exigences de tolérance applicables aux paramètres d'essai de courant alternatif de courte durée	159
Tableau 7 – Liste des essais typiques réalisés dans un laboratoire d'essai à haute intensité et gamme de fréquences minimales exigée du système de mesure.....	160
Tableau 8 – Exigences de tolérance du coefficient de conversion	160
Tableau 9 – Essais exigés pour un courant alternatif de courte durée	161
Tableau 10 – Exemples de types de courants de choc exponentiels	167
Tableau 11 – Essais exigés pour le courant de choc	170

Tableau 12 – Essais exigés pour le courant de choc dans le cadre d'essais diélectriques à haute tension	172
Tableau A.1 – Facteur d'élargissement k pour un nombre effectif de degrés de liberté ν_{eff} ($p = 95,45 \%$)	181
Tableau A.2 – Présentation d'un bilan des incertitudes	181
Tableau B.1 – Résultat de la mesure comparative	185
Tableau B.2 – Résultat de la mesure comparative	185
Tableau B.3 – Bilan des incertitudes d'étalonnage du coefficient de conversion F_x	186
Tableau B.4 – Résultat de l'essai de linéarité.....	187
Tableau B.5 – Bilan des incertitudes du coefficient de conversion $F_{x,\text{mes}}$	188
Tableau H.1 – Liste d'essais types utilisant un courant alternatif de courte durée	207
Tableau H.2 – Liste d'essais types utilisant un courant de choc exponentiel	208
Tableau H.3 – Liste d'essais types utilisant un courant de choc rectangulaire.....	208

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62475:2010

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

TECHNIQUES DES ESSAIS À HAUTE INTENSITÉ – DÉFINITIONS ET EXIGENCES RELATIVES AUX COURANTS D'ESSAI ET SYSTÈMES DE MESURE

AVANT-PROPOS

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

La Norme Internationale CEI 62475 a été établie par le comité d'études 42 de la CEI: Technique des essais à haute tension.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
42/278/FDIS	42/283/RVD

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.

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.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62475:2010

TECHNIQUES DES ESSAIS À HAUTE INTENSITÉ – DÉFINITIONS ET EXIGENCES RELATIVES AUX COURANTS D'ESSAI ET SYSTÈMES DE MESURE

1 Domaine d'application

La présente Norme internationale s'applique aux essais et mesures à haute intensité sur des matériels haute et basse tensions. Elle couvre les essais à haute intensité en courant continu et courant alternatif en régime établi et de courte durée ainsi que des essais de courant de choc. De manière générale, la présente Norme internationale prend en compte des courants de plus de 100 A, même si des intensités moindres peuvent apparaître dans les essais.

NOTE La présente norme couvre également la détection de défauts, comme par exemple dans le cadre d'essais aux chocs de foudre.

La présente norme:

- définit les termes utilisés;
- définit les paramètres et leurs tolérances;
- décrit des méthodes d'estimation des incertitudes de mesures à haute intensité;
- détermine les exigences auxquelles un système de mesure complet doit satisfaire;
- décrit les méthodes à utiliser pour qualifier un système de mesure et pour en contrôler les différents constituants;
- décrit les procédures permettant à l'utilisateur de démontrer qu'un système de mesure respecte les exigences de la présente norme, y compris les limites établies pour l'incertitude de mesure.

2 Références normatives

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

CEI 60051-2:1984, *Appareils mesureurs électriques indicateurs analogiques à action directe et leurs accessoires – Deuxième partie: Prescriptions particulières pour les ampèremètres et les voltmètres*

CEI 60060-1:2010, *Techniques d'essais à haute tension – Partie 1: Définitions et prescriptions générales relatives aux essais*

CEI 61180-1, *Techniques des essais à haute tension pour matériels à basse tension – Partie 1: Définitions, prescriptions et modalités relatives aux essais*

Guide ISO/CEI 98-3:2008, *Incertitude de mesure – Partie 3: Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure (GUM) (GUM 1995)*

NOTE D'autres normes, guides apparentés, etc., relatifs aux sujets traités dans la présente norme sont fournis dans la bibliographie.

3 Termes et définitions

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

3.1 Systèmes de mesure

3.1.1

système de mesure

ensemble complet de dispositifs utilisable pour réaliser des mesures d'une grandeur à mesurer (mesurande). Le logiciel utilisé pour obtenir ou calculer les résultats de mesure fait également partie du système de mesure

NOTE 1 Un système de mesure à haute intensité comprend généralement les constituants suivants:

- un dispositif de conversion muni soit de bornes pour raccorder le dispositif au circuit, soit d'un couplage approprié au circuit, et les liaisons à la terre;
- un (des) système(s) de transmission reliant les bornes de sortie du dispositif de conversion à (l') aux instrument(s) de mesure et comprenant les impédances ou réseaux d'atténuation, de terminaison et d'adaptation; et
- un (des) instrument(s) de mesure, y compris leurs éventuelles connexions à l'alimentation en énergie.

Les systèmes de mesure qui ne comprennent que quelques-uns des constituants mentionnés ci-dessus, ou qui sont basés sur des principes de mesure non conventionnels, sont acceptables s'ils satisfont aux exigences d'incertitude spécifiées dans la présente norme.

NOTE 2 L'environnement dans lequel un système de mesure fonctionne, ses distances de garde par rapport à des structures sous tension, conductrices et mises à la terre, ainsi que la présence de champs électromagnétiques, peuvent affecter de manière significative le résultat de mesure et son incertitude.

3.1.2

recueil de caractéristiques

recueil détaillé, établi et conservé par l'utilisateur, décrivant le système de mesure et comprenant la preuve que les exigences décrites dans la présente norme sont satisfaites. De telles preuves comprennent les résultats de l'essai de détermination des caractéristiques initial ainsi que le programme et les résultats de chacun des essais de détermination et de contrôle des caractéristiques réalisés ultérieurement

3.1.3

système de mesure approuvé

système de mesure dont la conformité à un ou à plusieurs ensembles d'exigences imposées dans le présent norme a été prouvée

3.1.4

système de mesure de référence

système de mesure dont l'étalonnage fait référence à des étalons nationaux et/ou internationaux pertinents et dont la précision et la stabilité sont suffisantes pour être utilisés lors de l'approbation d'autres systèmes en réalisant des mesures comparatives simultanées avec des types spécifiques de formes d'onde et de gammes de courant

NOTE Un système de mesure de référence (tenu à jour suivant les exigences de la présente norme) peut être utilisé en tant que système de mesure approuvé, mais l'inverse n'est pas vrai.

3.2 Constituants d'un système de mesure

3.2.1

dispositif de conversion

dispositif qui convertit la grandeur à mesurer (mesurande) en une autre grandeur compatible avec l'instrument de mesure

3.2.2

shunt de conversion de courant

résistance pour laquelle la tension est proportionnelle au courant à mesurer

3.2.3

transformateur de courant

transformateur de mesure dans lequel le courant secondaire est, dans les conditions normales d'emploi, pratiquement proportionnel au courant primaire et déphasé par rapport à celui-ci d'un angle approximativement nul pour un sens approprié des connexions

[CEI 60050-321:1986, 321-02-01]

NOTE Les transformateurs de courant sont en général définis pour une fréquence unique; cependant, certaines conceptions spéciales peuvent utiliser une gamme de fréquences étendue.

3.2.4

bobine de Rogowski

dispositif inductif de conversion du courant sans fer; les systèmes de mesure fondés sur une bobine de Rogowski comprennent un circuit intégrateur (passif, actif ou numérique)

NOTE Les systèmes de mesure fondés sur une bobine de Rogowski peuvent être conçus pour des mesures de courant dans une gamme de fréquences étendue.

3.2.5

système de transmission

ensemble de dispositifs transmettant le signal de sortie d'un dispositif de conversion à un (des) instrument(s) de mesure

NOTE 1 Un système de transmission est en général composé d'un câble coaxial avec ses impédances terminales, mais peut aussi comprendre des atténuateurs, des amplificateurs ou d'autres dispositifs raccordés entre le dispositif de conversion et l'(les) instrument(s) de mesure. Par exemple, une liaison optique comprend un transmetteur, un câble optique et un récepteur, ainsi que les amplificateurs associés.

NOTE 2 Un système de transmission peut être inclus, en partie ou en totalité, dans le dispositif de conversion ou dans l'instrument de mesure.

3.2.6

instrument de mesure

dispositif destiné à être utilisé pour faire des mesures, seul ou associé à un ou plusieurs dispositifs annexes

[CEI 60050-300:2001, 311-03-01]

3.3 Coefficients de conversion

3.3.1

coefficient de conversion d'un système de mesure

coefficient par lequel la valeur lue sur l'instrument de mesure est à multiplier pour obtenir la valeur de la grandeur d'entrée du système de mesure complet

NOTE 1 Un système de mesure peut comporter plusieurs coefficients de conversion pour différents domaines de courants, gammes de fréquences ou formes d'onde.

NOTE 2 Certains systèmes de mesure affichent directement la valeur de la grandeur d'entrée (c'est-à-dire que le coefficient de conversion du système de mesure est égal à l'unité).

3.3.2

coefficient de conversion d'un dispositif de conversion

coefficient par lequel la sortie du dispositif de conversion est à multiplier pour obtenir sa grandeur d'entrée

NOTE Le coefficient de conversion d'un dispositif de conversion peut être sans dimension (par exemple, le rapport d'un transformateur de courant) ou peut être dimensionné (par exemple, en rapport avec l'impédance d'un shunt de conversion de courant).

3.3.3**coefficient de conversion d'un système de transmission**

coefficient par lequel la sortie d'un système de transmission est à multiplier pour obtenir sa grandeur d'entrée

3.3.4**coefficient de conversion d'un instrument de mesure**

coefficient par lequel la valeur lue sur l'instrument est à multiplier pour obtenir sa grandeur d'entrée

3.3.5**coefficient de conversion affecté**

F

coefficient de conversion d'un système de mesure déterminé lors du dernier essai de détermination des caractéristiques

NOTE Un système de mesure peut avoir plusieurs coefficients de conversion affectés; il peut par exemple avoir plusieurs étendues de mesure ayant chacune un coefficient de conversion différent.

3.4 Caractéristiques assignées**3.4.1****conditions d'utilisation**

conditions dans lesquelles un système de mesure fonctionne dans les limites d'incertitude spécifiées

3.4.2**courant assigné**

niveau maximal de courant, de fréquence ou de forme d'onde spécifiée, auquel un système de mesure est conçu pour être utilisé

NOTE Le courant assigné peut être plus élevé que la limite supérieure de l'étendue de mesure affectée.

3.4.3**étendue de mesure affectée**

domaine de courant, de fréquence ou de forme d'onde spécifiée, dans lequel un système de mesure peut être utilisé dans les limites d'incertitude données par la présente norme, caractérisé par un coefficient de conversion unique

NOTE 1 Les limites de l'étendue de mesure affectée sont choisies par l'utilisateur et vérifiées en réalisant les essais de détermination des caractéristiques spécifiés dans la présente norme.

NOTE 2 Un système de mesure peut avoir plusieurs étendues de mesure affectées, avec différents coefficients de conversion établis pour les différentes étendues.

3.4.4**durée de fonctionnement affectée**

durée la plus longue au cours de laquelle un système de mesure en courant alternatif ou en courant continu peut fonctionner à la limite supérieure de l'étendue de mesure affectée compte tenu des limites d'incertitude données dans la présente norme

3.4.5**fréquence d'application affectée**

fréquence la plus élevée de courants de courte durée ou de courants de chocs spécifiés, qui peut être appliquée dans un intervalle de temps donné, auquel le système de mesure peut fonctionner à la limite supérieure de l'étendue de mesure affectée et rester dans les limites d'incertitude données dans la présente norme

NOTE La fréquence d'application affectée peut, par exemple, être exprimée comme le nombre d'applications par minute et l'intervalle de temps en minutes ou en heures.

3.5 Définitions relatives au comportement dynamique

3.5.1

réponse d'un système de mesure

g ou G

grandeur de sortie, exprimée en fonction du temps ou de la fréquence, lorsqu'un courant donné est appliqué à l'entrée du système

3.5.2

réponse amplitude-fréquence

$G(f)$

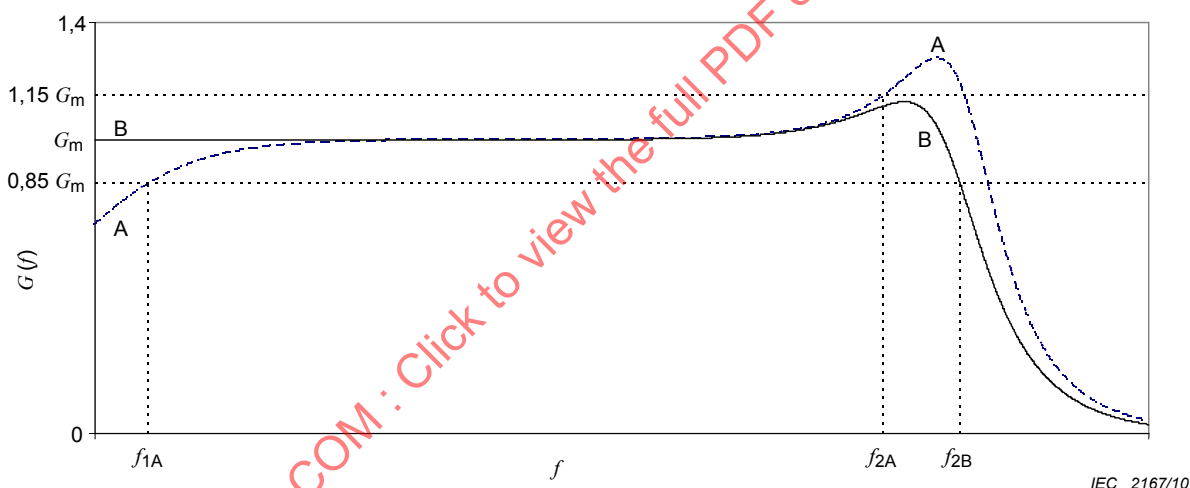
rapport de la grandeur de sortie à la grandeur d'entrée d'un système de mesure en fonction de la fréquence f , lorsque la grandeur d'entrée est sinusoïdale

3.5.3

fréquences limites

limites inférieure et supérieure du domaine à l'intérieur duquel la réponse amplitude/fréquence est pratiquement constante

NOTE Ces limites sont celles où la réponse s'écarte pour la première fois d'une certaine quantité (par exemple $\pm 15\%$) par rapport à la valeur constante. Il convient que l'écart admissible tienne compte des incertitudes acceptables d'un système de mesure (voir Figure 1).



NOTE Les fréquences limites supérieure et inférieure sont illustrées sur la courbe A. La courbe B montre une réponse constante descendante par rapport au courant direct.

Figure 1 – Exemples de réponses amplitude/fréquence pour les fréquences limites (f_1 ; f_2)

3.5.4

réponse indicielle

$g(t)$

grandeur de sortie d'un système de mesure en fonction du temps, t , lorsque la grandeur d'entrée est un échelon

NOTE Pour plus d'informations concernant la mesure des réponses indicielles, voir l'Annexe C.

3.6 Définitions relatives à l'incertitude

3.6.1

tolérance

différence admise entre la valeur mesurée et la valeur spécifiée pour l'essai

NOTE 1 Il convient de distinguer cette différence de l'incertitude d'une mesure.

NOTE 2 Il est exigé que le courant d'essai mesuré se situe dans la tolérance déclarée du niveau d'essai spécifié. Il convient que le comité d'études concerné spécifie les niveaux d'essai.

3.6.2

incertitude (de mesure)

paramètre, associé à un résultat de mesure, qui caractérise la dispersion des valeurs qui pourraient être raisonnablement attribuées au mesurande

[CEI 60050-300:2001, 311-01-02]

NOTE 1 L'incertitude est positive et indiquée sans signe.

NOTE 2 Il convient de ne pas confondre l'incertitude d'une mesure avec la tolérance d'une valeur ou d'un paramètre spécifié pour un essai donné.

NOTE 3 Pour plus d'informations, voir l'Annexe A et l'Annexe B.

3.6.3

incertitude-type

u

incertitude du résultat de mesure exprimée comme un écart-type

[Guide ISO/CEI 98-3:2008, GUM 2.3.1]

NOTE 1 L'incertitude-type associée à une estimation du mesurande a la même dimension que le mesurande.

NOTE 2 Dans certains cas, l'incertitude-type relative d'une mesure peut convenir. L'incertitude-type relative d'une mesure est l'incertitude-type divisée par le mesurande, et elle est par conséquent sans dimensions.

3.6.4

incertitude-type combinée

u_c

incertitude-type du résultat de mesure lorsque ce résultat est obtenu à partir des valeurs d'un certain nombre d'autres grandeurs égales à la racine carrée positive d'une somme de termes, ces termes étant les variances ou covariances de ces autres grandeurs, pondérées selon la manière dont le résultat de mesure varie en fonction de la modification de ces grandeurs

[Guide ISO/CEI 98-3:2008, GUM 2.3.4]

3.6.5

incertitude élargie

U

grandeur définissant un intervalle autour du résultat d'une mesure, dont on peut s'attendre à ce qu'il comprenne une fraction importante de la distribution des valeurs qui pourraient raisonnablement être attribuées au mesurande

[Guide ISO/CEI 98-3:2008, GUM 2.3.5, modifiée, c'est-à-dire, sans les notes]

NOTE L'incertitude élargie est la notion la plus proche du terme « incertitude globale » utilisé dans des éditions antérieures des documents correspondants.

3.6.6

facteur d'élargissement

k

facteur numérique utilisé comme multiplicateur de l'incertitude-type combinée pour obtenir l'incertitude élargie

[Guide ISO/CEI 98-3:2008, GUM 2.3.6, modifiée, c'est-à-dire, sans la note]

NOTE Pour une probabilité de couverture de 95 % et une loi de probabilité normale (Gaussienne), le facteur d'élargissement est environ égal à 2.

3.6.7

erreur

différence entre la valeur mesurée d'une grandeur et une valeur de référence

[Guide ISO/CEI 99:2007, VIM 2.1.6]

3.6.8

traçabilité

propriété du résultat d'une mesure ou de la valeur d'un étalon telle qu'elle puisse être reliée à des références déterminées, généralement des étalons nationaux ou internationaux, par l'intermédiaire d'une chaîne ininterrompue de comparaisons ayant toutes des incertitudes déterminées

[CEI 60050-300:2001, 311-01-15, modifiée, c'est-à-dire, sans les notes]

3.6.9

évaluation de type A

méthode d'évaluation de l'incertitude par analyse statistique des observations

3.6.10

évaluation de type B

méthode d'évaluation de l'incertitude par des moyens autres qu'une analyse statistique de séries d'observations

3.6.11

Institut National de Métrologie

institut désigné par décision sur le plan national pour développer et maintenir des étalons de mesure nationaux pour une ou plusieurs grandeurs

3.7 Définitions relatives aux essais sur des systèmes de mesure

3.7.1

étalonnage

ensemble des opérations établissant, en référence à des étalons, la relation qui existe, dans les conditions spécifiées, entre une indication et un résultat de mesure

NOTE 1 Cette définition est conçue dans l'approche « incertitude ».

NOTE 2 La relation entre les indications et les résultats de mesures peut être donnée, en principe, dans un diagramme d'étalonnage.

NOTE 3 La détermination du coefficient de conversion est incluse dans l'étalonnage.

[CEI 60050-300:2001, 311-01-09, modifiée, c'est-à-dire par l'addition de la NOTE 3]

3.7.2

essai de type

essai de conformité effectué sur une ou plusieurs entités représentatives de la production

[CEI 60050-151:2001, 151-16-16]

NOTE Pour un système de mesure, ce terme est généralement compris au sens d'un essai réalisé sur un constituant ou sur un système de mesure complet de même conception pour en déterminer les caractéristiques dans des conditions d'utilisation.

3.7.3

essai individuel de série

essai de conformité effectué sur chaque entité en cours ou en fin de fabrication

[CEI 60050-151:2001, 151-16-17]

NOTE Pour un système de mesure, ce terme est généralement compris au sens d'un essai réalisé sur chaque constituant ou sur chaque système de mesure complet, en cours ou en fin de fabrication, pour en déterminer les caractéristiques dans des conditions d'utilisation.

3.7.4

essai de détermination des caractéristiques

essai effectué sur un système de mesure complet pour en déterminer les caractéristiques dans des conditions d'utilisation

3.7.5

contrôle des caractéristiques

procédure simplifiée permettant de s'assurer que le résultat de l'essai de détermination des caractéristiques le plus récent est toujours valide

4 Procédures de qualification et d'utilisation d'un système de mesure

4.1 Principes généraux

Chaque système de mesure approuvé doit être soumis à des essais initiaux, suivis par des essais ultérieurs de détermination (périodiques, voir 4.2) et de contrôle des caractéristiques (périodiques, voir 4.3) tout au long de sa durée de vie. Les essais initiaux comprennent des essais de type (réalisés sur un constituant ou un système de même conception) et des essais individuels de série (réalisés sur chaque constituant ou système).

Les essais de détermination et les contrôles des caractéristiques doivent démontrer que le système de mesure peut mesurer les courants d'essai envisagés, dans les limites d'incertitude données par la présente norme et que les mesures font référence à des étalons de mesure nationaux et/ou internationaux. Le système est approuvé uniquement pour les configurations d'installation et les conditions d'utilisation décrites dans son recueil de caractéristiques.

La stabilité d'un dispositif de conversion, de système(s) de transmission et d'appareil(s) de mesure utilisés dans un système de mesure donné, dans leur domaine spécifié de conditions d'utilisation, est une exigence majeure pour que le coefficient de conversion du système de mesure demeure constant pendant de longues périodes.

Le coefficient de conversion affecté est établi lors de l'essai de détermination des caractéristiques.

Les installations d'essai doivent utiliser les essais donnés dans la présente norme jusqu'à la qualification de leurs systèmes de mesure. Il est également admis qu'un utilisateur opte pour la réalisation des essais de détermination des caractéristiques par un Institut National de Métrologie ou par un laboratoire d'étalonnage accrédité pour la grandeur à étalonner.

