IEC 61180

Edition 1.0 2016-06

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

colour inside

High-voltage test techniques for low-voltage equipment – Definitions, test and procedure requirements, test equipment

Techniques des essais à haute tension pour matériel à basse tension – Définitions, exigences et modalités relatives aux essais, matériel d'essai

IEC 61180:2016-06(en-fr)

THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED
Copyright © 2016 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 l'IEC ou du Comité national de l'IEC du pays du demandeur. Si vous avez des questions sur le copyright de l'IEC ou si vous désirez obtenir des droits supplémentaires sur cette publication, utilisez les coordonnées ci-après ou contactez le Comité national de l'IEC de votre pays de résidence.

IEC Central Office
3, rue de Varembé
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

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

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

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

IEC Catalogue - webstore.iec.ch/catalogue
The stand-alone application for consulting the entire bibliographical information on IEC International Standards, Technical Specifications, Technical Reports and other documents. Available for PC, Mac OS, Android Tablets and iPad.

IEC publications search - www.iec.ch/searchpub
The advanced search enables to find IEC publications by a variety of criteria (reference number, text, technical committee,…). It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished
Stay up to date on all new IEC publications. Just Published details all new publications released. Available online and also once a month by email.

Electropedia - www.electropedia.org
The world's leading online dictionary of electronic and electrical terms containing 20 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in 15 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

IEC Glossary - std.iec.ch/glossary
65 000 electrotechnical terminology entries in English and French extracted from the Terms and Definitions clause of IEC publications issued since 2002. Some entries have been collected from earlier publications of IEC TC 37, 77, 86 and CISPR.

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

A propos de l'IEC
La Commission Electrotechnique Internationale (IEC) 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 IEC
Le contenu technique des publications IEC est constamment revu. Veuillez vous assurer que vous possédez l'édition la plus récente, un corrigendum ou amendement peut avoir été publié.

Catalogue IEC - webstore.iec.ch/catalogue
Application autonome pour consulter tous les renseignements bibliographiques sur les Normes internationales, Spécifications techniques, Rapports techniques et autres documents de l'IEC. Disponible pour PC, Mac OS, tablettes Android et iPad.

Recherche de publications IEC - www.iec.ch/searchpub
La recherche avancée permet de trouver des publications IEC en utilisant différents critères (numéro de référence, texte, comité d'études,…). Elle donne aussi des informations sur les projets et les publications remplacées ou retirées.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished
Restez informé sur les nouvelles publications IEC. Just Published détaille les nouvelles publications parues. Disponible en ligne et aussi une fois par mois par email.

Electropedia - www.electropedia.org
Le premier dictionnaire en ligne de termes électroniques et électriques. Il contient 20 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 15 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

Glossaire IEC - std.iec.ch/glossary
65 000 entrées terminologiques électrotechniques, en anglais et en français, extraites des articles Termes et Définitions des publications IEC parues depuis 2002. Plus certaines entrées antérieures extraites des publications des CE 37, 77, 86 et CISPR de l'IEC.

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

IEC 61180

Edition 1.0 2016-06

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

colour inside

High-voltage test techniques for low-voltage equipment – Definitions, test and procedure requirements, test equipment

Techniques des essais à haute tension pour matériel à basse tension – Définitions, exigences et modalités relatives aux essais, matériel d'essai

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 19.080

ISBN 978-2-8322-3366-5

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

® Registered trademark of the International Electrotechnical Commission
Marque déposée de la Commission Electrotechnique Internationale