Tout étalonnage doit faire référence à des étalons nationaux et/ou internationaux. Il incombe à l'utilisateur de s'assurer que tous les étalonnages sont effectués par un personnel compétent, au moyen de systèmes de mesure de référence et de procédures appropriées.

NOTE Les étalonnages réalisés par un laboratoire accrédité conformément à l'ISO/CEI 17025 pour les grandeurs étalonnées et indiquées dans l'accréditation, sont considérés faire référence à des étalons de mesure nationaux et/ou internationaux.

4.2 Programme des essais de détermination des caractéristiques

Pour conserver la qualité d'un système de mesure, son ou ses coefficients de conversion affectés doivent être déterminés en réalisant périodiquement les essais de détermination des caractéristiques selon 5.2. L'intervalle entre les essais de détermination des caractéristiques doit tenir compte de l'évaluation de la stabilité historique du système de mesure. Il est

recommandé de répéter les essais de détermination des caractéristiques tous les ans et dans tous les cas il doit être répété au moins une fois tous les cinq ans.

NOTE Des intervalles longs entre les essais de détermination des caractéristiques peuvent accroître le risque qu'une altération du système de mesure passe inaperçue.

L'essai de détermination des caractéristiques doit être répété après des réparations majeures du système de mesure et à chaque fois qu'une configuration de circuit hors des limites indiquées dans le recueil de caractéristiques doit être utilisée.

Lorsque le contrôle des caractéristiques montre que le coefficient de conversion affecté n'est plus valable et que par conséquent, un essai de détermination des caractéristiques est exigé, la raison de cette modification doit être recherchée avant la réalisation de l'essai de détermination des caractéristiques.

4.3 Programme des contrôles des caractéristiques

Les contrôles des caractéristiques doivent être réalisés à des intervalles tenant compte de la stabilité historique du système de mesure telle qu'elle apparaît dans le recueil de caractéristiques. Il convient que l'intervalle de temps depuis le dernier essai de détermination des caractéristiques ou le dernier contrôle des caractéristiques ne soit pas supérieur à une année.

Pour un système de mesure nouveau ou réparé, les contrôles des caractéristiques doivent être effectués à des intervalles courts afin d'en démontrer la stabilité.

Aucune méthode de référence n'est proposée pour les contrôles des caractéristiques car la précision requise est moindre que pour les essais de détermination des caractéristiques.

4.4 Exigences applicables au recueil de caractéristiques

4.4.1 Contenu du recueil de caractéristiques

Les résultats de tous les essais et contrôles, ainsi que leurs conditions d'obtention, doivent être conservés dans le recueil de caractéristiques (en format papier ou électronique si cela est autorisé par les systèmes qualité et la réglementation locale) établi et tenu à jour par l'utilisateur. Le recueil de caractéristiques doit identifier de manière unique les constituants du système de mesure et doit être structuré de sorte que la traçabilité des caractéristiques de fonctionnement du système de mesure soit assurée dans le temps.

Le recueil de caractéristiques doit au moins comprendre les informations suivantes:

- une description générale du système de mesure;
- les résultats des essais de type et des essais individuels de série du dispositif de conversion, du ou des systèmes de transmission, du ou des instruments de mesure et, le cas échéant, du système de mesure complet;
- les résultats des essais ultérieurs de détermination des caractéristiques réalisés sur le système de mesure;
- les résultats des contrôles ultérieurs des caractéristiques réalisés sur le système de mesure.

NOTE La description générale du système de mesure comprend habituellement les principales caractéristiques et capacités du système de mesure, telles que le courant assigné, la (les) forme(s) d'onde, le(s) domaine(s) de distances de garde, la durée de fonctionnement ou la fréquence maximale d'application du courant. Pour de nombreux systèmes de mesure, les informations concernant le système de transmission ainsi que les configurations de retour par la terre et de mise à la terre sont d'une importance fondamentale. Si nécessaire, il convient de fournir une description des constituants du système de mesure en incluant, par exemple, le type et l'identification de l'instrument de mesure.

4.4.2 Exceptions

Dans le cas de systèmes de mesure ou de constituants fabriqués avant la date de publication de la présente norme, il est possible que les éléments de preuve exigés pour certains des essais de type et des essais individuels de série (par exemple, 5.7 et 5.13) ne soient pas disponibles. Dans ce cas, les essais de détermination des caractéristiques (conformément au 6.4.4, 7.4.4, 8.4.4, 9.4.4 ou 10.4.4, selon le cas) et les contrôles réalisés sur la base de normes antérieures, sont considérés convenir, à condition qu'ils démontrent la stabilité du coefficient de conversion. Les résultats de ces contrôles précédents doivent également être intégrés au recueil de caractéristiques.

Les systèmes de mesure constitués de plusieurs équipements interchangeables, peuvent faire l'objet d'un seul recueil de caractéristiques, organisé de façon à couvrir toutes les combinaisons possibles avec un minimum de redites. Plus précisément, chaque dispositif de conversion doit faire l'objet d'un traitement individuel, mais les systèmes de transmission et les instruments de mesure peuvent être traités globalement.

4.5 Conditions d'utilisation

Le shunt de conversion de courant et/ou le transformateur de courant d'un système de mesure du courant doivent être connectés en série avec l'objet en essai. Il convient que l'impédance des connexions soit la plus faible possible.

La bobine de Rogowski d'un système de mesure du courant doit être concentrique à une partie rectiligne du circuit conducteur. Il convient que les axes du conducteur de courant et le plan de la bobine soient perpendiculaires afin de réduire la sensibilité du système par rapport à des champs magnétiques externes.

NOTE 1 La direction d'un circuit conducteur présente souvent un angle de 90° à une certaine distance de la bobine de Rogowski. Il a été démontré que l'influence est négligeable lorsque la bobine de Rogowski est située à une distance supérieure à 2 fois son rayon par rapport à l'angle de 90° .

NOTE 2 Il est possible que le couplage parasite doive être examiné.

L'incertitude d'un système de mesure doit être suffisamment basse pour ses conditions d'utilisation prévues.

La durée de fonctionnement affectée de systèmes de mesure du courant continu et alternatif doit être précisée.

NOTE 3 La durée de fonctionnement affectée minimale recommandée est 1 h.

La fréquence d'application affectée des courants de courte durée ou des courants de choc doit être spécifiée.

NOTE 4 La valeur minimale recommandée pour la fréquence maximale d'application est de deux par minute.

La gamme de conditions environnementales dans laquelle le système de mesure satisfait aux exigences de la présente norme doit être indiquée.

4.6 Incertitude

L'incertitude de toutes les mesures effectuées dans le cadre de la présente norme doit être évaluée selon le Guide ISO/CEI 98-3.

Les procédures d'évaluation des incertitudes sont extraites du Guide ISO/CEI 98-3 et décrites dans la présente norme. Elles sont considérées comme suffisantes pour les configurations d'instruments et de mesures généralement utilisées dans le cadre d'essais à haute intensité: les utilisateurs peuvent toutefois choisir d'autres procédures appropriées dans le Guide ISO/CEI 98-3, telles qu'elles sont mentionnées dans les Annexes A et B.

En général, le mesurande est le coefficient de conversion du système de mesure, mais dans certains cas, il convient de tenir compte d'autres grandeurs, telles que les paramètres temporels des chocs de courant de grande amplitude et leurs erreurs associées.

NOTE 1 Il est commun d'utiliser d'autres mesurandes pour des dispositifs de conversion spécifiques. Par exemple, un shunt de conversion de courant est caractérisé par la valeur de sa résistance et les incertitudes correspondantes dans les domaines utilisés. Un transformateur de courant est caractérisé par l'erreur du rapport, le déphasage et les incertitudes correspondantes.

Selon le Guide ISO/CEI 98-3, l'incertitude d'un mesurande est déterminée en combinant les contributions à l'incertitude de type A et de type B (voir l'Annexe A). Ces contributions sont obtenues à partir des résultats de mesure extraits des manuels des constructeurs, des certificats d'étalonnage, ainsi qu'à partir d'une estimation des valeurs raisonnables des grandeurs d'influence pendant les mesures. Les grandeurs d'influence incluent, par exemple, les effets de température, les perturbations (effet des trajets de courant voisins), etc.

NOTE 2 La résolution d'un instrument de mesure, par exemple un appareil comportant peu de chiffres significatifs, peut dans certains cas constituer une source d'incertitude importante.

Au cours d'un essai de courant réel en laboratoire, il est généralement nécessaire de tenir compte des grandeurs d'influence supplémentaires, outre l'incertitude d'étalonnage du coefficient de conversion tel qu'établi dans le certificat d'étalonnage, de manière à obtenir l'incertitude d'une mesure du courant d'essai.

L'Article 5, l'Annexe A et l'Annexe B fournissent des recommandations permettant de déterminer les contributions à l'incertitude dont il faut tenir compte ainsi que leurs combinaisons. L'incertitude doit être donnée comme l'incertitude élargie pour une probabilité de couverture d'environ 95 %, correspondant dans la plupart des cas à un facteur d'élargissement $k = 2$, si l'on suppose une loi normale.

NOTE 3 Dans la présente norme, les incertitudes du coefficient de conversion et des mesures du courant (5.2 à 5.10) sont exprimées par les incertitudes relatives en lieu et place de l'incertitude absolue normalement prise en compte dans le Guide ISO/CEI 98-3. L'application directe du GUM et la prise en compte des incertitudes absolues sont indiquées en 5.11 pour les paramètres temporels, ainsi que dans les Annexes A et B.

5 Essais et exigences d'essai pour un système de mesure approuvé

5.1 Exigences générales

Le coefficient de conversion affecté du système de mesure est déterminé par étalonnage en fonction de l'essai de détermination des caractéristiques spécifié. Le coefficient de conversion affecté est une valeur unique pour une certaine gamme de courants, qui est l'étendue de mesure affectée. Il est possible, si nécessaire, de définir plusieurs étendues de mesure affectées ayant différents coefficients de conversion.

Dans le cas des systèmes de mesure du courant de choc ainsi que des systèmes de mesure de courant alternatif/continu de courte durée, l'essai de détermination des caractéristiques démontre également que la réponse dynamique du système convient aux mesures spécifiées et que le niveau des éventuelles perturbations est inférieur aux limites spécifiées.

Pour les essais à haute intensité, la dimension des appareils, les niveaux de courant utilisés et l'interaction entre les circuits d'essai et de mesure sont tels qu'il est souvent préférable d'effectuer les étalonnages à l'installation d'essai de l'utilisateur.

Toutefois, les systèmes de mesure ou leurs constituants peuvent être transportés dans un autre laboratoire pour étalonnage dans une configuration simulant les conditions d'utilisation, à condition que l'essai de perturbations éventuellement prescrit soit réalisé dans l'installation d'essai de l'utilisateur. La configuration d'essai doit être représentative des conditions d'utilisation et doit également être décrite dans le recueil de caractéristiques.

Si un dispositif de conversion (et/ou un autre constituant du système de mesure) est sensible à la présence de trajets de courant voisins, le domaine de distances de garde, lorsque le coefficient de conversion affecté est valable, est déterminé et mentionné dans le recueil de caractéristiques. Un ou plusieurs domaines de distances de garde et les coefficients de conversion respectifs peuvent être affectés. Dans le cas où la distance de garde est fixe, l'effet de proximité est couvert par l'étalonnage.

Le ou les coefficients de conversion d'un système de mesure doivent être déterminés dans chaque étendue de mesure affectée, de préférence par comparaison avec un système de mesure de référence. Cependant, les systèmes de mesure de référence ne sont pas toujours disponibles à des courants d'intensité supérieure et l'étalonnage par comparaison peut donc être effectué à des courants d'une valeur aussi faible que 5 % de l'étendue de mesure affectée, à condition que la linéarité ait été démontrée depuis ce point jusqu'à la limite de l'étendue de mesure affectée. Pour cette extension, l'une des méthodes d'essai de linéarité données en 5.3 doit être utilisée.

Tous les équipements utilisés pour déterminer les coefficients de conversion de systèmes de mesure doivent avoir été étalonnés en référence à des étalons de mesure nationaux et/ou internationaux.

NOTE Les étalonnages réalisés par un Institut National de Métrologie ou par un laboratoire accrédité pour les grandeurs étalonnées et indiquées dans l'accréditation sont considérés faire référence à des étalons de mesure nationaux et/ou internationaux.

Les conditions considérées comme significatives pour les résultats de l'étalonnage du système de mesure approuvé doivent être incluses dans le recueil de caractéristiques.

5.2 Etalonnage – Détermination du coefficient de conversion

5.2.1 Etalonnage d'un système de mesure par comparaison avec un système de mesure de référence (méthode à privilégier)

5.2.1.1 Mesure par comparaison

Le ou les coefficients de conversion sont déterminés pour un système de mesure complet par comparaison avec un système de mesure de référence.

Il convient que le courant d'entrée utilisé pour l'étalonnage soit de la même nature, fréquence et forme d'onde que les courants à mesurer. Si cette condition n'est pas remplie, les contributions à l'incertitude correspondantes doivent être prises en compte.

Pour la comparaison, un système de mesure de référence approuvé par un Institut National de Métrologie, doit être connecté en série avec le système de mesure à étalonner. On doit veiller à éviter les boucles de sol entre le dispositif de conversion et l'(les) instrument(s) de mesure qui génèrent des perturbations inacceptables. Des lectures simultanées doivent être effectuées sur les deux systèmes. La valeur de la grandeur d'entrée obtenue pour chaque mesure réalisée à partir du système de mesure de référence est divisée par la lecture correspondante de l'instrument de mesure du système en essai afin d'obtenir une valeur $F_{i,g}$ de son coefficient de conversion à un niveau de courant I_g . La procédure est recommencée de manière à obtenir n lectures indépendantes. La moyenne arithmétique (valeur moyenne) $\overline{F_g}$ du coefficient de conversion du système en cours d'étalonnage, à un niveau de courant I_g est donnée par la formule suivante:

$$\overline{F_g} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n F_{i,g}$$

L'écart-type s_g expérimental relatif (échantillon) des valeurs individuelles du coefficient de conversion $F_{i,g}$ est donné par l'expression suivante:

$$s_g = \frac{1}{F_g} \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (F_{i,g} - \overline{F_g})^2}$$

et l'incertitude-type relative u_g de type A de la valeur moyenne $\overline{F_g}$ est donnée par l'expression suivante:

$$u_g = \frac{s_g}{\sqrt{n}}$$

NOTE 1 En général, au maximum $n = 10$ lectures indépendantes sont nécessaires. Si moins de 10 valeurs sont relevées, il convient que l'évaluation soit conforme à l'Annexe A.

NOTE 2 Pour les mesures de courants continus ou alternatifs, des lectures indépendantes peuvent être obtenues soit en appliquant le courant d'essai et en relevant n valeurs, soit en appliquant n fois le courant d'essai et en relevant à chaque fois une valeur. Pour les courants de chocs et de courte durée, n chocs à haute intensité sont appliqués.

Pour déterminer le coefficient de conversion d'un système de mesure ayant plusieurs étendues de mesure affectées, l'étalonnage doit être effectué pour chaque étendue. Les systèmes de mesure ayant des atténuateurs secondaires peuvent être étalonnés pour un seul réglage, à condition qu'il puisse être démontré par d'autres essais que la charge en sortie du dispositif de conversion demeure constante pour tous les réglages. Dans ce type de cas, l'intégralité de la gamme de réglage des atténuateurs secondaires doit être étalonnée séparément.

Le coefficient de conversion doit être déterminé sur chaque étendue de mesure affectée, selon l'une des deux méthodes suivantes.

5.2.1.2 Comparaison sur l'ensemble de l'étendue de mesure affectée

Cet essai comprend la détermination du coefficient de conversion affecté et celle de la linéarité. Le coefficient de conversion doit être déterminé par comparaison avec un système de mesure de référence selon 5.2.1.1, aux niveaux minimal et maximal de l'étendue de mesure affectée, et à au moins trois niveaux intermédiaires répartis à peu près équitablement entre ces extrêmes (voir la Figure 2). Le coefficient de conversion affecté F est considéré comme étant la valeur moyenne de tous les coefficients de conversion $\overline{F_g}$ enregistrés à h niveaux de courant.

$$F = \frac{1}{h} \sum_{g=1}^h \overline{F_g}$$

où le nombre de niveaux de courant $h \geq 5$.

L'incertitude-type u_F utilisée pour la détermination du coefficient de conversion affecté F est donnée par la combinaison d'une contribution de type B, u_{B1} , de non-linéarité des valeurs moyennes $\overline{F_g}$ et d'une contribution de type B, u_{B2} , fondée sur la valeur maximale des incertitudes-types de type A des coefficients de conversion enregistrés $\overline{F_g}$:

$$u_F = \sqrt{u_{B1}^2 + u_{B2}^2} = \sqrt{\frac{1}{3} \left(\max_{g=1}^h \left| \frac{\overline{F_g}}{F} - 1 \right| \right)^2 + \left(\max_{g=1}^h (u_g) \right)^2}$$

NOTE 1 Les h déterminations du coefficient de conversion $\overline{F}_g$ ne constituent pas un ensemble statistique car elles n'ont pas été obtenues dans les mêmes conditions, notamment pour ce qui concerne le niveau de courant. Par conséquent, il n'est pas possible d'obtenir l'incertitude du coefficient de conversion affecté au moyen de méthodes statistiques (c'est-à-dire de type A). En revanche, il convient d'effectuer une estimation de type B, qui est fondée sur deux contributions. La dispersion de $\overline{F}_g$ observée sur les niveaux de courant est caractérisée par l'écart maximal par rapport à la moyenne, et évaluée comme une loi rectangulaire. Les dispersions statistiques de type A dans les déterminations des résultats $\overline{F}_g$ individuels, à chaque niveau de courant, sont prises en compte par l'application de la valeur maximale des valeurs u_g individuelles, et évaluées comme loi normale (voir la Figure 3).

NOTE 2 Il est admis d'utiliser une valeur arrondie F_0 comme coefficient de conversion affecté F si la différence entre F_0 et F est introduite comme contribution à l'incertitude de type B dans l'estimation de l'incertitude élargie du coefficient de conversion F_0 .

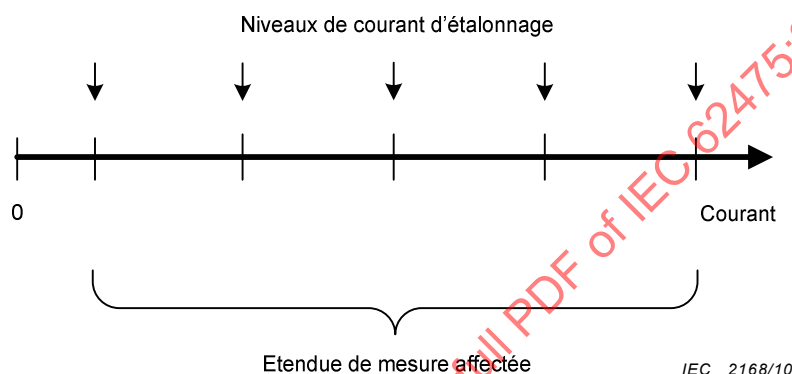


Figure 2 – Etalonnage par comparaison sur l'ensemble de l'étendue de mesure affectée

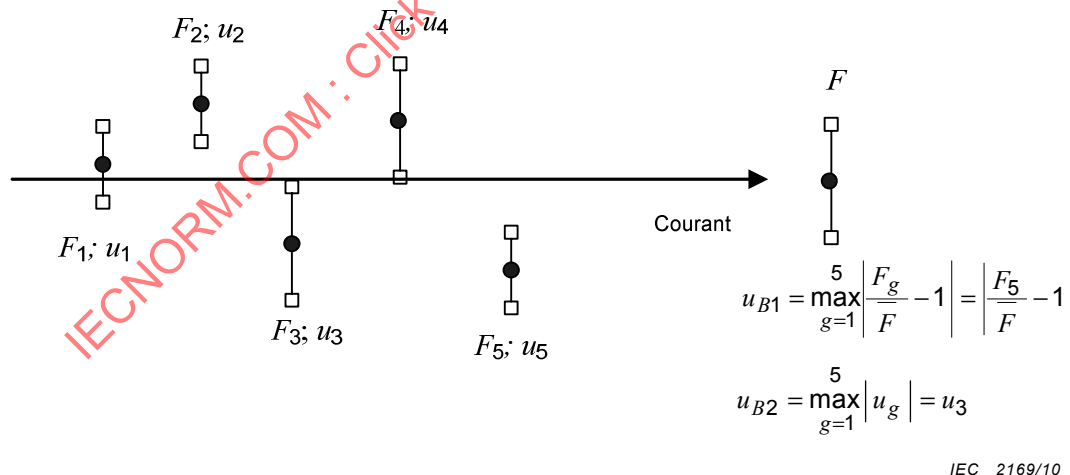


Figure 3 – Contributions à l'incertitude de l'étalonnage (exemple avec un minimum de 5 niveaux de courant)

5.2.1.3 Comparaison sur un domaine de courant limité

Dans les cas où l'étendue de mesure affectée dépasse la capacité du système de mesure de référence disponible, le coefficient de conversion affecté doit être déterminé par comparaison selon 5.2.1.1 jusqu'à la valeur maximale du courant du système de mesure de référence. Dans tous les cas, la comparaison doit être effectuée à un courant qui n'est pas inférieur à 5 % de la limite supérieure de l'étendue de mesure affectée (voir la Figure 4).

La comparaison doit être complétée par un essai de linéarité conformément à 5.3. La contribution à l'incertitude liée à la linéarité doit être prise en compte pour le calcul de l'incertitude de mesure lorsque le système de mesure est utilisé, voir 5.10.3.

La comparaison avec le système de mesure de référence est réalisée à $a \geq 2$ niveaux de courant, le niveau de courant le plus élevé étant égal au courant maximal du système de mesure de référence. L'essai de linéarité requis est réalisé à b niveaux de courant, un de ces niveaux étant égal au niveau maximal de l'étalonnage par comparaison (voir 5.3). Les niveaux de courant doivent ensuite être choisis de façon à ce qu'ils comprennent au moins les niveaux minimal et maximal de l'étendue de mesure affectée, et que:

$$a \geq 2$$

$$a + b \geq 6$$

les mesures de linéarité de b étant prises en compte en 5.3.

Le coefficient de conversion affecté, F , est pris comme étant la valeur moyenne des coefficients de conversion $\overline{F}_g$ enregistrés par comparaison avec le système de mesure de référence selon 5.2.1:

$$F = \frac{1}{a} \sum_{g=1}^a \overline{F}_g$$

L'incertitude-type u_F utilisée pour la détermination du coefficient de conversion affecté F (valeurs d'étalonnage) est donnée par la combinaison des contributions de type B de non-linéarité de F et la contribution de type B fondées sur la valeur maximale de l'incertitude-type de type A des coefficients de conversion enregistrés $\overline{F}_g$:

$$u_F = \sqrt{\frac{1}{3} \left(\max_{g=1}^a \left| \frac{\overline{F}_g}{F} - 1 \right| \right)^2 + \frac{1}{3} \left(\max_{g=1}^a (u_g) \right)^2}$$

NOTE Il est admis d'utiliser une valeur arrondie F_0 comme coefficient de conversion affecté si la différence entre F_0 et $\overline{F}_g$ est introduite comme contribution à l'incertitude de type B dans l'estimation de l'incertitude élargie du coefficient de conversion F_0 .

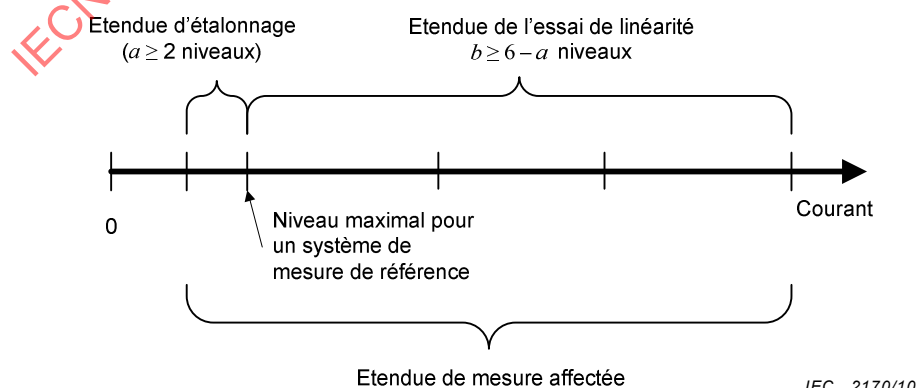


Figure 4 – Etalonnage par comparaison sur un domaine de courant limité, avec un essai de linéarité (voir 5.3) permettant une extension jusqu'à la valeur la plus élevée de l'étendue de mesure affectée

5.2.2 Détermination du coefficient de conversion d'un système de mesure à partir de ceux de ses constituants

Le coefficient de conversion affecté du système de mesure doit être déterminé comme le produit des coefficients de conversion de son dispositif de conversion, de son système de transmission, d'un éventuel atténuateur secondaire et de son instrument de mesure. Il n'est pas nécessaire d'effectuer des essais séparés pour les systèmes de transmission qui sont constitués uniquement de câbles.

Le coefficient de conversion d'un instrument de mesure est déterminé selon la norme CEI pertinente (voir l'Article 2) ou en effectuant des étalonnages afin de démontrer la traçabilité de l'instrument par rapport à la grandeur à mesurer.

NOTE 1 La classe d'exactitude indiquée pour des instruments analogiques conformément à la CEI 60051-2 est associée à la valeur fiduciaire, c'est-à-dire qu'elle constitue une incertitude indiquée comme pourcentage de la limite supérieure de l'étendue de mesure de l'instrument. L'erreur relative est ainsi plus importante dans le cas de déviations plus faibles.

Le coefficient de conversion d'un constituant peut être déterminé par l'une des méthodes suivantes:

- des mesures simultanées de ses grandeurs d'entrée et de sortie;
- par comparaison à un constituant de référence (par exemple, un shunt de conversion de courant comparé à un shunt de conversion de courant de référence);
- une méthode en pont;
- un calcul fondé sur la mesure des impédances;
- mesure de la partie constante de sa réponse indicielle (voir Annexe C), où la réponse dynamique du coefficient de conversion ainsi obtenu peut être examinée à l'aide des techniques de convolution (Annexe D).

NOTE 2 Il convient de veiller à s'assurer que le couplage « parasite » approprié et l'influence mutuelle des constituants sont pris en compte lorsque la mesure est effectuée.

Le coefficient de conversion d'un shunt de conversion de courant peut être déterminé par des mesures en courant continu, à condition que le comportement dynamique ait été déterminé de manière séparée.

Les contributions pertinentes de type A et de type B à l'incertitude (voir également 5.3 à 5.9) doivent faire l'objet d'une estimation pour chaque constituant du système de mesure, et l'incertitude combinée valide pour chaque constituant est déterminée selon 5.10, compte tenu des contributions à l'incertitude des dispositifs de mesure utilisés pour les étalonnages.

NOTE 3 L'estimation des contributions à l'incertitude dans la méthode d'étalonnage des constituants nécessite une analyse de chaque constituant sur l'ensemble de la gamme de conditions – courant, température, effet des trajets de courant voisins, etc. – qui peuvent influencer le résultat. Cette analyse est complexe et nécessite une connaissance approfondie du processus de mesure.

L'incertitude élargie de la mesure du courant, déterminée au moyen du système de mesure, doit être obtenue par l'association de ces incertitudes combinées des constituants selon les dispositions du Guide ISO/CEI 98-3. Voir également les Annexes A et B.

D'autres essais relatifs à l'estimation de l'incertitude doivent être réalisés sur le dispositif de conversion, le(s) système(s) de transmission (autres que les câbles) et l'(es) instrument(s) de mesure conformément à l'ensemble des essais décrits de 5.3 à 5.9.

L'estimation de l'incertitude de mesure des paramètres temporels doit être effectuée en appliquant les dispositions de 5.11 et les mêmes principes que ceux utilisés pour la mesure de la valeur du courant d'essai.

5.3 Essai de linéarité

5.3.1 Application

L'essai de linéarité est uniquement destiné à étendre la validité du coefficient de conversion affecté à partir du courant maximal auquel un étalonnage a été effectué selon 5.2.1.3 jusqu'à la limite supérieure de l'étendue de mesure affectée, qui est en général égale au courant assigné du système de mesure (voir la Figure 4).

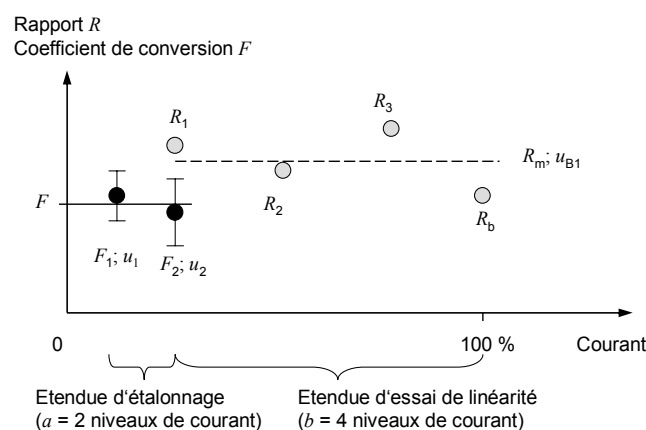
Certains types de dispositifs de conversion, par exemple un shunt, ne présentent en principe aucune variation du comportement en linéarité au cours de leur durée de vie. Pour ces dispositifs, le premier essai de linéarité doit être effectué, mais les essais suivants peuvent être remplacés par une argumentation scientifique démontrant que la linéarité n'est pas affectée par des processus prévisibles dans le dispositif.

Les indications de sortie du système de mesure doivent être comparées à celles d'un dispositif ou d'un système de comparaison dont la linéarité a été démontrée ou pour lequel il est possible de démontrer – au moins sur la base de son principe de conception et de sa théorie de réalisation (comme par exemple la bobine de Rogowski) – qu'il est linéaire sur l'ensemble de l'étendue de mesure affectée du système soumis à l'essai de linéarité. Le fait de ne pas démontrer la linéarité au moyen de cette méthode ne signifie pas nécessairement que le système de mesure n'est pas linéaire. Dans ce cas, une autre méthode appropriée pour l'essai de linéarité doit être choisie.

Le rapport R entre les lectures correspondantes du système de mesure et le dispositif ou système de comparaison doit être établi comme décrit en 5.2.1.1 pour b niveaux de courant I_g allant de la limite supérieure de l'étendue de mesure affectée jusqu'à un niveau de courant auquel le coefficient de conversion a été déterminé.

L'évaluation de la linéarité est fondée sur l'écart maximal des rapports $R_{i,g}$ par rapport à leur moyenne, $\overline{R_g}$, $R_{i,g}$ correspondant à chacun des rapports du courant mesuré au courant d'entrée correspondant du dispositif de comparaison. L'écart maximal est pris comme étant une estimation de type B de l'incertitude-type relative u_{lin} par rapport à la non-linéarité du coefficient de conversion dans le domaine de courant étendu supérieur au courant maximal auquel l'étalonnage a été effectué.

$$u_{lin} = \frac{1}{\sqrt{3}} \times \max_{g=1}^b \left| \frac{R_{i,g}}{\overline{R_g}} - 1 \right|$$



IEC 2171/10

Figure 5 – Essai de linéarité du système de mesure avec un dispositif linéaire dans la plage de tensions étendue

5.3.2 Autres méthodes par ordre d'adéquation

5.3.2.1 Comparaison avec un système de mesure approuvé

La sortie du système de mesure doit être vérifiée par rapport à la sortie d'un système de mesure approuvé selon la procédure décrite à 5.3.1.

La linéarité du système de mesure approuvé doit, de préférence, avoir été établie par étalonnage conformément au 5.2.1.

5.3.2.2 Estimation de l'échauffement du shunt de conversion de courant

Le courant de choc ou le courant de courte durée qui traverse un shunt de conversion de courant élève la température de son élément résistif, ce qui peut modifier de manière significative son coefficient de conversion. L'ampleur de cet effet sur la linéarité et sa dépendance vis à vis du courant peuvent être établies par calcul sur la base du coefficient de température de l'élément résistif (voir l'Annexe F).

5.3.2.3 Comparaison avec la bobine de Rogowski

La sortie d'une bobine de Rogowski rigide, en position fixe, est en principe linéaire et peut être utilisée pour l'essai de linéarité selon la procédure décrite en 5.3.1.

5.4 Comportement dynamique

Le comportement dynamique du coefficient de conversion du système de mesure ou d'un constituant peut être affecté par diverses grandeurs d'influence en fonction du type de courant à mesurer et des conditions de mesure. Des exigences supplémentaires sont données dans les articles spécifiques au courant concerné. Une estimation de type B de l'incertitude-type relative u_{dyn} du coefficient de conversion, en fonction du comportement dynamique, est donnée par l'expression suivante:

$$u_{\text{dyn}} = \frac{1}{\sqrt{3}} \times \max_{i=1}^k \left| \frac{F_i}{\bar{F}} - 1 \right|$$

où

k est le nombre de déterminations du coefficient de conversion dans l'étendue de paramètres de chocs ou la gamme de fréquences;

F_i représente les coefficients de conversion individuels;

$\bar{F}$

est le coefficient de conversion moyen dans une gamme de paramètres temporels de courants de choc ou dans une gamme de fréquences donnée.

Certains types de dispositifs de conversion ne présentent en principe aucune variation du comportement dynamique au cours de leur durée de vie. Pour ces dispositifs, le premier essai de détermination de la réponse dynamique doit être effectué, mais les essais suivants peuvent être remplacés par une argumentation scientifique démontrant que la réponse dynamique n'est pas affectée par des processus prévisibles dans le dispositif.

5.5 Stabilité à court terme

5.5.1 Méthode

L'essai de stabilité à court terme est destiné à couvrir les effets d'auto-échauffement du dispositif de conversion.

Un courant égal à l'intensité maximale de l'étendue de mesure affectée doit être appliqué en continu (ou dans le cas de courants de choc à la fréquence d'application affectée) au dispositif de conversion pendant une période correspondant à l'utilisation prévue.

NOTE Il n'est pas nécessaire que la durée d'application du courant soit supérieure à la durée de fonctionnement affectée; elle peut toutefois être limitée à la durée suffisante pour obtenir l'équilibre thermique.

Le coefficient de conversion doit être mesuré au début et à la fin du courant appliqué, ou, dans le cas d'une série de courants de choc, à la fin de cette série. Le coefficient de conversion peut être mesuré soit par comparaison avec un autre système de mesure approuvé, soit par d'autres méthodes convenables. Si d'autres méthodes sont choisies, le coefficient de conversion peut être déterminé après avoir retiré le dispositif de conversion du circuit d'essai. Dans ce cas, la mesure doit être effectuée après application du courant ou de la série de courants de choc dès que possible, de façon à ce que le coefficient de conversion ne varie pas de manière significative. La durée maximale recommandée est de 20 min.

Le résultat de l'essai est une estimation de la variation du coefficient de conversion, à partir de laquelle on obtient la contribution à l'incertitude-type relative u_{st} en tant qu'estimation de type B:

$$u_{st} = \frac{1}{\sqrt{3}} \times \left| \frac{F_{\text{après}}}{F_{\text{avant}}} - 1 \right|$$

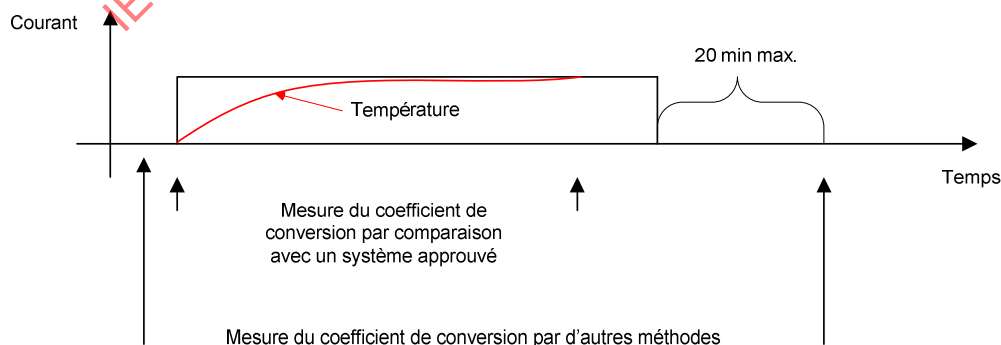
où F_{avant} et $F_{\text{après}}$ sont les coefficients de conversion obtenus respectivement avant et après l'essai de stabilité à court terme.

5.5.2 Courant en régime établi

Le coefficient de conversion doit être mesuré avant ou au début de l'application du courant. Le courant assigné doit être appliqué au dispositif de conversion en continu jusqu'à ce qu'une stabilité thermique soit atteinte. Le coefficient de conversion doit ensuite être mesuré immédiatement après (ou à la fin de) l'application du courant (voir la Figure 6).

Dans certains cas, une certaine période doit être autorisée afin de permettre le rebranchement du dispositif de conversion. Il convient que cette durée ne dépasse pas 20 % de la constante de temps thermique du dispositif de conversion et, dans tous les cas, elle ne doit pas dépasser 20 min.

Une autre méthode consiste à mesurer la température de l'élément résistif du shunt au cours de l'essai. Le coefficient de conversion correspondant aux conditions après essai peut alors être déterminé, soit directement en effectuant les mesures sous échauffement artificiel du shunt, soit en enregistrant le coefficient de conversion au cours du processus de refroidissement et en extrapolant la courbe par rapport au dernier instant d'application du courant.



IEC 2172/10

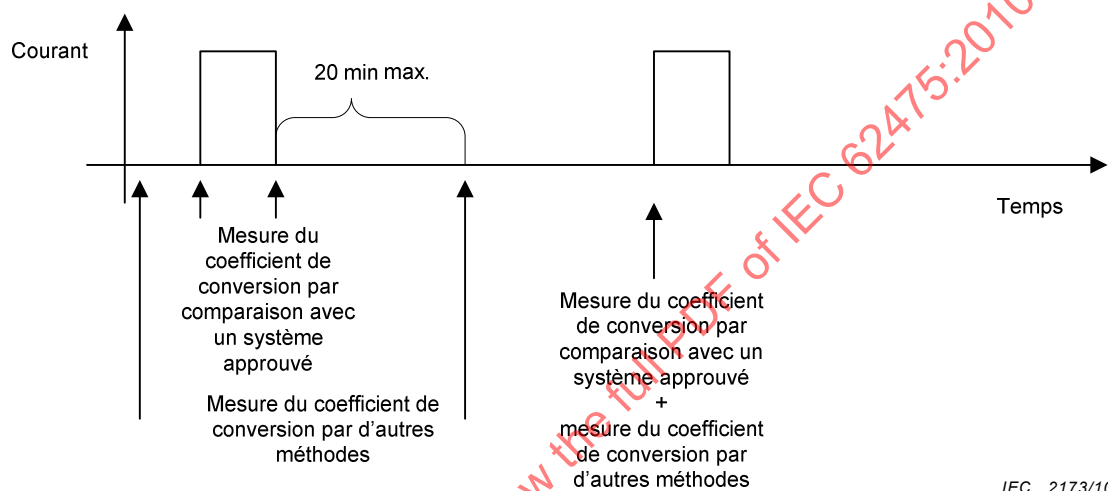
Figure 6 – Essai de stabilité à court terme pour un courant en régime établi

5.5.3 Courant de choc et courant de courte durée

Le coefficient de conversion doit être mesuré avant ou au début de l'application du courant ainsi qu'immédiatement après ou à la fin de l'application du courant. Le courant assigné doit être appliqué au dispositif de conversion (voir la Figure 7).

En outre, le coefficient de conversion doit être mesuré juste avant ou au moment de l'application suivante prévue d'un courant de choc, afin de démontrer que le temps hors courant est suffisamment long pour que le coefficient de conversion revienne à sa valeur initiale.

NOTE Dans le cas d'un courant continu/alternatif de courte durée, le coefficient de conversion évalué avant et après une application de courant unique peut constituer une mesure appropriée de la stabilité à court terme.



IEC 2173/10

Figure 7 – Essai de stabilité à court terme pour un courant de choc et un courant de courte durée

5.5.4 Courants périodiques de choc et de courte durée

Le coefficient de conversion doit être mesuré avant ou au début de l'application d'une série de courants de choc/courants de courte durée, ainsi qu'immédiatement après ou à la fin de l'application d'une série de courants de choc/courants de courte durée (voir la Figure 8). Le courant assigné doit être appliqué au dispositif de conversion.

En outre, le coefficient de conversion doit être mesuré juste avant ou au moment de l'application prévue d'une nouvelle série de courants de choc, afin de démontrer que le temps hors courant est suffisamment long pour que le coefficient de conversion revienne à sa valeur initiale.

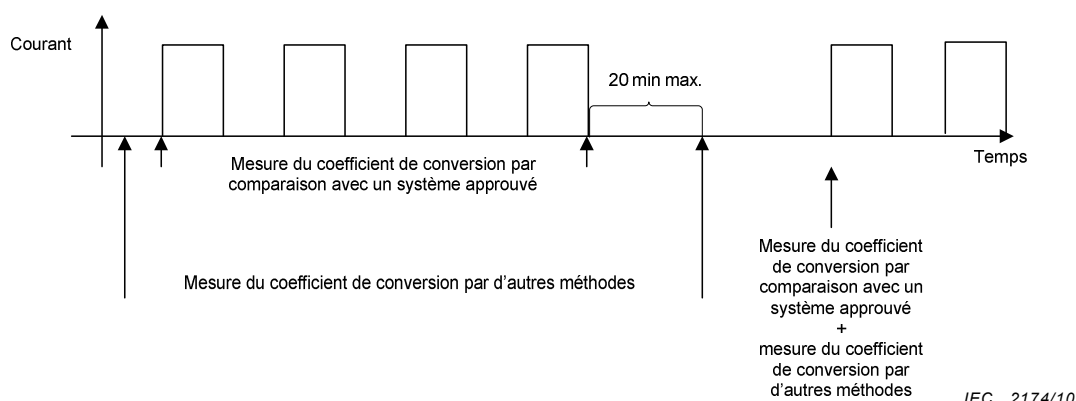


Figure 8 – Essai de stabilité à court terme pour des courants périodiques de choc et de courte durée

5.6 Stabilité à long terme

La stabilité du coefficient de conversion doit être prise en compte et évaluée sur une longue durée; elle est en général estimée comme une contribution à l'incertitude valable pour une durée d'utilisation envisagée $T_{\text{utilisation}}$ jusqu'au prochain étalonnage. L'évaluation peut être fondée sur les données du constructeur ou sur les résultats d'une série d'essais de détermination des caractéristiques. Le résultat de l'évaluation est une estimation de la variation du coefficient de conversion, à partir de laquelle on obtient la contribution à l'incertitude-type relative u_{lt} en tant qu'estimation de type B:

$$u_{\text{lt}} = \frac{1}{\sqrt{3}} \times \left| \frac{F_2}{F_1} - 1 \right| \times \frac{T_{\text{utilisation}}}{T_2 - T_1}$$

où F_1 et F_2 sont les coefficients de conversion obtenus lors de deux essais successifs de détermination des caractéristiques réalisés à des instants T_1 et T_2 .

Dans les cas où un certain nombre de résultats d'essais de détermination des caractéristiques est disponible, la stabilité à long terme peut être caractérisée par la contribution de type A:

$$u_{\text{lt}} = \frac{T_{\text{utilisation}}}{T_{\text{intervalle}}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{F_i}{\bar{F}} - 1 \right)^2}{n-1}}$$

où F_i sont les coefficients de conversion déterminés lors des essais de détermination des caractéristiques effectués de manière récurrente à un intervalle de temps moyen de $T_{\text{intervalle}}$. La valeur moyenne des coefficients de conversion F_i est $\bar{F}$.

5.7 Effet de la température ambiante

Les variations du coefficient de conversion ou d'un des paramètres (par exemple, la résistance ou l'erreur de rapport de transformation) d'un dispositif, dues à des changements de la température ambiante, peuvent être déterminées par des calculs utilisant les coefficients de température de chaque élément (voir par exemple l'Annexe F) ou en mesurant chaque élément à différentes températures.

L'effet de la température ambiante peut également être quantifié par détermination du coefficient de conversion à différentes températures ambiantes.

Les données et les calculs doivent être indiqués dans le recueil de caractéristiques; ils peuvent être déduits des données du constructeur.

Le résultat de l'essai (ou du calcul) est une estimation de la variation du coefficient de conversion due à la température ambiante. A partir de là, la contribution à l'incertitude-type relative u_{temp} est obtenue comme estimation de type B:

$$u_{\text{temp}} = \frac{1}{\sqrt{3}} \times \max \left| \frac{F_{Ti}}{F_{\text{cal}}} - 1 \right|$$

où

F_{Ti} est le coefficient de conversion à une température particulière T_i ;

F_{cal} est le coefficient de conversion à la température mesurée au cours de l'étalonnage.

NOTE L'effet d'auto-échauffement est pris en compte par l'essai de stabilité à court terme.

Les facteurs de correction de température peuvent être utilisés lorsque la température ambiante varie sur une large gamme. Toute correction de température à appliquer doit être indiquée dans le recueil de caractéristiques.

Dans les cas où il a été appliqué une correction de la température, la contribution à l'incertitude u_{temp} doit être considérée comme l'incertitude du facteur de correction de la température.

5.8 Effet des trajets de courant voisins

L'effet sur les mesures du courant, c'est-à-dire les perturbations dues aux effets d'inductance mutuelle du (des) trajet(s) de courant voisin(s), tel qu'il existe, par exemple, dans les circuits d'essai triphasés, peut être déterminé par des mesures effectuées sur des distances représentatives entre le dispositif de conversion du courant et le ou les éventuels circuits perturbateurs. Il convient que la mise à la masse/terre soit identique à celle existante dans une situation d'essai normale.

L'essai est effectué sans application de courant au dispositif de conversion en essai, mais en appliquant un courant approprié au circuit voisin, tandis que les lectures sont effectuées à la fois à partir du système de mesure en essai et du circuit de courant voisin (voir les Figures 9 et 10).

Le résultat de l'essai est une estimation des effets sur la mesure à partir de laquelle est obtenue la contribution à l'incertitude-type relative u_{prox} en tant qu'estimation de type B:

$$u_{\text{prox}} = \frac{1}{\sqrt{3}} \times \left| \frac{i_{\text{prox}}}{i_{\text{voisin}}} - 1 \right|$$

où

i_{prox} est la lecture en termes de courant (de perturbation) du système de mesure en essai;

i_{voisin} est le courant appliqué au conducteur voisin.

Dans le cas de circuits d'essai à phases multiples, on suppose que le courant acheminé par le ou les conducteurs voisins pour les besoins de 5.8 est approximativement égal au courant appliqué au dispositif de conversion du système de mesure examiné dans un essai à haute intensité réel. Différentes valeurs de la contribution à l'incertitude-type u_{prox} peuvent être obtenues pour différentes plages de distances.

NOTE 1 Certaines installations d'essai peuvent choisir d'approuver leurs systèmes de mesure pour un seul ensemble de distances ou pour quelques ensembles ou plages de distances.

NOTE 2 Il convient que l'essai relatif à l'effet des trajets de courant voisins sur le dispositif de conversion soit effectué une seule fois pour chaque montage d'essai ou chaque ensemble de montages d'essai.

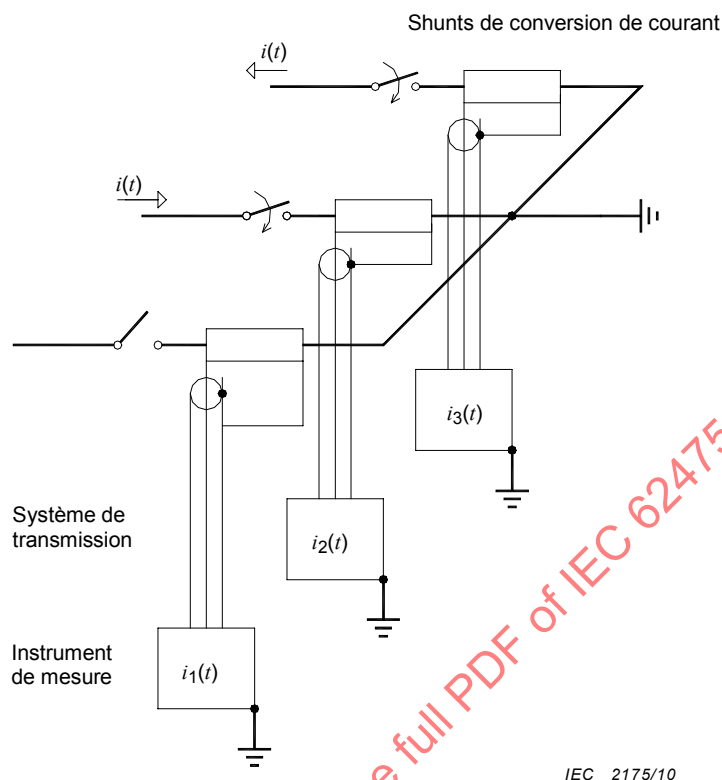


Figure 9 – Circuit d'essai de l'effet du trajet de courant voisin pour des shunts de conversion de courant et des transformateurs de courant avec fer

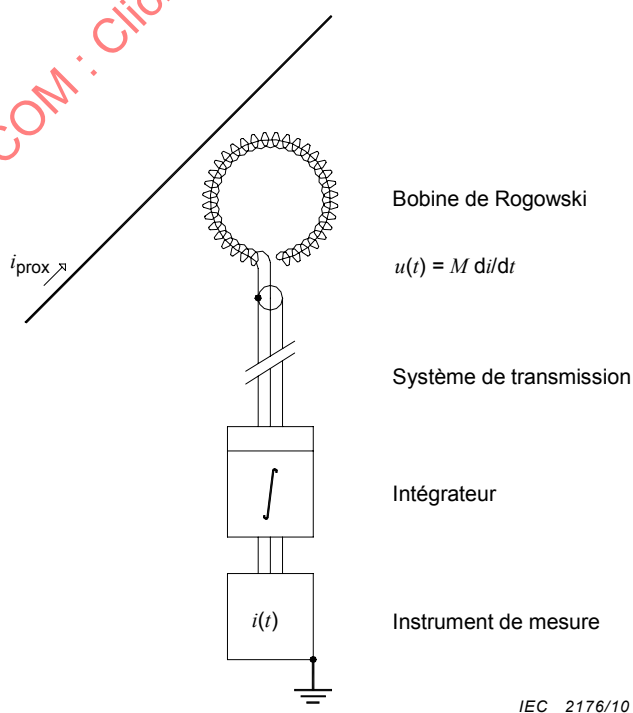


Figure 10 – Circuit d'essai de l'effet du trajet de courant voisin pour des systèmes de mesure inductifs sans fer (bobines de Rogowski)

5.9 Effet du logiciel

La manière dont le logiciel traite l'évaluation des données mesurées peut introduire une incertitude qui doit être évaluée. Cela peut être effectué, par exemple, par l'évaluation d'un ensemble de données synthétique fourni par un générateur de données d'essai, suivie d'une comparaison avec les valeurs de référence établies des données.

Le résultat de l'évaluation est une estimation de l'influence du traitement des données à partir de laquelle est obtenue la contribution à l'incertitude-type relative u_{sft} en tant qu'estimation de type B.

5.10 Calcul de l'incertitude

5.10.1 Généralités

Le présent paragraphe donne une procédure simplifiée de détermination de l'incertitude élargie du coefficient de conversion affecté F d'un système de mesure. Cette procédure est fondée sur plusieurs hypothèses qui, dans de nombreux cas, peuvent être vraies, mais qu'il convient également de vérifier dans chaque cas particulier. Les principales hypothèses sont les suivantes:

- il n'y a aucune corrélation entre les grandeurs de mesure;
- les incertitudes-types évaluées par la méthode de type B sont supposées suivre une loi rectangulaire; et
- il y a au moins trois contributions à l'incertitude dominantes qui sont d'amplitude similaire.

Ces hypothèses donnent une procédure qui permet d'évaluer l'incertitude élargie du coefficient de conversion affecté, F , à la fois en situation d'étalonnage et en situation d'utilisation d'un système de mesure approuvé dans des conditions de mesure étendues.

L'incertitude élargie d'étalonnage U_{cal} est estimée à partir de l'incertitude d'étalonnage du système de mesure de référence et en outre, à partir de l'effet d'autres grandeurs traitées dans le présent article, comme par exemple la stabilité du système de mesure de référence et les paramètres environnementaux au cours de l'étalonnage.

L'incertitude élargie d'une mesure U_{mes} de la grandeur d'essai est évaluée à partir de l'incertitude d'étalonnage du coefficient de conversion du système de mesure approuvé et, en outre, à partir de l'effet d'autres grandeurs traitées en 5.10.3, comme par exemple la stabilité du système de mesure approuvé et les paramètres environnementaux au cours de la mesure.

D'autres méthodes d'estimation de l'incertitude sont données dans le Guide ISO/CEI 98-3 et sont également traitées dans l'Annexe A et dans l'Annexe B.

5.10.2 Incertitude d'étalonnage

L'incertitude élargie d'un étalonnage U_{cal} est calculée à partir de l'incertitude du système de mesure de référence et à partir des contributions à l'incertitude de type A et de type B expliquées dans le présent article:

$$U_{\text{cal}} = k \times u_{\text{cal}} = 2 \times \sqrt{u_{\text{C ref}}^2 + u_{\text{F}}^2 + \sum_{i=1}^N u_{\text{Bi}}^2}$$

où

$k = 2$ est le facteur d'élargissement pour une probabilité de couverture d'environ 95 % et une loi normale;

- $u_{c\text{ cal}}$ est l'incertitude-type combinée du coefficient de conversion du système de mesure approuvé déterminée au moment de l'étalonnage;
- $u_{c\text{ ref}}$ est l'incertitude-type combinée du coefficient de conversion du système de mesure de référence déterminée au moment de l'étalonnage;
- u_F est l'incertitude-type de la détermination du coefficient de conversion réalisée conformément à 5.2.1 ou à 5.2.2;
- u_B sont les contributions à l'incertitude combinée du coefficient de conversion due à la $i^{\text{ème}}$ grandeur d'influence et évaluée comme contribution de type B. Ces contributions sont liées au système de mesure de référence et résultent de la non-linéarité, des instabilités à court et à long terme, etc.; elles sont déterminées selon 5.3 à 5.9 et fondées soit sur des mesures supplémentaires, soit sur des estimations à partir d'autres sources de données. Les influences liées au système de mesure approuvé, telles que la stabilité à court terme et la résolution de la mesure, doivent également être prises en compte si elles sont importantes pendant l'étalonnage.

Dans les cas où les hypothèses ci-dessus ne sont pas valables, les procédures données dans l'Annexe A et l'Annexe B ou, si nécessaire, dans le Guide ISO/CEI 98-3, doivent être appliquées.

Le nombre N de contributions à l'incertitude de type B peut être différent en fonction des différents types de courants d'essai (Articles 6 à 11). Les articles correspondants donnent des informations supplémentaires relatives aux contributions de type B.

Si le coefficient de conversion affecté du système de mesure est calculé à partir de ceux de ses constituants (5.2.2), les incertitudes-types d'étalonnage des constituants doivent être combinées à celles décrivant les autres conditions du système de mesure et de son environnement (voir l'Annexe A et l'Annexe B).

5.10.3 Incertitude de mesure utilisant un système de mesure approuvé

L'estimation de l'incertitude élargie d'une mesure incombe à l'utilisateur. Cependant, cette estimation peut être donnée pour une gamme définie de conditions de mesure avec le certificat d'étalonnage.

L'incertitude élargie relative d'une mesure U_{mes} est calculée à partir de l'incertitude-type combinée du coefficient de conversion affecté du système de mesure approuvé tel que déterminée lors de l'étalonnage et des contributions à l'incertitude supplémentaires liées à l'utilisation du système de mesure approuvé. Elle est exprimée au moyen de l'expression suivante :

$$U_{\text{mes}} = k \times u_{c\text{ mes}} = 2 \times \sqrt{u_{c\text{ cal}}^2 + \sum_{i=1}^N u_{Bi}^2}$$

où

- $k = 2$ est le facteur d'élargissement pour une probabilité de couverture d'environ 95 % et une loi normale;
- $u_{c\text{ mes}}$ est l'incertitude-type combinée de la mesure utilisant le système de mesure approuvé, valable pour une période d'utilisation envisagée, par exemple, un intervalle d'étalonnage;
- $u_{c\text{ cal}}$ est l'incertitude-type combinée du coefficient de conversion du système de mesure approuvé déterminée au moment de l'étalonnage;
- u_{Bi} est la contribution à l'incertitude combinée du coefficient de conversion du système de mesure approuvé, due à la $i^{\text{ème}}$ grandeur d'influence évaluée comme contribution de type B. Ces contributions sont liées à une utilisation normale du système de mesure approuvé et résultent de la non-linéarité, des instabilités à

court et à long terme, etc.; elles sont déterminées selon 5.3 à 5.9 et fondées soit sur des mesures supplémentaires, soit sur des estimations à partir d'autres sources de données. D'autres influences importantes doivent également être prises en compte, comme par exemple la résolution d'affichage de l'instrument dans le système de mesure approuvé.

NOTE Un certificat d'étalonnage peut comprendre des informations concernant à la fois l'incertitude de l'étalonnage, U_{cal} , et l'incertitude de mesure du courant d'essai, U_{mes} , lorsque le système de mesure approuvé est utilisé dans des conditions établies et prédéfinies.

Dans les cas où les hypothèses ci-dessus ne sont pas valables, les procédures données dans l'Annexe A ou, si nécessaire, dans le Guide ISO/CEI 98-3, doivent être appliquées.

Le nombre N de contributions à l'incertitude de type B peut être différent en fonction des différents types de courants d'essai (Articles 6 à 11). Les articles correspondants donnent des informations supplémentaires relatives aux contributions de type B.

5.11 Calcul de l'incertitude de mesure des paramètres temporels (courants de choc uniquement)

5.11.1 Généralités

Un système de mesure approuvé de courant de choc doit pouvoir mesurer chaque paramètre temporel dans les limites d'incertitude spécifiées, à condition que le paramètre s'inscrive dans son domaine spécifié. Pour la durée de front, il s'agit en général de l'époque nominale, voir 10.2.9. La démonstration expérimentale correspondante peut être obtenue soit par la méthode de la comparaison, soit par la méthode des constituants. Elle peut également être obtenue par calcul en utilisant la méthode de convolution, fondée sur la réponse indicielle expérimentale (Annexe C et Annexe D).

La procédure générale d'évaluation des paramètres temporels et de leurs incertitudes est décrite ci-après pour la durée de front T_1 déterminée par la méthode comparative. Elle est applicable de la même manière aux autres paramètres temporels.

Les définitions des paramètres temporels applicables aux courants de choc sont données à l'Article 10.

NOTE L'estimation de l'incertitude de mesure des paramètres temporels génère une valeur d'incertitude absolue.

5.11.2 Incertitude d'étalonnage des paramètres temporels

La durée de front T_1 de n courants de choc doit être simultanément mesurée par le système de mesure en essai, dans ce cas désigné par X, et par le système de mesure de référence, dans ce cas désigné par N. L'erreur du système de mesure de référence est supposée être négligeable. L'erreur moyenne arithmétique des durées de front est la suivante:

$$\overline{\Delta T_1} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (T_{1X,i} - T_{1N,i})$$

et l'écart-type expérimental des erreurs de durées de front individuelles est le suivant:

$$s_{\Delta T_1} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\Delta T_{1,i} - \overline{\Delta T_1})^2}$$

où $\Delta T_{1,i}$ est la $i^{\text{ème}}$ différence entre les durées de front mesurées par les systèmes X et N.

NOTE 1 En général, au maximum $n = 10$ lectures indépendantes sont nécessaires.

NOTE 2 Les durées de front sont habituellement évaluées à partir des mêmes enregistrements de N et de X, utilisés pour évaluer les valeurs de crête pour déterminer le coefficient de conversion (voir 5.2.1.1).

A partir de $s_{\Delta T_1}$, l'incertitude-type de type A des erreurs de durées de front moyennes est calculée comme suit

$$u_A = \frac{s_{\Delta T_1}}{\sqrt{n}}$$

La comparaison est effectuée à un niveau de courant approprié, avec une durée de front correspondant aux valeurs minimale et maximale de T_1 auxquelles le système de mesure est utilisé. Les différentes durées de front sont identifiées par un nombre ordinal, j , comme par exemple $T_{1,j}$. Pour chaque valeur T_1 , l'erreur moyenne $\overline{\Delta T_{1,j}}$ est calculée comme décrit ci-dessus.

La moyenne globale des $n \geq 2$ erreurs moyennes est la suivante:

$$\overline{\Delta T_{1m}} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \overline{\Delta T_{1,j}}$$

L'écart maximal des valeurs individuelles $\Delta T_{1,j}$ par rapport à leur valeur moyenne $\overline{\Delta T_{1m}}$ permet de déterminer l'incertitude de type B u_B par l'expression :

$$u_B = \frac{1}{\sqrt{3}} \max_{j=1}^n \left| \overline{\Delta T_{1,j}} - \overline{\Delta T_{1m}} \right|$$

NOTE 3 Si le système de mesure est utilisé pour une seule durée de front, une seule mesure comparative est nécessaire.

L'incertitude élargie de l'étalonnage des paramètres temporels, égale à celle de l'erreur moyenne résultante ΔT_{1cal} , est déterminée par l'expression

$$U_{cal} = k \times u_{cal} = 2 \times \sqrt{u_{cref}^2 + u_A^2 + u_B^2}$$

où

- u_{cal} est l'incertitude-type combinée de l'erreur moyenne de la durée de front, ΔT_{1cal} , du système de mesure étalonné;
- $k = 2$ est le facteur d'élargissement pour une probabilité de couverture d'environ 95 % et une loi normale;
- u_{cref} est l'incertitude-type combinée de l'erreur moyenne de la durée de front, ΔT_{1ref} , du système de mesure de référence;
- u_A est l'incertitude-type de type A de l'erreur moyenne de la durée de front, $\overline{\Delta T_{1cal}}$, du système de mesure étalonné;
- u_B est l'incertitude-type de type B de l'erreur moyenne de la durée de front, ΔT_{1cal} , du système de mesure étalonné.

Les contributions supplémentaires à l'incertitude élargie U_{cal} peuvent se révéler significatives dans certains cas particuliers et doivent être prises en compte.

5.11.3 Incertitude de mesure des paramètres temporels au moyen d'un système de mesure approuvé

L'estimation de l'incertitude élargie d'une mesure de paramètre temporel incombe à l'utilisateur. Cependant, cette estimation peut être donnée pour une gamme définie de conditions de mesure dans le certificat d'étalonnage.

NOTE Si l'incertitude élargie U_{cal} de l'étalonnage d'un paramètre temporel est inférieure à 70 % de l'incertitude élargie spécifiée dans la présente norme pour la mesure de paramètre temporel, il peut généralement être supposé que l'incertitude relative à l'utilisation du système de mesure approuvé pour la mesure de paramètre temporel U_M est égale à U_{cal} .

L'incertitude élargie de la mesure de paramètre temporel U_{mes} doit être calculée selon la formule:

$$U_{\text{mes}} = k \times u_{\text{c mes}} = 2 \times \sqrt{u_{\text{c cal}}^2 + \sum_{i=1}^N u_{\text{Bi}}^2}$$

où

- $u_{\text{c cal}}$ est l'incertitude-type combinée de l'erreur moyenne de la durée de front, $\overline{\Delta T_{1,\text{cal}}}$, du système de mesure étalonné;
- $k = 2$ est le facteur d'élargissement pour une probabilité de couverture d'environ 95 % et une loi normale;
- u_{Bi} est la contribution à l'incertitude combinée de la mesure du paramètre temporel d'un choc en utilisant le système de mesure approuvé, due à la $i^{\text{ème}}$ grandeur d'influence du paramètre temporel et évaluée comme une contribution de type B. Ces contributions correspondent à une utilisation normale du système de mesure approuvé et résultent par exemple d'instabilités à court et à long termes, des effets des logiciels, etc., mais également des formes d'onde de choc imparfaites. La détermination de ces contributions selon 5.3 à 5.9 est fondée soit sur des mesures supplémentaires, soit sur d'autres sources de données. Dans certaines situations, d'autres influences doivent également être prises en compte, comme par exemple la résolution d'affichage de l'instrument dans le système de mesure approuvé;
- $u_{\text{c mes}}$ est l'incertitude-type combinée du paramètre temporel mesuré avec le système de mesure approuvé, valable pour une période d'utilisation envisagée.

D'autres contributions à l'incertitude élargie peuvent, dans des cas particuliers, être importantes et doivent être prises en compte pour le calcul de U_{mes} , comme par exemple lorsque le courant de choc présente des oscillations sur le front.

NOTE 1 Aucune correction de la mesure des paramètres temporels n'est nécessaire tant que la somme de l'erreur moyenne relative observée $\frac{\overline{\Delta T_{1,j}}}{T_1}$ et de son incertitude élargie relative U_{mes} est inférieure à 70 % de l'incertitude relative exigée pour la mesure correspondante du paramètre temporel.

NOTE 2 L'influence de la variation du paramètre temporel sur le résultat de l'essai est considérée comme faible.

NOTE 3 Il convient d'établir l'incertitude élargie d'un paramètre temporel corrigé, $T_{1,\text{corr}}$, selon le présent article.

5.12 Essai de perturbations

5.12.1 Application

L'essai de perturbations est exigé pour les systèmes de mesure de courants alternatifs en régime établi, pour des courants alternatifs/continus de courte durée, ainsi que pour des courants de choc.

L'essai de perturbations est effectué pour s'assurer que le système de mesure de courant dispose d'une immunité appropriée aux perturbations, dans un circuit et dans des conditions d'utilisation spécifiques. Les perturbations peuvent être induites par le champ électromagnétique transitoire ou conduites par les fils de mesure ou d'alimentation.

L'essai doit être réalisé sur le système de mesure en configurant son système de transmission (câble de mesure) selon 5.12.2 ou à 5.12.3, selon le cas, et sans aucune modification des connexions de terre. Une condition de perturbation, résultant par exemple du fonctionnement d'un dispositif approprié générant un courant représentatif de la forme d'onde à appliquer dans le cadre de l'essai à haute intensité, doit être produite à l'entrée du système de mesure et la grandeur de sortie doit être enregistrée. L'essai de perturbations doit être effectué à une valeur appropriée de chaque type de courant à utiliser ou prévue dans ou à proximité du montage d'essai à haute intensité, y compris les courants polyphasés et coupés.

Le rapport de perturbations doit être déterminé comme étant l'amplitude maximale des perturbations mesurées divisée par la sortie du système de mesure au moment où le courant d'essai est mesuré.

Il convient que le rapport de perturbations enregistré ne dépasse pas 1 %. Des valeurs supérieures peuvent être acceptables s'il est démontré que les exigences d'incertitude demeurent conformes.

NOTE 1 Un système de mesure de courant alternatif de courte durée est considéré comme un système de mesure de courant de choc pour ce qui concerne l'essai de perturbations.

NOTE 2 L'effet des trajets de courant voisins est traité en 5.8.

5.12.2 Shunts de conversion de courant et transformateurs de courant avec fer

Au cours de l'essai de perturbations, le dispositif de conversion du système de mesure doit être monté dans le circuit de courant comme dans les conditions normales d'essai à haute intensité; il doit être traversé par le courant d'essai. Le système de transmission (câble de mesure), débranché du dispositif de conversion, doit être soit mis en court-circuit (coaxialement dans le cas d'un câble coaxial), soit terminé par son impédance caractéristique à l'extrémité d'entrée (selon que l'une ou l'autre méthode représente au mieux les conditions normales de mesure) et mis à la terre de la même manière que pour des mesures normales (voir la Figure 11).

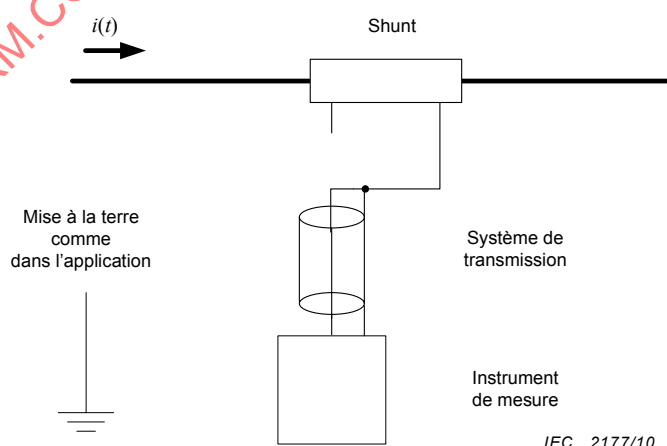


Figure 11 – Principe du circuit d'essai de perturbations

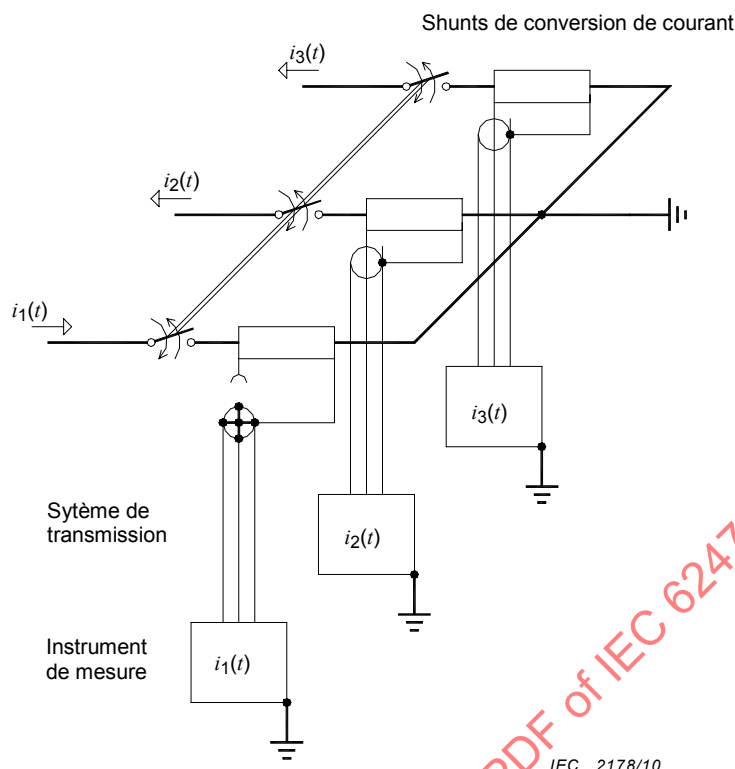


Figure 12 – Essai de perturbations réalisé sur le système de mesure $i_1(t)$ fondé sur un shunt de conversion de courant ou un transformateur de courant avec fer dans un montage d'essai en court-circuit triphasé typique (exemple)

5.12.3 Systèmes de mesure inductifs sans fer (bobines de Rogowski)

Pour les systèmes de mesure comportant des dispositifs de conversion inductifs sans fer, tels que les bobines de Rogowski, il est essentiel de démontrer que les enroulements et les éléments internes présentent une immunité suffisante aux perturbations (conception coaxiale correcte, blindage pour éviter le captage capacitif, etc.). Par conséquent, au cours des essais de perturbations, le système de transmission (câble de mesure) doit être branché à la sortie du dispositif de conversion de la même manière que pour les mesures normales, y compris la mise à la terre, tandis que le dispositif de conversion proprement dit est décalé par rapport à sa position concentrique normale, de sorte à demeurer perpendiculaire et proche du conducteur de courant à haute intensité sans toutefois l'entourer (voir la Figure 13). Il convient que la distance entre l'axe de la bobine de Rogowski et le trajet du courant perturbateur soit conforme aux conditions du laboratoire; dans le cas d'un trajet de courant voisin mis à la terre, il convient que cette distance soit environ égale à la moitié du diamètre de la bobine de Rogowski; en cas de trajet de courant à potentiel élevé, la distance est proportionnellement plus grande, en fonction de l'isolement requis.

NOTE L'essai de perturbations est également utilisé pour mesurer l'effet des trajets de courant voisins. Cependant, la distance jusqu'au conducteur de courant est faible et il est possible qu'elle ne soit pas représentative de la distance requise pour l'essai décrit en 5.8. Dans ce type de cas, il est possible d'effectuer un deuxième essai utilisant une distance d'isolement plus représentative.

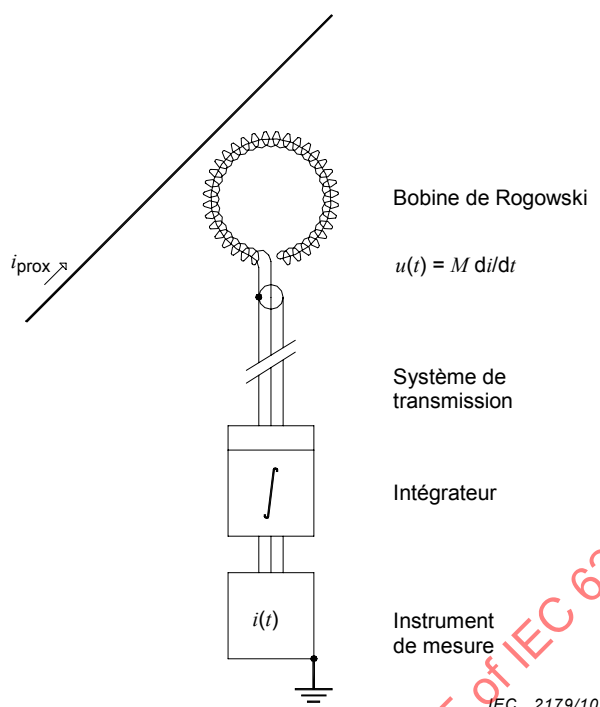


Figure 13 – Circuit d'essai de perturbations pour des systèmes inductifs sans fer

5.13 Essais de tenue

5.13.1 Essais de tension de tenue

Les essais de tension de tenue sont applicables uniquement aux dispositifs de conversion destinés à fonctionner à des potentiels élevés.

Le dispositif de conversion doit subir un essai de tenue à sec exécuté à une tension de fréquence ou de forme d'onde spécifiée, à un niveau de 110 % de la tension assignée. Pour les procédures des essais de tenue, voir la CEI 60060-1 ou la CEI 61180-1.

Les essais de tenue doivent être réalisés dans la ou les polarités pour lesquelles le système doit être utilisé.

NOTE Il convient que la conception de tout constituant d'un système de mesure approuvé soit telle qu'il puisse résister à une décharge disruptive que pourrait subir l'objet en essai, sans aucune modification de ses caractéristiques.

5.13.2 Essais de courant de tenue

5.13.2.1 Courant de tenue de courte durée

Lorsqu'un essai de courant de tenue de courte durée est requis, le dispositif de conversion doit faire partie du système de mesure et doit être soumis à un courant de tenue de courte durée à la valeur assignée. Le système de mesure doit satisfaire aux exigences applicables au coefficient de conversion pour ce niveau de courant et le dispositif de conversion ne doit présenter aucun signe de détérioration.

5.13.2.2 Courant de tenue de crête

Lorsqu'un essai de courant de tenue de crête est requis, le dispositif de conversion doit faire partie du système de mesure et doit être soumis à un courant de tenue de crête à la valeur assignée. Le système de mesure doit satisfaire aux exigences applicables au coefficient de

conversion pour ce niveau de courant et le dispositif de conversion ne doit présenter aucun signe de détérioration.

6 Courant continu en régime établi

6.1 Application

Les applications couvrent des essais de courants continus de haute intensité en régime établi.

Les procédures données ci-après pour la mesure du courant d'essai s'appliquent tant à l'étalonnage qu'à la mesure.

6.2 Termes et définitions

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

6.2.1

valeur du courant continu d'essai

moyenne arithmétique du courant d'essai

6.2.2

ondulation

écart périodique par rapport à la valeur moyenne arithmétique du courant. L'amplitude de l'ondulation est définie comme la moitié de la différence entre les valeurs maximale et minimale

6.2.3

facteur d'ondulation

rapport de l'amplitude de l'ondulation à la valeur moyenne arithmétique du courant

6.3 Courant d'essai

6.3.1 Exigences

Il convient que le courant d'essai soit un courant continu de facteur d'ondulation de 7 % maximum, sauf spécification contraire du comité d'études concerné. Des exigences d'essai supplémentaires peuvent être définies dans les normes spécifiques au matériel utilisé.

6.3.2 Tolérances

Sauf spécification contraire du comité d'études concerné, les exigences de tolérance applicables au courant d'essai doivent être de ± 3 % pendant toute la durée de l'essai.

NOTE 1 Il est souligné que la tolérance constitue la différence admise entre la valeur spécifiée et la valeur effectivement mesurée. Il convient de distinguer cette différence de l'incertitude d'une mesure.

NOTE 2 Le comité d'études concerné peut spécifier d'autres limites de tolérance, par exemple 0 % à +5 %.

6.4 Mesure du courant d'essai

6.4.1 Exigences applicables à un système de mesure approuvé

L'exigence générale consiste à mesurer la valeur du courant d'essai, avec une incertitude élargie U_{mes} d'au plus 3 % (avec une probabilité de couverture de 95 %), sauf indication contraire de la norme de matériel concernée.

6.4.2 Contributions à l'incertitude

Pour un système de mesure du courant continu, l'incertitude élargie U_{mes} doit être évaluée selon 5.10.3 et, si nécessaire, selon les Annexes A et B. Les contributions individuelles qui doivent être prises en compte sont indiquées dans le Tableau 1. Les informations sont uniquement données à titre indicatif; d'autres contributions peuvent dans certains cas se révéler significatives et doivent également être prises en compte.

6.4.3 Comportement dynamique

Il n'existe aucune exigence relative au comportement dynamique d'un système de mesure utilisé pour déterminer uniquement la valeur du courant continu d'essai (valeur moyenne arithmétique). Pour les mesures de l'ondulation, voir 6.5.3.

6.4.4 Etalonnages et essais pour un système de mesure approuvé

Tableau 1 – Essais exigés pour le courant continu en régime établi

Type d'essai	Essai de type	Essai individuel de série	Essai de détermination des caractéristiques	Contrôle des caractéristiques
Coefficient de conversion du système de mesure au moment de l'étalonnage			5.2 et 5.10.2	
Contrôle du coefficient de conversion				6.4.5
Extension de la linéarité		5.3 (le cas échéant)	5.3 (le cas échéant)	
Comportement dynamique du système de mesure				
Stabilité à court terme		5.5		
Stabilité à long terme	5.6		5.6 (le cas échéant)	
Effet de la température ambiante	5.7			
Effet des trajets de courant voisins sur le dispositif de conversion	5.8 (le cas échéant)			
Effet du logiciel	5.9 (le cas échéant)			
Essai de tension de tenue à sec sur le dispositif de conversion		5.13.1 (le cas échéant)		
Essai de courant de tenue	–			
Coefficient de conversion d'un dispositif de conversion		5.2		
Coefficient de conversion d'un système de transmission autre qu'un câble		5.2		
Coefficient de conversion d'un instrument de mesure		5.2		
Responsabilité	Pour les constituants: constructeur		Pour le système de mesure: utilisateur	
Fréquence recommandée	Une seule fois (essai de type et individuel de série)		Suggéré une fois par an, mais au moins tous les 5 ans	En fonction de la stabilité, mais au moins tous les ans

La conformité aux exigences de l'essai de type peut être démontrée par des essais sur un dispositif de même conception ou parfois à partir des données du constructeur. Les essais

individuels de série doivent être effectués sur chaque dispositif. Voir 4.6 pour les détails et 4.4.2 pour les exceptions.

6.4.5 Contrôle des caractéristiques

6.4.5.1 Généralités

Le coefficient de conversion d'un système de mesure approuvé peut être contrôlé par l'une des méthodes suivantes.

6.4.5.2 Contrôle des coefficients de conversion des constituants

Le ou les coefficients de conversion de chaque constituant doivent être contrôlés en utilisant des calibrateurs internes ou externes dont l'incertitude élargie ne dépasse pas 1 %. Si les coefficients de conversion des constituants individuels ne diffèrent pas de leurs valeurs précédentes de plus de 1 %, le coefficient de conversion affecté précédent du système de mesure est considéré comme encore valide. Si une quelconque différence dépasse 1 %, une nouvelle valeur du coefficient de conversion affecté doit être déterminée par un essai de détermination des caractéristiques comme décrit en 5.2.

NOTE Des mesures en courant continu de la résistance d'un shunt de conversion de courant suffisent en général pour le contrôle des caractéristiques.

6.4.5.3 Contrôle du coefficient de conversion du système de mesure

Le système de mesure doit être comparé à un autre système de mesure approuvé selon la procédure de 5.2.1. Si la différence entre les deux valeurs mesurées n'est pas supérieure à 3 %, le coefficient de conversion affecté précédent est considéré comme encore valide. Si la différence est plus importante, le coefficient de conversion affecté doit alors être obtenu par un essai de détermination des caractéristiques (voir 5.2).

6.5 Mesure de l'amplitude de l'ondulation

6.5.1 Exigences applicables à un système de mesure approuvé

L'amplitude de l'ondulation doit être mesurée avec une incertitude élargie d'au maximum 10 % (avec une probabilité de couverture de 95 %) de l'amplitude de l'ondulation ou 1 % de la valeur du courant continu d'essai, selon que l'une ou l'autre valeur est la plus grande.

Il est admis d'utiliser des systèmes de mesure séparés pour mesurer d'une part la valeur du courant continu d'essai et celle de l'amplitude de l'ondulation, ou d'utiliser le même dispositif de conversion avec deux instruments de mesure différents.

6.5.2 Contributions à l'incertitude

Pour un système de mesure du courant ondulatoire, l'incertitude élargie U_{mes} doit être évaluée selon 5.10.3 et, si nécessaire, selon les Annexes A et B. Les contributions individuelles à l'incertitude qui doivent être prises en compte sont données dans le Tableau 2. Les informations sont uniquement données à titre indicatif; d'autres contributions peuvent dans certains cas se révéler significatives et doivent également être prises en compte.

6.5.3 Comportement dynamique de l'ondulation

6.5.3.1 Exigences

On peut généralement supposer que l'exigence d'incertitude due au comportement dynamique est remplie si la fréquence f_2 à une limite supérieure de -3 dB de la réponse amplitude-fréquence du système de mesure est 10 fois supérieure à la fréquence fondamentale f de l'ondulation et si la fréquence f_1 à une limite inférieure de -3 dB est inférieure à $1/10$ de la fréquence fondamentale f de l'ondulation.

6.5.3.2 Détermination directe de la réponse amplitude-fréquence

Le système est soumis à une grandeur d'entrée sinusoïdale d'amplitude connue, habituellement à bas niveau, et la grandeur de sortie est mesurée. Cette mesure est répétée pour une gamme appropriée de fréquences.

6.5.4 Etalonnages et essais pour un système de mesure approuvé du courant ondulateur

Les essais spécifiés ici doivent uniquement être appliqués aux systèmes utilisés pour mesurer l'amplitude de l'ondulation.

Tableau 2 – Essais exigés pour le courant ondulateur

Type d'essai	Essai de type	Essai individuel de série	Essai de détermination des caractéristiques	Contrôle des caractéristiques
Coefficient de conversion du système de mesure au moment de l'étalonnage			6.5.5 et 5.2	
Contrôle du coefficient de conversion				6.5.6
Comportement dynamique de l'ondulation			6.5.3	
Stabilité à long terme	5.6			
Effet de la température ambiante	5.7			
Responsabilité	Pour les constituants: constructeur		Pour le système de mesure: utilisateur	
Fréquence recommandée	Une seule fois (essai de type et individuel de série)		Suggéré une fois par an, mais au moins tous les 5 ans	En fonction de la stabilité, mais au moins tous les ans

La conformité aux exigences de l'essai de type peut être démontrée par des essais sur un dispositif de même conception ou parfois à partir des données du constructeur. Les essais individuels de série doivent être effectués sur chaque dispositif. Voir 4.6 pour les détails et 4.4.2 pour les exceptions.

D'autres contributions à l'incertitude peuvent se révéler significatives dans des cas particuliers et les informations sont données ici à titre indicatif uniquement.

6.5.5 Mesure du coefficient de conversion à la fréquence d'ondulation

Le coefficient de conversion du système de mesure doit être déterminé à la fréquence fondamentale f de l'ondulation, avec une incertitude élargie ne dépassant pas 3 %. Ce coefficient de conversion peut être calculé comme le produit des coefficients de conversion des constituants.

6.5.6 Contrôle des caractéristiques du système de mesure de courant ondulateur

6.5.6.1 Généralités

Le coefficient de conversion d'un système de mesure approuvé peut être contrôlé par l'une des méthodes suivantes.

6.5.6.2 Contrôle des coefficients de conversion des constituants

Le ou les coefficients de conversion de chaque constituant doivent être contrôlés en utilisant un calibrateur interne ou externe dont l'incertitude élargie ne dépasse pas 3 %. Si les coefficients de conversion des constituants individuels ne diffèrent pas de leurs valeurs précédentes de plus de 3 %, le coefficient de conversion affecté précédent du système de

mesure est considéré comme encore valide. Si une quelconque différence dépasse 3 %, une nouvelle valeur du coefficient de conversion affecté doit être déterminée par un essai de détermination des caractéristiques (voir 5.2).

NOTE Des mesures en courant continu de la résistance d'un shunt de conversion de courant suffisent en général pour le contrôle des caractéristiques.

6.5.6.3 Contrôle du coefficient de conversion du système de mesure

Le système de mesure doit être comparé à un autre système de mesure approuvé selon la procédure de 5.2.1. Si la différence entre les deux valeurs mesurées n'est pas supérieure à 10 %, le coefficient de conversion affecté précédent est considéré comme encore valide. Si la différence est plus importante, le coefficient de conversion affecté doit alors être obtenu par un essai de détermination des caractéristiques (voir 5.2).

6.6 Procédures d'essai

Les procédures d'essai sont définies par le comité d'études concerné ou doivent être convenues avec le client.

7 Courant alternatif en régime établi

7.1 Application

Les applications couvrent des essais de courant alternatif en régime établi.

Les procédures données ci-après pour la mesure du courant d'essai s'appliquent tant à l'étalonnage qu'à la mesure.

7.2 Termes et définitions

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

7.2.1

valeur du courant alternatif d'essai

valeur efficace vraie du courant d'essai

7.2.2

valeur efficace vraie

valeur obtenue à partir de l'expression

$$I_{\text{eff}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2(t) dt}$$

où

0 est l'instant temporel ($t = 0$) d'une onde périodique de courant alternatif qui convient pour commencer l'intégration;

T est le temps mesuré sur un nombre entier de cycles;

$i(t)$ est la valeur instantanée du courant.

NOTE 1 La valeur efficace vraie peut en général être calculée à partir d'un enregistrement numérique de toute forme d'onde périodique, à condition de prélever un nombre d'échantillons suffisant (voir l'Article G.4).

NOTE 2 Dans les cas d'une fréquence variable, il n'est pas possible de donner une formule exacte pour la valeur efficace vraie.

7.2.3

valeur de crête

$\hat{i}_{ss}$

amplitude instantanée maximale du courant

7.3 Courant d'essai

7.3.1 Exigences

Le courant d'essai doit être un courant alternatif ayant généralement une fréquence assignée dans une gamme de 45 Hz à 65 Hz, désignée par l'expression courant d'essai à fréquence industrielle. Des essais particuliers peuvent être exigés à des fréquences très inférieures ou très supérieures à cette gamme, selon les spécifications du comité d'études concerné.

La forme d'onde de courant doit être approximativement sinusoïdale, avec des différences d'amplitude des valeurs de crête positive et négative inférieures à 2 %.

On considère que les résultats d'un essai à haute intensité ne sont pas affectés par de faibles écarts par rapport à une sinusoïde si le taux de distorsion harmonique totale (THD)¹ ne dépasse pas 5 % de la valeur efficace de la composante fondamentale.

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{50} I_n^2}}{I_1}$$

où

I_1 est la valeur efficace de la composante fondamentale du courant;

I_n est la valeur efficace de la $n^{\text{ième}}$ composante harmonique à partir de $n = 2$.

Des écarts plus importants doivent être acceptés pour certains circuits d'essai communément utilisés. Par exemple, l'objet en essai, notamment s'il présente des caractéristiques d'impédance non linéaire, peut donner lieu à un écart important par rapport à une sinusoïde.

7.3.2 Tolérances

Sauf spécification contraire du comité d'études concerné, l'exigence de tolérance applicable au courant d'essai doit être de ± 3 % pendant toute la durée de l'essai.

NOTE 1 Il est souligné que la tolérance constitue la différence admise entre la valeur d'essai spécifiée et la valeur effectivement mesurée. Il convient de distinguer cette différence de l'incertitude d'une mesure.

NOTE 2 Le comité d'études concerné peut spécifier d'autres limites de tolérance, par exemple 0 % à +5 %.

7.4 Mesure du courant d'essai

7.4.1 Exigences applicables à un système de mesure approuvé

L'exigence générale consiste à mesurer la valeur du courant d'essai, avec une incertitude élargie U_{mes} d'au plus 3 % (avec une probabilité de couverture de 95 %), sauf indication contraire de la norme de matériel concernée.

7.4.2 Contributions à l'incertitude

Pour un système de mesure du courant alternatif, l'incertitude élargie doit être évaluée selon 5.10.3 et, si nécessaire, selon les Annexes A et B. Les contributions individuelles à l'incertitude qui doivent être prises en compte sont données dans le Tableau 3. Les

¹ THD: Total Harmonic Distortion

informations sont uniquement données à titre indicatif; d'autres contributions peuvent dans certains cas se révéler significatives et doivent également être prises en compte.

7.4.3 Comportement dynamique

7.4.3.1 Exigences

La réponse amplitude/fréquence d'un système de mesure prévu pour fonctionner à une seule fréquence fondamentale f_{nom} doit être donnée (dans la gamme de fréquences illustrée à la Figure 14 par des lignes mixtes trait-point) dans les limites supérieure et inférieure indiquées par des traits continus et discontinus. Les limites sont issues des exigences relatives à l'incertitude. Les paires de nombres dans le schéma indiquent les fréquences normalisées (observées sur l'échelle logarithmique) et les écarts autorisés correspondants par rapport aux réponses idéales aux angles des lignes de limite. Les caractéristiques de fonctionnement de f_{nom} à $7 f_{nom}$ doivent être démontrées par essai ou par une analyse de circuit. Les limites de la réponse amplitude-fréquence, hors de ce domaine, sont données pour information uniquement. La contribution à l'incertitude u_{dyn} est considérée égale à zéro.

D'autres exigences relatives au comportement dynamique peuvent être spécifiées par le comité d'études concerné.

NOTE 1 Les restrictions relatives au comportement dynamique permettent de s'assurer que les erreurs d'amplitude des composantes de fréquence autres que la fréquence fondamentale ne contribuent pas de manière significative à la valeur mesurée du courant d'essai. Les systèmes de mesure conformes à ces exigences sont en outre considérés comme ayant une réponse en fréquence adaptée aux mesures du taux de distorsion harmonique totale (THD) du courant d'essai.

NOTE 2 La réponse en fréquence illustrée hors du domaine indiqué par des lignes mixtes trait-point, même si elle n'est pas exigée, est effectivement représentative des bonnes pratiques en la matière.

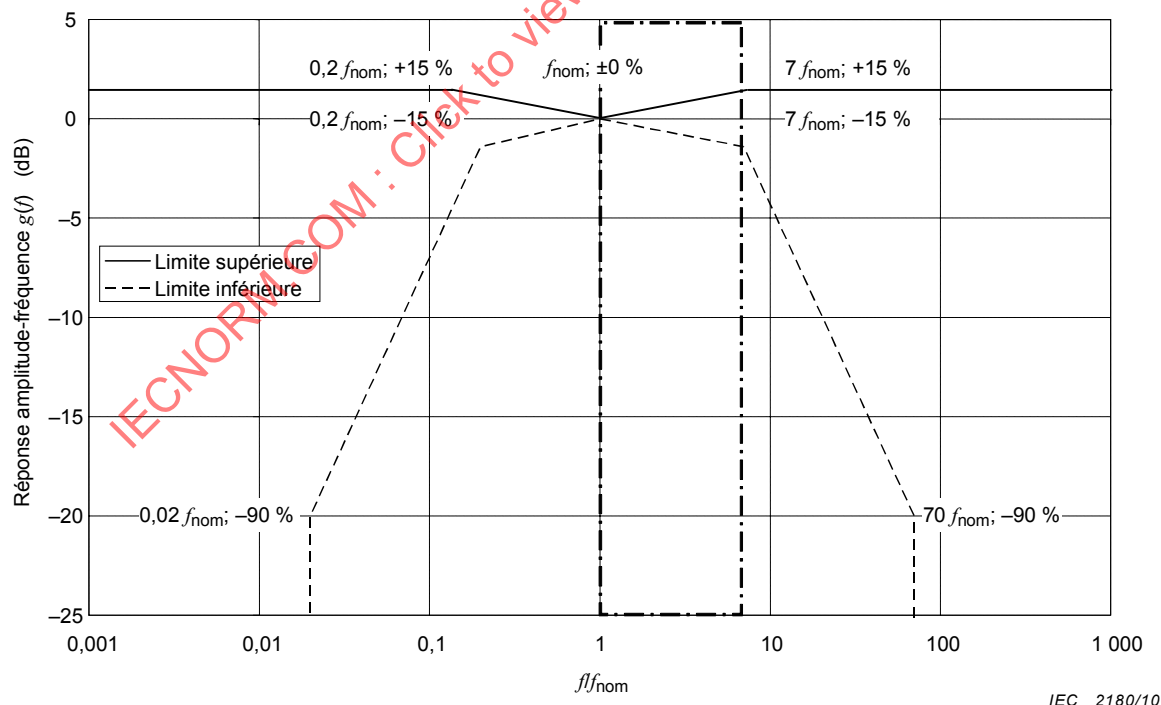


Figure 14 – Réponse amplitude-fréquence normalisée acceptable d'un système de mesure du courant alternatif pour une fréquence fondamentale unique f_{nom}

Un système de mesure peut également être approuvé pour une gamme de fréquences fondamentales. Le coefficient de conversion (et par conséquent la réponse amplitude-

fréquence) d'un système de mesure doit être, dans ce type de cas, constant dans une limite de 1 % par rapport à la fréquence fondamentale inférieure f_{nom1} jusqu'à la fréquence fondamentale supérieure f_{nom2} . La réponse hors de l'intervalle f_{nom1} à f_{nom2} , mais dans l'intervalle f_{nom1} à $7 f_{nom2}$ (c'est-à-dire dans la gamme de fréquences jusqu'aux lignes mixtes trait-point verticales illustrée à la Figure 15) doit être donnée dans les limites supérieure et inférieure indiquées par des traits continus et discontinus. Les limites sont issues des exigences relatives à l'incertitude. Les paires de nombres dans le schéma indiquent les fréquences normalisées (observées sur l'échelle logarithmique) et les écarts autorisés correspondants par rapport à la réponse idéale aux angles des lignes de limite. Les caractéristiques de fonctionnement de f_{nom1} à $7 f_{nom2}$ doivent être démontrées par des essais ou par une analyse de circuit. Les limites de la réponse amplitude-fréquence, hors de ce domaine, sont données pour information uniquement.

La contribution à l'incertitude u_{dyn} due à la variation du coefficient de conversion sur la gamme de fréquences f_{nom1} à f_{nom2} doit être évaluée selon 5.4.

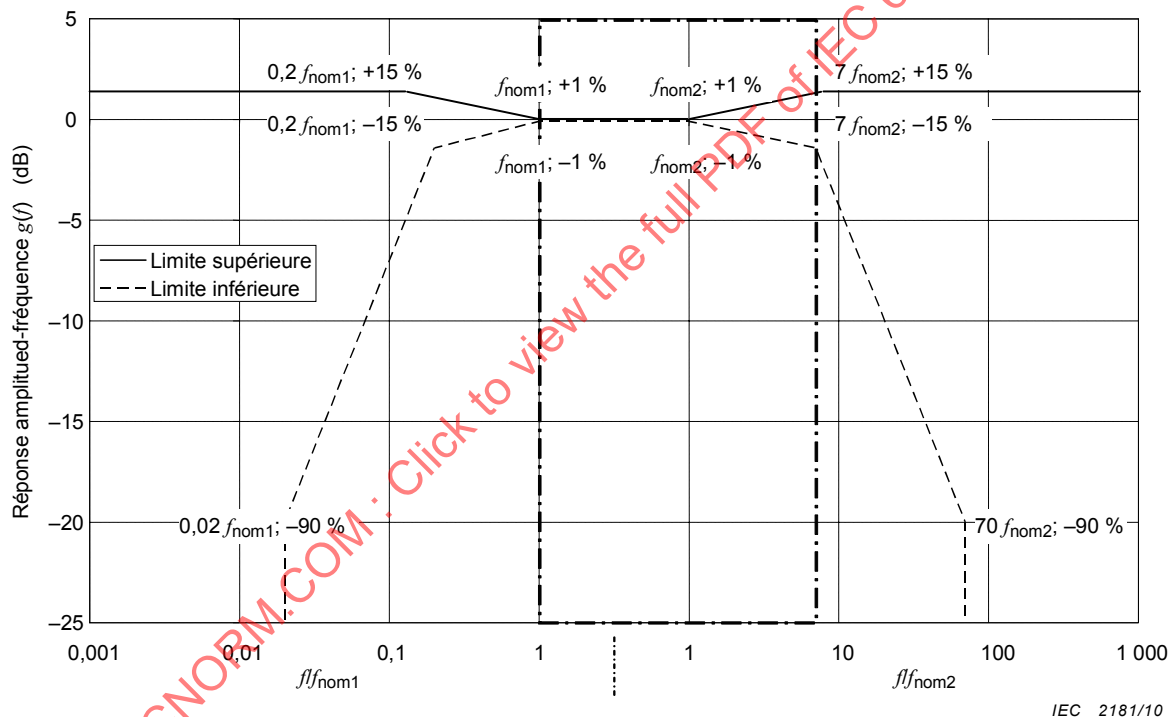


Figure 15 – Réponse amplitude-fréquence normalisée acceptable d'un système de mesure du courant alternatif pour une gamme de fréquences fondamentales f_{nom1} à f_{nom2}

7.4.3.2 Détermination directe de la réponse amplitude-fréquence

Afin de déterminer le comportement dynamique, le système est soumis à une grandeur d'entrée sinusoïdale d'amplitude connue, habituellement à bas niveau, et la grandeur de sortie est mesurée. Cette mesure est répétée pour une gamme appropriée de fréquences.

7.4.4 Etalonnages et essais pour un système de mesure approuvé

Tableau 3 – Essais exigés pour le courant alternatif en régime établi

Type d'essai	Essai de type	Essai individuel de série	Essai de détermination des caractéristiques	Contrôle des caractéristiques
Coefficient de conversion du système de mesure au moment de l'étalonnage			5.2	
Contrôle du coefficient de conversion				7.4.5
Extension de la linéarité		5.3 (le cas échéant)	5.3 (le cas échéant)	
Comportement dynamique du système de mesure		7.4.3 et 5.4		
Stabilité à court terme du dispositif de conversion		5.5		
Stabilité à long terme	5.6		5.6 (le cas échéant)	
Effet de la température ambiante	5.7			
Effet des trajets de courant voisins sur le dispositif de conversion	5.8 (le cas échéant)			
Effet du logiciel	5.9 (le cas échéant)			
Essai de perturbations			5.12	
Essai de tension de tenue à sec sur le dispositif de conversion		5.13.1 (le cas échéant)		
Essai de courant de tenue		–		
Coefficient de conversion d'un dispositif de conversion		5.2		
Coefficient de conversion d'un système de transmission autre qu'un câble		5.2		
Coefficient de conversion d'un instrument de mesure		5.2		
Responsabilité	Pour les constituants: constructeur		Pour le système de mesure: utilisateur	
Fréquence recommandée	Une seule fois (essai de type et individuel de série)		En fonction de la stabilité, mais au moins tous les 5 ans	En fonction de la stabilité, mais au moins tous les ans

La conformité aux exigences des essais de type peut être démontrée par des essais sur un dispositif de même conception ou déduite à partir des données du constructeur. Les essais individuels de série doivent être effectués sur chaque dispositif. Voir 4.6 pour les détails et 4.4.2 pour les exceptions.

7.4.5 Contrôle des caractéristiques

7.4.5.1 Généralités

Le coefficient de conversion d'un système de mesure approuvé peut être contrôlé par l'une des méthodes suivantes.

7.4.5.2 Contrôle des coefficients de conversion des constituants

Le ou les coefficients de conversion de chaque constituant peuvent être contrôlés en utilisant un calibrateur interne ou externe dont l'incertitude élargie ne dépasse pas 1 %. Si les coefficients de conversion des constituants individuels ne diffèrent pas de leurs valeurs

précédentes de plus de 1 %, le coefficient de conversion affecté précédent du système de mesure est considéré comme encore valide. Si une quelconque différence dépasse 1 %, une nouvelle valeur du coefficient de conversion affecté doit être déterminée par un essai de détermination des caractéristiques (voir 5.2).

NOTE Des mesures en courant continu de la résistance d'un shunt de conversion de courant suffisent en général pour le contrôle des caractéristiques.

7.4.5.3 Contrôle du coefficient de conversion du système de mesure

Le système de mesure est comparé à un autre système de mesure approuvé selon la procédure de 5.2.1. Si la différence entre les deux valeurs mesurées n'est pas supérieure à 3 %, le coefficient de conversion affecté précédent est considéré comme encore valide. Si la différence est plus importante, le coefficient de conversion affecté doit alors être obtenu par un essai de détermination des caractéristiques (voir 5.2).

7.5 Procédures d'essai

Les procédures d'essai sont définies par le comité d'études concerné ou doivent être convenues avec le client.

8 Courant continu de courte durée

8.1 Application

Les applications couvrent des essais à haute intensité pour la mesure du courant continu. Le courant continu de courte durée est de durée limitée (par exemple, jusqu'à 1 s) tel qu'on le rencontre par exemple dans les essais de courant continu (court-circuit) à haute intensité. Lorsque l'on mesure des grandeurs caractéristiques, des coupures de courant peuvent générer des phénomènes transitoires qui risquent d'être déterminants pour la susceptibilité aux perturbations des systèmes de mesure du courant et de la tension d'un laboratoire d'essais à haute intensité.

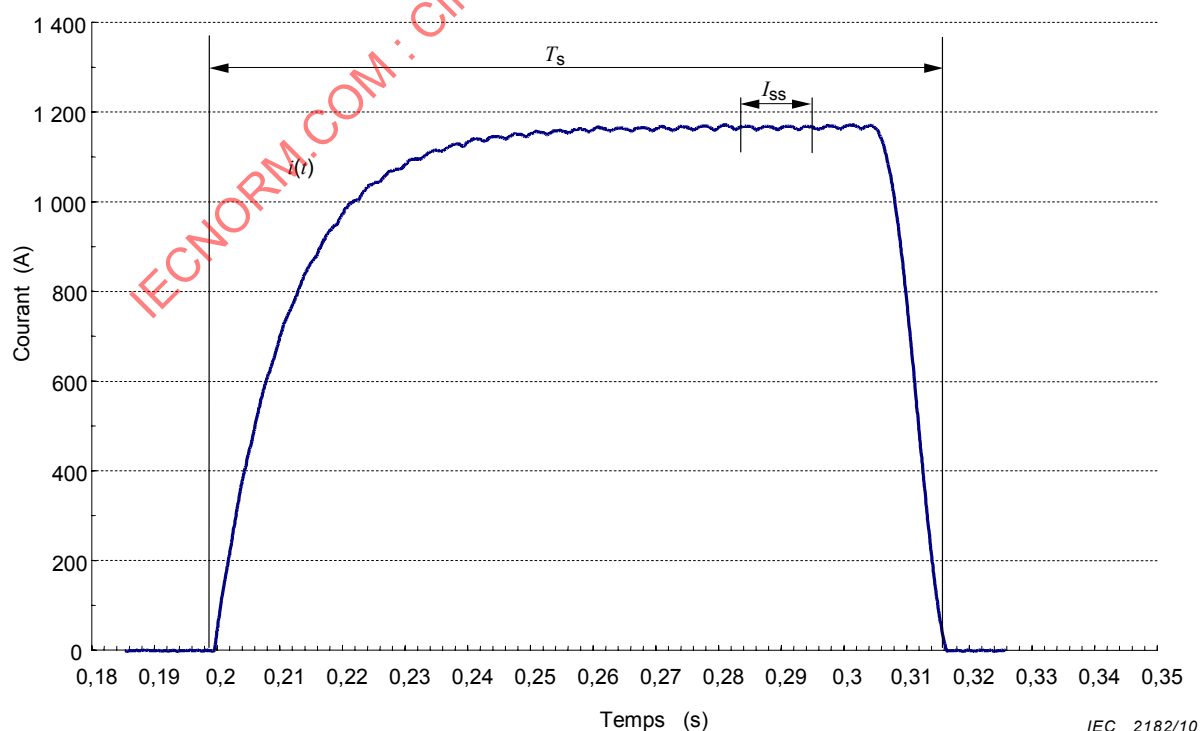


Figure 16 – Exemple de courant continu de courte durée

Les procédures données ci-après pour la mesure du courant d'essai s'appliquent tant à l'étalonnage qu'à la mesure.

8.2 Termes et définitions

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

8.2.1

valeur de crête

$\hat{i}_{ss}$

amplitude instantanée maximale du courant

8.2.2

courant continu en régime établi

I_{ss}

moyenne arithmétique du courant en régime établi, c'est-à-dire lorsque le courant atteint une valeur de crête supérieure à 90 %

8.2.3

constante de temps du circuit

τ

rapport d'inductance sur la résistance du circuit

NOTE 1 La constante de temps est la durée au cours de laquelle un courant augmentant de manière exponentielle atteint $(1 - e^{-1})$ de sa valeur en régime établi. La constante de temps mesurée n'est pas nécessairement égale à la constante de temps calculée à partir des valeurs de la résistance et de l'inductance.

NOTE 2 L'inductance du circuit peut changer du fait des effets de la saturation des matériaux ferromagnétiques et du fait que le circuit peut être différent au moment de la fermeture et de l'ouverture.

8.2.4

durée

temps au cours duquel le courant est supérieur à 10 % de la valeur de crête

8.3 Courants d'essai

8.3.1 Exigences relatives au courant d'essai

Le courant d'essai est en général caractérisé par:

- la valeur de crête; le courant continu en régime établi;
- la constante de temps du circuit;
- la durée.

8.3.2 Tolérances

Sauf spécification contraire du comité d'études concerné, les exigences de tolérance applicables au courant d'essai doivent être conformes au Tableau 4.

NOTE 1 Il est souligné que la tolérance constitue la différence admise entre la valeur spécifiée et la valeur effectivement mesurée. Il convient de distinguer cette différence de l'incertitude d'une mesure.

NOTE 2 Le comité d'études concerné peut spécifier d'autres limites de tolérance.

Tableau 4 – Exigence de tolérance des paramètres d'essai de courant continu de courte durée

Grandeur	Tolérance %
Valeur de crête	±5
Courant continu en régime établi	±5
Constante de temps	0 à +25
Durée	A définir par le comité d'études concerné

8.4 Mesure du courant d'essai

8.4.1 Exigences applicables à un système de mesure approuvé

L'exigence générale consiste à mesurer la valeur de crête et le courant en régime établi, avec une incertitude élargie U_{mes} d'au plus 5 % (avec une probabilité de couverture de 95 %), sauf indication contraire de la norme de matériel concernée.

8.4.2 Contributions à l'incertitude

Pour un système de mesure du courant continu de courte durée, l'incertitude élargie doit être évaluée selon 5.10.3 et, si nécessaire, selon les Annexes A et B. Les contributions individuelles qui doivent être prises en compte sont indiquées dans le Tableau 5. Les informations sont uniquement données à titre indicatif, d'autres contributions peuvent dans certains cas se révéler significatives et doivent également être prises en compte.

8.4.3 Comportement dynamique

8.4.3.1 Exigences

Le système de mesure doit être conçu pour un courant continu jusqu'à la limite supérieure de fréquence f_2 . La limite supérieure à -3 dB de la fréquence f_2 de la réponse amplitude-fréquence du système de mesure doit être supérieure à 1 kHz. La contribution à l'incertitude due à la réponse en fréquence est égale à zéro.

8.4.3.2 Essai de comportement dynamique

La réponse amplitude-fréquence peut être soit déterminée directement, soit par évaluation de la densité spectrale de la réponse impulsionnelle.

Pour la détermination directe de la réponse amplitude-fréquence, le système est soumis à une grandeur d'entrée sinusoïdale d'amplitude connue, habituellement à bas niveau et la grandeur de sortie est mesurée. Cette mesure est recommencée pour une gamme de fréquences suffisante pour démontrer la réponse à partir d'un courant continu jusqu'à la limite supérieure de fréquence f_2 .

Pour la détermination de la réponse amplitude-fréquence au moyen de la fonction de densité spectrale, le système est soumis à un courant de choc puis ses grandeurs d'entrée et de sortie sont mesurées. La grandeur d'entrée est mesurée au moyen d'un système de mesure de référence ayant une réponse uniforme dans la gamme de fréquences représentative. Il convient que le courant de choc ait un temps de montée plus court que le temps de montée le plus court pour lequel le système en essai doit être qualifié. Il convient que la durée du choc soit suffisamment longue pour démontrer la réponse à partir du courant continu jusqu'à la limite supérieure de fréquence f_2 . La réponse amplitude-fréquence est estimée à partir de la transformation de Fourier du rapport du courant d'essai mesuré par le système de mesure de référence et la grandeur de sortie du système de mesure approuvé.

NOTE Certains dispositifs de conversion ont un comportement dynamique stable intrinsèque. Dans ce type de cas, un essai dynamique réalisé sur l'instrument peut se révéler suffisant.

8.4.4 Etalonnages et essais pour un système de mesure approuvé

Tableau 5 – Essais exigés pour un courant continu de courte durée

Type d'essai	Essai de type	Essai individuel de série	Essai de détermination des caractéristiques	Contrôle des caractéristiques
Coefficient de conversion du système de mesure au moment de l'étalonnage			5.2	
Contrôle du coefficient de conversion				8.4.5
Extension de la linéarité		5.3 et 8.4.6 (le cas échéant)	5.3 et 8.4.6 (le cas échéant)	
Comportement dynamique du système de mesure		8.4.3	8.4.3 (le cas échéant)	
Stabilité à court terme du dispositif de conversion		5.5		
Stabilité à long terme	5.6		5.6 (le cas échéant)	
Effet de la température ambiante	5.7			
Effet des trajets de courant voisins sur le dispositif de conversion	5.8 (le cas échéant)			
Effet du logiciel	5.9 (le cas échéant)			
Essai de perturbations sur un système de transmission incluant des éléments actifs			5.12	
Essai de perturbations sur le système de mesure			5.12	
Essai de tension de tenue sous pluie ou sous pollution sur le dispositif de conversion	5.13.1 (le cas échéant)			
Essai de tension de tenue à sec sur le dispositif de conversion		5.13.1 (le cas échéant)		
Essai de courant de tenue		5.13.2		
Coefficient de conversion d'un dispositif de conversion		5.2		
Coefficient de conversion d'un système de transmission autre qu'un câble		5.2		
Coefficient de conversion d'un instrument de mesure		5.2		
Responsabilité	Pour les constituants: constructeur		Pour le système de mesure: utilisateur	
Fréquence recommandée	Une seule fois (essai de type et individuel de série)		En fonction de la stabilité, mais au moins tous les 5 ans	En fonction de la stabilité, mais au moins tous les ans

La conformité aux exigences des essais de type peut être démontrée par des essais sur un dispositif de même conception ou déduite à partir des données du constructeur. Les essais individuels de série doivent être effectués sur chaque dispositif. Voir 4.6 pour les détails et 4.4.2 pour les exceptions.

8.4.5 Contrôle des caractéristiques

8.4.5.1 Généralités

Le coefficient de conversion d'un système de mesure approuvé peut être contrôlé par l'une des méthodes suivantes.

8.4.5.2 Contrôle des coefficients de conversion des constituants

Le ou les coefficients de conversion de chaque constituant peuvent être contrôlés en utilisant un calibrateur interne ou externe dont l'incertitude élargie ne dépasse pas 1 %. Si les coefficients de conversion des constituants individuels ne diffèrent pas de leurs valeurs précédentes de plus de 1 %, le coefficient de conversion affecté précédent du système de mesure est considéré comme encore valide. Si une quelconque différence dépasse 1 %, une nouvelle valeur du coefficient de conversion affecté doit être déterminée par un essai de détermination des caractéristiques (voir 5.3).

NOTE Une mesure en courant continu de la résistance d'un shunt de conversion de courant suffit en général pour le contrôle des caractéristiques.

8.4.5.3 Contrôle du coefficient de conversion du système de mesure

Le système de mesure est comparé à un autre système de mesure approuvé selon la procédure de 5.3.2. Si la différence entre les deux valeurs mesurées n'est pas supérieure à 3 %, le coefficient de conversion affecté précédent est considéré comme encore valide. Si la différence est plus importante, le coefficient de conversion affecté doit alors être obtenu par un essai de détermination des caractéristiques (voir 5.3).

8.4.6 Essai de linéarité

L'essai de linéarité peut être réalisé soit avec un courant continu de courte durée, soit avec un courant asymétrique à fréquence industrielle d'un facteur de crête d'environ 2. Les procédures de 5.3 doivent être suivies.

La valeur à déterminer est la valeur de crête du premier courant de crête. L'essai de linéarité est exigé pour une seule polarité.

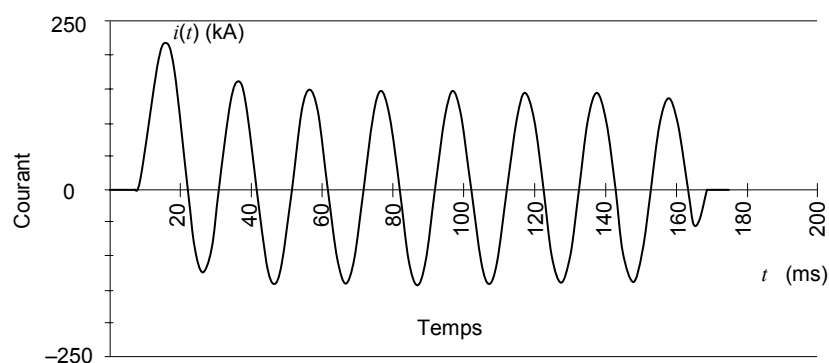
8.5 Procédures d'essai

Le comité d'études concerné définit les procédures d'essai.

9 Courant alternatif de courte durée

9.1 Application

Les applications couvrent des essais à haute intensité. Le courant alternatif de courte durée est un courant alternatif à durée limitée (par exemple, jusqu'à 5 s) avec ou sans composante continue transitoire, c'est-à-dire un courant asymétrique ou symétrique. Lors de la mesure de grandeurs caractéristiques, des coupures de courant peuvent également générer des phénomènes transitoires qui risquent d'être déterminants pour la susceptibilité aux perturbations des systèmes de mesure du courant.



IEC 2183/10

Figure 17 – Exemple de courant alternatif de courte durée

Les procédures données ci-après pour la mesure du courant d'essai s'appliquent tant à l'étalonnage qu'à la mesure.

9.2 Termes et définitions

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

9.2.1

valeur de crête

 $\hat{i}$

amplitude instantanée maximale du courant

9.2.2

valeur efficace vraie d'un événement

 I_{eff}

valeur obtenue à partir de l'expression:

$$I_{\text{eff}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2(t) dt}$$

où

0 est l'instant temporel ($t = 0$) au cours duquel le courant s'écarte pour la première fois de zéro;

T est la durée que prend le courant pour s'écarter de zéro pour la dernière fois;

$i(t)$ est la valeur instantanée du courant.

NOTE 1 La valeur efficace vraie d'un événement peut en général être calculée à partir d'un enregistrement numérique de tout événement limité dans le temps, à condition de prélever un nombre d'échantillons suffisant.

NOTE 2 La valeur efficace vraie d'un événement tient également compte de la contribution de la composante continue.

9.2.3

composante alternative symétrique

valeur efficace vraie du courant après décroissance de l'éventuelle composante

9.2.4

facteur de crête

rapport de la valeur maximale absolue d'une grandeur alternative à sa valeur quadratique moyenne

9.2.5

angle d'impédance

φ

défini par l'expression $\varphi = \arctan \frac{X}{R} = \arctan \frac{\omega L}{R}$

où

ω est la pulsation de l'alimentation;

L est l'inductance;

R est la résistance du circuit équivalent du courant alternatif de courte durée.

L'angle d'impédance est souvent caractérisé par la valeur de $\cos \varphi$ et appelé "facteur de puissance".

NOTE 1 L'angle d'impédance est une caractéristique du circuit d'essai proprement dit.

NOTE 2 Les méthodes de détermination de l'angle d'impédance peuvent être données dans des normes de produit. Une procédure générale est décrite dans l'Annexe G.

9.3 Courant d'essai

9.3.1 Exigences relatives au courant d'essai

Le courant d'essai est en général caractérisé par:

- la valeur de crête;
- la composante alternative symétrique;
- la fréquence;
- le facteur de puissance ($\cos \varphi$) du circuit (voir l'Annexe G);
- la durée.

Pour certaines applications, d'autres paramètres peuvent être pris en compte, comme par exemple l'intégrale de Joule:

$$I_{\text{eff}}^2 \times T = \int_0^T i^2(t) dt$$

NOTE L'Annexe G fournit des procédures pratiques de détermination des valeurs efficaces.

9.3.2 Tolérances

Sauf spécification contraire du comité d'études concerné, les exigences de tolérance applicables au courant d'essai doivent être conformes au Tableau 6.

Tableau 6 – Exigences de tolérance applicables aux paramètres d'essai de courant alternatif de courte durée

Grandeur	Tolérance %
Valeur de crête	± 5
Composante alternative symétrique	± 5
$\cos \varphi$	$\pm 0,05$
Fréquence	± 5
Durée	A définir par le comité d'études concerné

NOTE 1 Il est souligné que la tolérance constitue la différence admise entre la valeur spécifiée et la valeur effectivement mesurée. Il convient de distinguer cette différence de l'incertitude d'une mesure.

NOTE 2 Le comité d'études concerné peut spécifier d'autres limites de tolérance.

9.4 Mesure du courant d'essai

9.4.1 Exigences applicables à un système de mesure approuvé

L'exigence générale consiste à mesurer la valeur de crête et la composante alternative symétrique dans l'étendue de mesure affectée contenue dans le recueil de caractéristiques, avec une incertitude élargie U_{mes} (avec une probabilité de couverture de 95 %) d'au plus 5 %, sauf indication contraire de la norme de matériel concernée.

NOTE 1 Il convient de mesurer l'angle d'impédance, exprimé par $\cos \varphi$, avec une incertitude élargie d'au plus 0,05. L'incertitude de la mesure peut cependant être affectée par d'autres systèmes de mesure utilisés pour cette détermination.

NOTE 2 Dans les systèmes qui utilisent des transformateurs de courant avec fer comme dispositifs de conversion, il convient d'accorder une attention toute particulière aux effets éventuels de la saturation du noyau dus à la succession de courants d'essai asymétriques.

9.4.2 Contributions à l'incertitude

Pour un système de mesure du courant alternatif de courte durée, l'incertitude élargie doit être évaluée selon 5.10.3 et, si nécessaire, selon les Annexes A et B. Les contributions individuelles qui doivent être prises en compte sont indiquées dans le Tableau 9. Les informations sont uniquement données à titre indicatif; d'autres contributions peuvent dans certains cas se révéler significatives et doivent également être prises en compte.

9.4.3 Comportement dynamique

9.4.3.1 Exigences

Les exigences de comportement dynamique dépendent du type d'essai réalisé. Dans chaque cas, le système de mesure doit être caractérisé par une fréquence minimale et une fréquence maximale auxquelles les exigences de 9.4.1 sont satisfaites. Le Tableau 7 fournit une liste des essais typiques et des exigences correspondantes. Les procédures de 5.4 doivent être suivies.

Tableau 7 – Liste des essais typiques réalisés dans un laboratoire d'essai à haute intensité et gamme de fréquences minimales exigée du système de mesure

Type d'essai	Fréquence fondamentale du courant	Gamme des fréquences exigée	Commentaires
Essais de courant de tenue de crête et de courant de tenue de courte durée	Fréquence industrielle	0,2 Hz à 7 fois la fréquence fondamentale du courant d'essai	La composante continue doit également être mesurée
Essais de fermeture et de coupure	Fréquence industrielle	0,2 Hz à 7 fois la fréquence fondamentale du courant d'essai	Normalement sans coupure
Essais de manœuvre de bobine d'inductance de shunt	Fréquence industrielle	0,2 Hz à 7 fois la fréquence fondamentale du courant d'essai	Essai de courant à réamorçage multiple, mesure du courant non requise pour l'évaluation de l'essai
Essais de manœuvre en courant capacitif	A fréquence industrielle mais coupure de courant, et 4 250 Hz à la fermeture lors d'essais « en opposition »	Courant continu à 8 500 Hz	Le courant est naturellement sinusoïdal
Essais synthétiques	Dans une gamme de 250 Hz à 1 000 Hz	0,2 Hz à 7 fois la fréquence fondamentale du courant d'essai	Courant d'injection au cours des essais synthétiques: le courant est naturellement sinusoïdal
Essais de fusible de limitation du courant	Fréquence industrielle avec courant de coupure	20 Hz à 5 000 Hz	Mesure du courant de coupure

Tableau 8 – Exigences de tolérance du coefficient de conversion

A la fréquence fondamentale	A la limite inférieure de la gamme de fréquences %	A la limite supérieure de la gamme de fréquences %
Voir 5.2	±15	±15

En général, un système de mesure qui remplit les exigences ci-dessus applicables au coefficient de conversion est considéré comme satisfaisant aux exigences de 9.4.1 et la contribution à l'incertitude u_{dyn} due à sa réponse en fréquence est considérée comme négligeable. Voir 4.6 pour les détails et 4.4.2 pour les exceptions.

9.4.3.2 Détermination directe de la réponse amplitude-fréquence

Afin de déterminer le comportement dynamique, le système est soumis à une grandeur d'entrée sinusoïdale d'amplitude connue, habituellement à bas niveau, et la grandeur de sortie est mesurée. Cette mesure est répétée pour une gamme appropriée de fréquences.

9.4.3.3 Détermination de la réponse amplitude-fréquence par la fonction de densité spectrale

Le système est soumis à un choc de courant puis ses grandeurs d'entrée et de sortie sont mesurées. La grandeur d'entrée est mesurée au moyen d'un système de mesure de référence ayant une réponse uniforme dans la gamme de fréquences représentative. Il convient que le courant de choc ait un temps de montée plus court que le temps de montée le plus court pour lequel le système en essai doit être qualifié. Il convient que la durée totale du courant de choc corresponde au type de courant pour lequel le système en essai doit être qualifié. La réponse amplitude-fréquence est estimée à partir du rapport entre la grandeur d'entrée (mesurée par le système de mesure correct/de référence) et la grandeur de sortie.

9.4.3.4 Estimation des incertitudes par les techniques de convolution

Il est possible d'estimer les incertitudes d'un système de mesure, dues à la réponse temporelle du système de mesure, à partir d'une réponse indicielle en utilisant les techniques de convolution (voir l'Annexe D).

9.4.4 Etalonnages et essais pour un système de mesure approuvé

Tableau 9 – Essais exigés pour un courant alternatif de courte durée

Type d'essai	Essai de type	Essai individuel de série	Essai de détermination des caractéristiques	Contrôle des caractéristiques
Coefficient de conversion du système de mesure au moment de l'étalonnage			5.2	
Contrôle du coefficient de conversion				9.4.5
Extension de la linéarité		5.3 et 9.4.6 (le cas échéant)	5.3 et 9.4.6 (le cas échéant)	
Comportement dynamique du système de mesure		9.4.3 (le cas échéant)		
Stabilité à court terme du dispositif de conversion		5.5		
Stabilité à long terme	5.6		5.6 (le cas échéant)	
Effet de la température ambiante	5.7			
Effet des trajets de courant voisins sur le dispositif de conversion	5.8 (le cas échéant)			
Effet du logiciel	5.9 (le cas échéant)			
Essai de perturbations sur un système de transmission incluant des éléments actifs; rapport de perturbations			5.12	
Essai de perturbations sur le système de mesure; rapport de perturbations			5.12	
Essai de tension de tenue à sec sur le dispositif de conversion		5.13.1 (le cas échéant)		
Essai de courant de tenue		5.13.2		
Coefficient de conversion d'un dispositif de conversion		5.2		
Coefficient de conversion d'un système de transmission autre qu'un câble		5.2		
Coefficient de conversion d'un instrument de mesure		5.2		
Responsabilité	Pour les constituants: constructeur		Pour le système de mesure: utilisateur	
Fréquence recommandée	Une seule fois (essai de type et individuel de série)		En fonction de la stabilité, mais au moins tous les 5 ans	En fonction de la stabilité, mais au moins tous les ans

La conformité aux exigences des essais de type peut être démontrée par des essais sur un dispositif de même conception ou déduite à partir des données du constructeur. Les essais individuels de série doivent être effectués sur chaque dispositif. Voir 4.6 pour les détails et 4.4.2 pour les exceptions.

9.4.5 Contrôle des caractéristiques

9.4.5.1 Généralités

Le coefficient de conversion d'un système de mesure approuvé peut être contrôlé par l'une des méthodes suivantes.

9.4.5.2 Contrôle des coefficients de conversion des constituants

Le ou les coefficients de conversion de chaque constituant peuvent être contrôlés en utilisant un calibrateur interne ou externe dont l'incertitude élargie ne dépasse pas 1 %. Si les coefficients de conversion des constituants individuels ne diffèrent pas de leurs valeurs précédentes de plus de 1 %, le coefficient de conversion affecté du système de mesure est considéré comme encore valide. Si une quelconque différence dépasse 1 %, une nouvelle valeur du coefficient de conversion affecté doit être déterminée par un essai de détermination des caractéristiques (voir 5.2).

NOTE Des mesures en courant continu de la résistance d'un shunt de conversion de courant suffisent en général pour le contrôle des caractéristiques.

9.4.5.3 Contrôle du coefficient de conversion du système de mesure

Le système de mesure est comparé à un autre système de mesure approuvé selon la procédure de 5.2.1. Si la différence entre les deux valeurs mesurées n'est pas supérieure à 3 %, le coefficient de conversion affecté est considéré comme encore valide. Si la différence est plus importante, le coefficient de conversion affecté doit alors être obtenu par un essai de détermination des caractéristiques (voir 5.2).

NOTE Une comparaison corrélatrice entre deux systèmes de mesure mesurant le même courant peut généralement être réalisée au moyen de deux phases d'un circuit triphasé connecté en série.

9.4.6 Essai de linéarité

L'essai de linéarité doit être réalisé avec un courant asymétrique à fréquence industrielle d'un facteur de crête de 2,8 (ou du facteur de crête maximal valable pour le circuit d'essai). Les procédures de 5.3 doivent être suivies.

La valeur à déterminer est la valeur de crête du premier courant de crête. L'essai doit être effectué pour les deux polarités de la composante continue.

NOTE 1 Du fait des phénomènes de saturation qui apparaissent dans certains dispositifs de conversion, tels que les transformateurs de courant avec fer, il peut être nécessaire de changer la polarité de la composante continue dans les applications de courant ultérieures.

NOTE 2 Le décalage d'un système de mesure peut être identifié par des essais aux deux polarités.

9.4.7 Essai de perturbations

L'essai de perturbations et les exigences correspondantes sont décrits en 5.11.

Pour les systèmes utilisés uniquement pour les mesures de courants à fréquence industrielle, l'essai de perturbations doit être réalisé à la fréquence industrielle.

Pour les systèmes qui sont également utilisés à des fréquences autres que la fréquence industrielle, il est recommandé d'effectuer des essais de perturbations supplémentaires dans la gamme de fréquences du courant d'essai.

9.5 Procédures d'essai

Les procédures d'essai sont définies par le comité d'études concerné ou doivent être convenues avec le client.

10 Courants de choc

10.1 Application

Les applications couvrent des essais de tenue aux chocs de courant, comme par exemple des essais de parafoudre, des essais CEM et des essais de tenue aux chocs de courant de foudre. Voir les Figures 18 à 21.

Les procédures données ci-après pour la mesure du courant d'essai s'appliquent tant à l'étalonnage qu'à la mesure.

NOTE Lors des essais de tensions de choc, la résolution et la reproductibilité de la forme d'onde du courant traversant l'objet en essai peuvent être d'une importance primordiale. Ces cas sont couverts par l'Article 11.

10.2 Termes et définitions

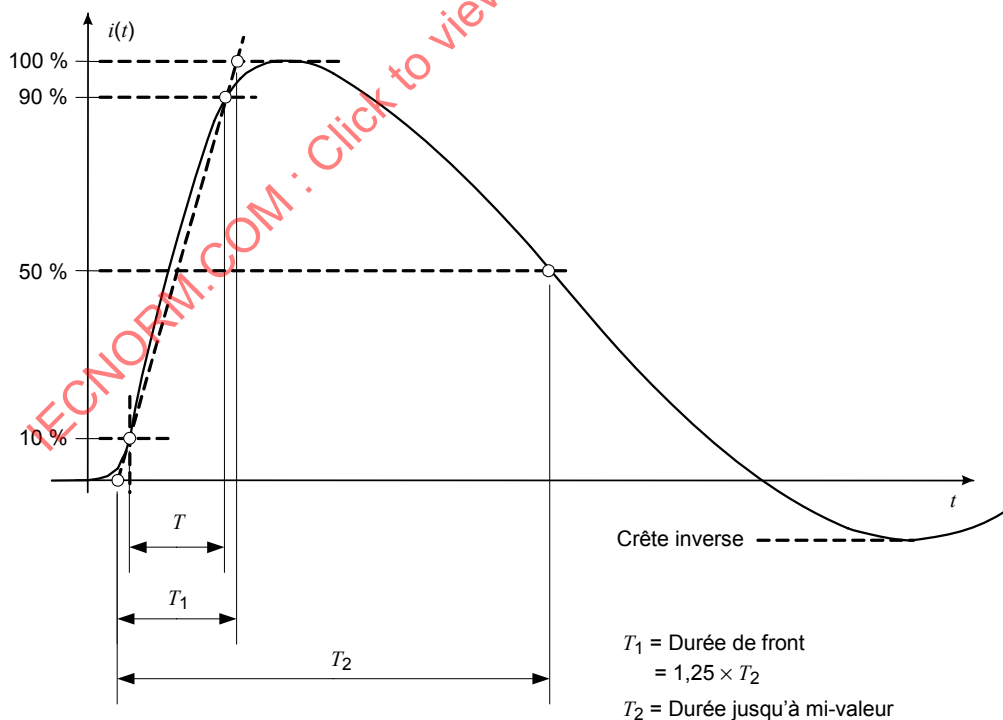
Pour les besoins du présent article, les termes et définitions suivants s'appliquent.

10.2.1

courant de choc exponentiel

courant qui croît de zéro jusqu'à la valeur de crête pendant une courte durée, puis décroît ensuite jusqu'à zéro, soit à peu près de manière exponentielle, soit à la façon d'une sinusoïde fortement amortie. Ce type de courant est défini par la durée du front T_1 (voir 10.2.4) et la durée jusqu'à mi-valeur T_2 (voir 10.2.6); il est généralement appelé courant de choc T_1/T_2 (voir la Figure 18)

NOTE D'autres chocs sont également utilisés pour les essais, comme par exemple les ondes sinusoïdales commutées et les ondes sinusoïdales fortement amorties (en anneau).



IEC 2184/10

Figure 18 – Courant de choc exponentiel

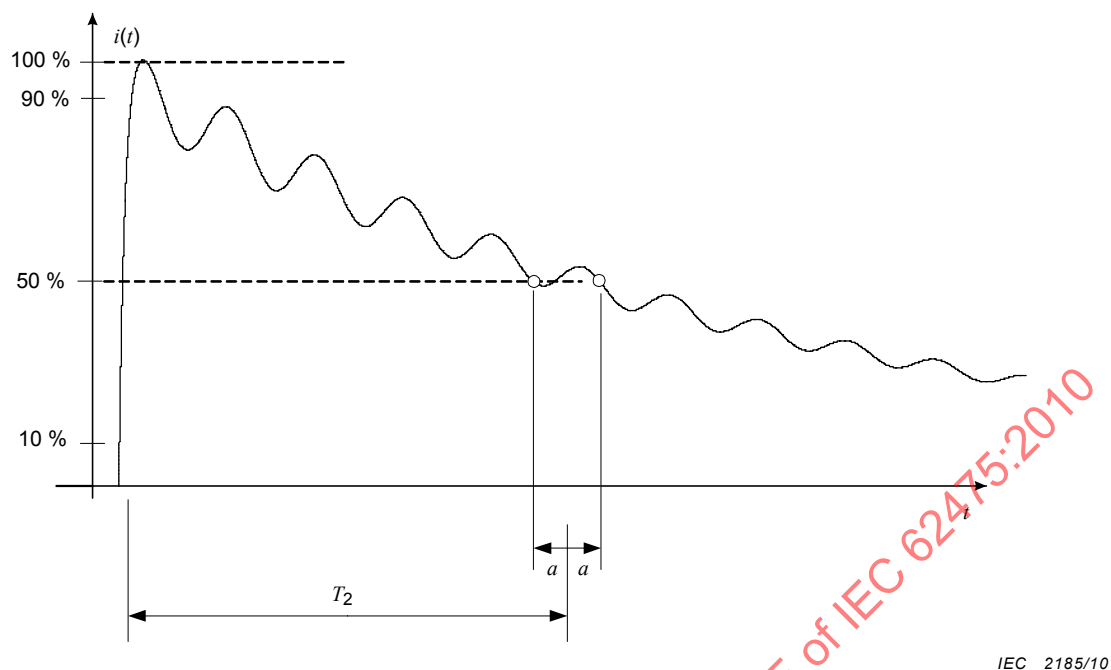


Figure 19 – Courant de choc exponentiel – Oscillations sur la queue

10.2.2

courant de choc rectangulaire

courant de forme d'onde sensiblement rectangulaire, défini par la durée T_d de la crête (voir 10.2.7) et la durée totale T_t (voir 10.2.8). Il est généralement appelé courant de choc T_d/T_t (voir Figure 20)

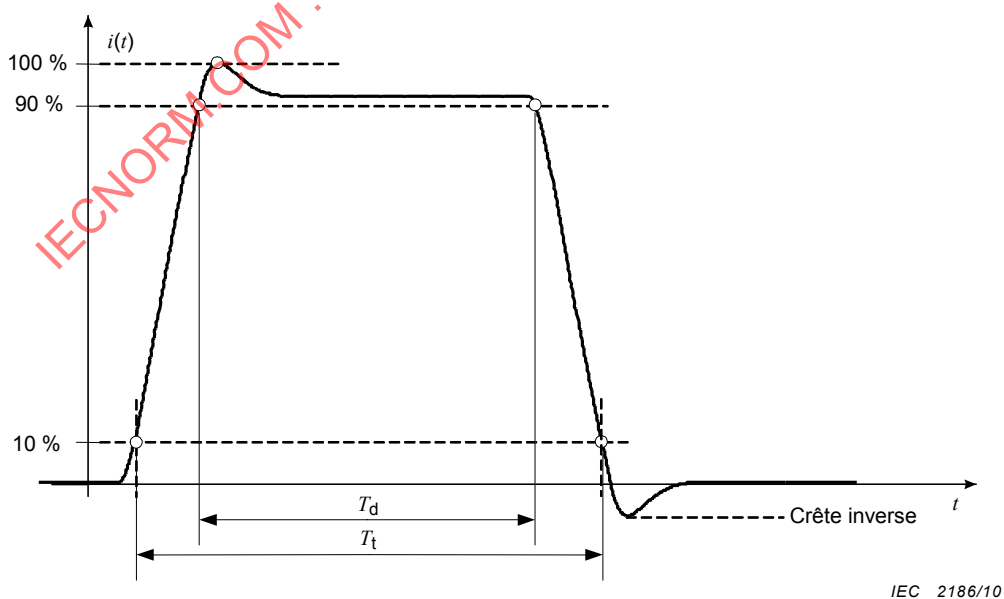


Figure 20 – Courant de choc – Rectangulaire, lisse

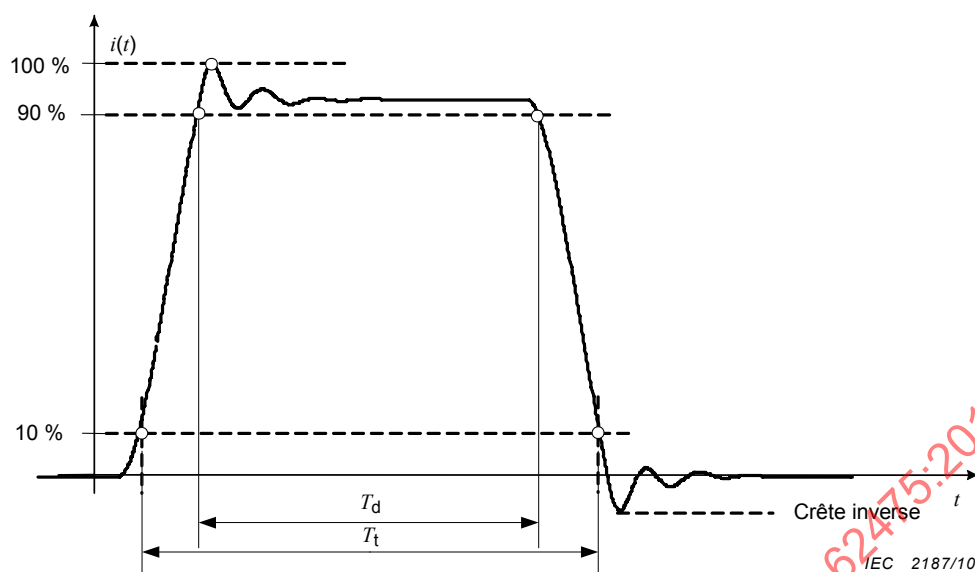


Figure 21 – Courant de choc – Rectangulaire avec oscillations

10.2.3

valeur du courant de choc

valeur de crête du courant d'essai

NOTE Dans certains circuits d'essai, on peut rencontrer des lancés de courant ou des oscillations sur la forme d'onde du courant. Dans ce type de cas, la crête est déterminée par la valeur extrême du courant, à moins que le comité d'études concerné n'ait spécifié une autre procédure, comme par exemple le traçage d'une ligne moyenne au milieu des oscillations.

10.2.4

durée du front

T_1

paramètre conventionnel d'un courant de choc exponentiel défini comme étant égal à 1,25 fois l'intervalle de temps T , entre le moment où le courant de choc atteint 10 % et celui où il atteint 90 % de sa valeur de crête (voir la Figure 18)

10.2.5

origine conventionnelle

O_1

moment qui précède de $0,1T_1$ celui où le courant de choc exponentiel atteint 10 % de sa valeur de crête, et où pour les enregistrements à échelles de temps linéaire, il s'agit de l'intersection entre l'axe des temps et une ligne droite passant par les points de référence 10 % et 90 % du front

10.2.6

durée jusqu'à mi-valeur

T_2

paramètre conventionnel d'un courant de choc exponentiel défini comme étant l'intervalle de temps entre l'origine conventionnelle O_1 et le moment où le courant a décru jusqu'à la moitié de sa valeur de crête (voir la Figure 18), et où, si la queue présente des oscillations, T_2 est pris comme la moyenne temporelle de la première et de la dernière instance au cours desquelles le courant a décru jusqu'à la moitié de la valeur de crête (voir la Figure 19)

10.2.7

durée

T_d

durée au cours de laquelle le courant de choc rectangulaire est supérieur à 90 % de sa valeur de crête (voir les Figures 20 et 21) et pour laquelle, si des oscillations sont observées, T_d est pris comme étant la durée la plus longue au cours de laquelle le courant est globalement supérieur à 90 % de sa valeur de crête

10.2.8

durée totale

T_t

paramètre conventionnel défini comme la période pendant laquelle le courant de choc rectangulaire est supérieur de 10 % à sa valeur de crête (voir les Figures 20 et 21)

NOTE En cas de présence de petites oscillations sur le front, il convient de tracer une courbe moyenne afin de déterminer l'instant où la valeur de 10 % est atteinte.

10.2.9

époque nominale (partie frontale d'un choc uniquement)

τ_N

plage de valeurs comprise entre les valeurs minimale ($t_{\min}$) et maximale ($t_{\max}$) des paramètres temporels relatifs aux chocs pour lesquels le système de mesure est approuvé

NOTE 1 Les paramètres temporels concernés sont:

- la plage de durées de front T_f pour un courant de choc exponentiel,
- la plage de la moitié de la différence entre T_t et T_d pour un courant de choc rectangulaire.

NOTE 2 Un système de mesure peut avoir une, deux ou plusieurs époques nominales pour différentes formes d'onde.

NOTE 3 Pour un courant de choc rectangulaire, il convient que l'époque nominale soit prise comme étant:

$$t_{\min} = \min\left(\frac{T_t - T_d}{2}\right) \text{ et } t_{\max} = \max\left(\frac{T_t - T_d}{2}\right)$$

10.2.10

charge d'un courant de choc

Q

intégrale temporelle de la valeur absolue du courant instantané:

$$Q = \int_0^{\infty} |i(t)| dt$$

NOTE 1 Pour des raisons d'ordre pratique, il convient de choisir la limite supérieure de l'intégrale, de façon à ce que la contribution résiduelle soit inférieure à une valeur spécifiée fournie par le comité d'études concerné.

NOTE 2 La valeur absolue du courant est applicable dans les cas où il existe des points de pied d'arc présentant une chute de tension sensiblement constante.

10.2.11

intégrale de Joule d'un courant de choc

I^2t

intégrale temporelle du carré du courant instantané:

$$I^2t = \int_0^{\infty} i^2(t) dt$$

NOTE Pour des raisons d'ordre pratique, il convient de choisir la limite supérieure de l'intégrale, de façon à ce que la contribution résiduelle soit inférieure à une valeur spécifiée fournie par le comité d'études concerné.

10.3 Courant d'essai

10.3.1 Généralités

Différents courants de choc normalisés sont utilisés au cours des essais. Des exemples de courants de choc exponentiels sont donnés dans le Tableau 10, d'autres exemples étant fournis dans l'Annexe H. D'autres formes d'onde peuvent être spécifiées par les comités d'études CEI concernés.

NOTE Des études ultérieures sont envisagées afin de réduire le nombre de formes d'onde différentes.

Tableau 10 – Exemples de types de courants de choc exponentiels

Type de choc	Durée du front T_1 μ s	Durée jusqu'à mi-valeur T_2 μ s	Tolérances sur les paramètres temporels
1 / ≤ 20	1	≤ 20	$T_1 \pm 10$ % $T_2 \leq 20$ μ s
8/20	8	20	$T_1 \pm 20$ % $T_2 \pm 20$ %
10/350	10	350	$T_1 \pm 30$ % $T_2 \pm 20$ %

10.3.2 Tolérances

10.3.2.1 Courant de choc exponentiel

Sauf spécification contraire du comité d'études concerné, les tolérances sur les valeurs spécifiées concernant les courants de choc exponentiels sont les suivantes:

- charge 0 %, limite supérieure spécifiée par le comité d'études concerné;
- intégrale de Joule 0 %, limite supérieure spécifiée par le comité d'étude concerné;
- valeur du courant d'essai ± 10 %;
- durée du front T_1 ± 20 %;
- durée jusqu'à mi-valeur T_2 ± 20 %.

NOTE 1 Ces tolérances s'appliquent à certains types de chocs difficiles à réaliser avec des éléments linéaires uniquement, du fait de leurs limites physiques (par exemple, des chocs 4/10 et 8/20; voir l'Annexe E). Le comité d'études concerné peut spécifier des détails supplémentaires ou modifier les tolérances.

NOTE 2 Dans les cas où la charge ou l'énergie spécifique est importante pour l'essai, la tolérance pour T_2 peut être de ± 50 %.

L'éventuelle crête d'inversion de polarité après que le courant d'essai soit passé à zéro ne doit pas dépasser 30 % de la valeur du courant de choc, c'est-à-dire la valeur de crête, sauf spécification contraire du comité d'études concerné.

10.3.2.2 Courant de choc rectangulaire

- charge 0 %, limite supérieure spécifiée par le comité d'études concerné;
- intégrale de Joule 0 %, limite supérieure spécifiée par le comité d'études concerné;
- valeur de crête 0 %, +20 %;

- durée T_d du courant de crête 0 %, +20 %;
- durée totale T_t $< 1,5 T_d$.

Il convient que la crête d'inversion de polarité après que le courant d'essai soit passé à zéro ne dépasse pas 10 % de la valeur du courant de choc, c'est-à-dire la valeur de crête.

10.4 Mesure du courant d'essai

10.4.1 Exigences applicables à un système de mesure approuvé

Les exigences générales sont les suivantes:

- la mesure de la valeur du courant de choc, c'est-à-dire la valeur de crête avec une incertitude élargie U_{mes} (avec une probabilité de couverture de 95 %) d'au plus 3 %;
- la mesure des paramètres temporels (qui définissent la forme d'onde) avec une incertitude élargie (avec une probabilité de couverture de 95 %) d'au plus 10 %;
- l'obtention d'un décalage de la grandeur de sortie suffisamment faible pour permettre le calcul de la charge d'un courant de choc ainsi que l'intégrale de Joule.

10.4.2 Contributions à l'incertitude

Pour un système de mesure du courant de choc, l'incertitude élargie doit être évaluée selon 5.10.3 et, si nécessaire, selon les Annexes A et B. Les contributions individuelles qui doivent être prises en compte sont indiquées dans le Tableau 11. Les informations sont uniquement données à titre indicatif; d'autres contributions peuvent dans certains cas se révéler significatives et doivent également être prises en compte.

10.4.3 Comportement dynamique

10.4.3.1 Exigences

Le comportement dynamique d'un système de mesure convient pour le domaine de formes d'onde spécifiées dans le recueil de caractéristiques si:

- le coefficient de conversion est constant à 1 % près sur chaque domaine de formes d'onde;
- l'incertitude élargie des paramètres temporels mesurés plus leurs erreurs n'est pas supérieure à 10 %.

Le comportement dynamique du système de mesure doit être déterminé pour l'époque nominale au moyen de courants de choc ayant deux formes d'onde différentes, telles que:

- t_{min} est égal au paramètre temporel le plus court dans l'époque nominale (voir 10.2.9);
- t_{max} est égal au paramètre temporel le plus long dans l'époque nominale (voir 10.2.9).

Il convient que la durée jusqu'à mi-valeur (la durée totale si la forme d'onde est rectangulaire) s'approche de la durée la plus longue pour laquelle le système de mesure doit être approuvé.

La contribution à l'incertitude u_{dyn} due à la variation du coefficient de conversion sur l'époque nominale doit être évaluée selon 5.4.

10.4.3.2 Comparaison avec un système de mesure de référence (méthode à privilégier)

On peut utiliser les mêmes enregistrements que ceux de l'essai décrit en 5.2.1 et les paramètres temporels significatifs des chocs mesurés sont évalués pour chaque système. Les erreurs sur les paramètres temporels mesurés par le système en cours d'étalonnage doivent être évaluées. L'incertitude de l'erreur doit également être évaluée, en tenant compte à la fois de l'incertitude du système de mesure de référence et des incertitudes dues au processus d'étalonnage.

NOTE Si l'approbation concerne un groupe de types de chocs, $t_{\min}$ peut être choisi à partir d'un type de choc donné et $t_{\max}$ à partir d'un autre. Dans ce type de cas, il convient d'utiliser la durée jusqu'à mi-valeur la plus longue de tous les types de chocs.

10.4.3.3 Méthode alternative fondée sur la convolution

Le coefficient de conversion d'un système de mesure est déterminé par toute méthode appropriée. La forme d'onde utilisée pour déterminer le coefficient de conversion doit s'inscrire dans le domaine couvert par la méthode de convolution décrite ci-dessous.

Le comportement dynamique est déterminé à partir de la mesure de la réponse indicielle sur le système de mesure et à partir de la convolution de la réponse indicielle enregistrée avec les formes d'onde nominales dont l'approbation est requise. Il est possible d'estimer, à partir de la convolution, les erreurs introduites par le système de mesure pour différentes formes d'onde. Il est possible d'évaluer l'incertitude de mesure à partir de ces erreurs. La variation du coefficient de conversion sur l'époque nominale doit rester à 1 %. La réponse indicielle doit être enregistrée conformément à 10.4.3.6. Voir également les Annexes C et D.

10.4.3.4 Etalonnage sur la base des constituants

Les coefficients de conversion des constituants du système de mesure sont déterminés par toute méthode appropriée. La forme d'onde utilisée pour déterminer le coefficient de conversion doit s'inscrire dans le domaine couvert par la méthode de convolution décrite ci-dessous.

Le comportement dynamique est déterminé à partir des mesures de la réponse indicielle des constituants et à partir de la convolution des réponses indicielles enregistrées les unes avec les autres, ainsi qu'avec les formes d'onde nominales dont l'approbation est requise. Il est possible d'estimer, à partir de la convolution, les erreurs introduites par le constituant examiné, pour différentes formes d'onde. Il est possible d'évaluer l'incertitude de mesure à partir de ces erreurs. La variation du coefficient de conversion de l'ensemble du système de mesure sur l'époque nominale doit rester à 1 %. La réponse indicielle doit être enregistrée conformément à 10.4.3.6. Pour plus d'informations sur la convolution, voir l'Annexe D.

10.4.3.5 Enregistrement de référence (optionnel)

Lorsque l'on souhaite utiliser la réponse indicielle du système de mesure lors des contrôles de caractéristiques, celle-ci doit être enregistrée selon la méthode décrite en 10.4.3.6. La réponse indicielle doit être incluse dans le recueil de caractéristiques à titre d'enregistrement de référence (« signature ») en vue de détecter des variations dans le comportement dynamique lors de contrôles de caractéristiques réalisés ultérieurement (voir 10.4.5).

10.4.3.6 Enregistrement de la réponse indicielle

Le système est soumis à un choc de courant puis ses grandeurs d'entrée et de sortie sont mesurées. La grandeur d'entrée est mesurée au moyen d'un système de mesure de référence ayant une réponse uniforme dans la gamme de fréquences représentative. Il convient que le courant de choc ait un temps de montée plus court que le temps de montée le plus court $t_{\min}$ (voir 10.2.9) pour lequel le système en essai doit être qualifié. Il convient que la durée totale du courant de choc corresponde au type de choc pour lequel le système en essai doit être qualifié.

10.4.4 Etalonnages et essais pour un système de mesure approuvé

Tableau 11 – Essais exigés pour le courant de choc

Type d'essai	Essai de type	Essai individuel de série	Essai de détermination des caractéristiques	Contrôle des caractéristiques
Coefficient de conversion du système de mesure au moment de l'étalonnage			5.2	
Contrôle du coefficient de conversion				10.4.5
Extension de la linéarité		5.3 (le cas échéant)	5.3 (le cas échéant)	
Comportement dynamique du système de mesure	10.4.3 (le cas échéant)		10.4.3 (le cas échéant)	10.4.5.4 (le cas échéant)
Stabilité à court terme du dispositif de conversion		5.5		
Stabilité à long terme	5.6		5.6 (le cas échéant)	
Effet de la température ambiante	5.7			
Effet des trajets de courant voisins sur le dispositif de conversion	5.8 (le cas échéant)			
Effet du logiciel	5.9 (le cas échéant)			
Essai de perturbations sur un système de transmission incluant des éléments actifs; rapport de perturbations			5.12	
Essai de perturbations sur le système de mesure; rapport de perturbations			5.12	
Essai de tension de tenue à sec sur le dispositif de conversion		5.13.1 (le cas échéant)		
Essai de courant de tenue		5.13.2		
Coefficient de conversion d'un dispositif de conversion		5.2		
Coefficient de conversion d'un système de transmission autre qu'un câble		5.2		
Coefficient de conversion d'un instrument de mesure		5.2		
Responsabilité	Pour les constituants: constructeur		Pour le système de mesure: utilisateur	
Fréquence recommandée	Une seule fois (essai de type et individuel de série)		En fonction de la stabilité, mais au moins tous les 5 ans	En fonction de la stabilité, mais au moins tous les ans

La conformité aux exigences des essais de type peut être démontrée par des essais sur un dispositif de même conception ou déduite à partir des données du constructeur. Les essais individuels de série doivent être effectués sur chaque dispositif. Voir 4.6 pour les détails et 4.4.2 pour les exceptions.

10.4.5 Contrôle des caractéristiques

10.4.5.1 Généralités

Le coefficient de conversion d'un système de mesure approuvé peut être contrôlé par l'une des méthodes suivantes.