CONTENTS

FOREWORD....5
1 Scope....7
2 Normative references....7
3 Terms and definitions....8
3.1 General terms....8
3.2 Definitions related to disruptive discharge and test voltages....8
3.3 Characteristics related to the test equipment....9
3.4 Characteristics related to direct voltage tests....9
3.5 Characteristics related to alternating voltage tests....10
3.6 Characteristics related to impulse tests (see Figure 1)....11
3.7 Definitions relating to tolerance and uncertainty....12
4 General requirements....13
4.1 General....13
4.2 Atmospheric conditions for test procedures and verification of test equipment....14
4.3 Procedures for qualification and use of measuring systems....14
4.3.1 General principles....14
4.3.2 Schedule of performance tests....15
4.3.3 Requirements for the record of performance....15
4.3.4 Uncertainty....15
4.4 Tests and test requirements for an approved measuring system and its components....16
4.4.1 Calibration – Determination of the scale factor....16
4.4.2 Influence of load....18
4.4.3 Dynamic behaviour....18
4.4.4 Short-term stability....19
4.4.5 Long-term stability....19
4.4.6 Ambient temperature effect....20
4.4.7 Uncertainty calculation of the scale factor....20
4.4.8 Uncertainty calculation of time parameter measurement (impulse voltages only)....22
5 Tests with direct voltage....25
5.1 General....25
5.2 Test voltage....25
5.2.1 Requirements for the test voltage....25
5.2.2 Generation of the test voltage....25
5.2.3 Measurement of the test voltage....25
5.3 Test procedures....26
5.3.1 Withstand voltage tests....26
6 Tests with alternating voltage....27
6.1 Test voltage....27
6.1.1 Requirements for the test voltage....27
6.1.2 Generation of the test voltage....27
6.1.3 Measurement of the test voltage....28
6.2 Test procedures....30
6.2.1 Withstand voltage tests....30
7 Tests with impulse voltage....30

7.1 Test voltage 30
7.1.1 General 30
7.1.2 Requirements for the test voltage 31
7.1.3 Generation of the test voltage 31
7.1.4 Measurement of the test voltage and determination of impulse shape 32
7.2 Test procedures 32
7.2.1 Verification of impulse voltage waveshape 32
7.2.2 Impulse voltage tests 32
7.3 Measurement of the test voltage 32
7.3.1 Requirements for an approved measuring system 32
7.3.2 Uncertainty contributions 33
7.3.3 Dynamic behaviour 33
7.3.4 Requirements for measuring instrument 33
8 Reference measurement systems 33
8.1 Requirements for reference measuring systems 33
8.1.1 Direct voltage 33
8.1.2 Alternating voltage 33
8.1.3 Impulse voltages 33
8.2 Calibration of a reference measuring system 33
8.2.1 General 33
8.2.2 Reference method: comparative measurement 34
8.3 Interval between successive calibrations of reference measuring systems 34
8.4 Use of reference measuring systems 34
Annex A (informative) Uncertainty of measurement 35
A.1 General 35
A.2 Terms and definitions in addition to 3.7 35
A.3 Model function 36
A.4 Type A evaluation of standard uncertainty 36
A.5 Type B evaluation of standard uncertainty 37
A.6 Combined standard uncertainty 38
A.7 Expanded uncertainty 39
A.8 Effective degrees of freedom 40
A.9 Uncertainty budget 40
A.10 Statement of the measurement result 41
Annex B (informative) Example for the calculation of measuring uncertainties in high-voltage measurements 43
Annex C (informative) Atmospheric correction 47
C.1 Standard reference atmosphere 47
C.2 Atmospheric correction factor 47
C.2.1 General 47
C.2.2 Humidity correction factor k_2 47
C.2.3 Air density correction factor k_1 48
Bibliography 49

Figure 1 – Full impulse voltage time parameters 11
Figure 2 – Calibration by comparison over the full voltage range 17
Figure 3 – Uncertainty contributions of the calibration (example with a minimum of 5 voltage levels) 18

Figure 4 – Shaded area for acceptable normalised amplitude-frequency responses of measuring systems intended for single fundamental frequencies f_{nom} (to be tested in the range (1….7) f_{nom}) 29
Figure 5 – Shaded area for acceptable normalised amplitude-frequency responses of measuring systems intended for a range of fundamental frequencies f_{nom1} to f_{nom2} (to be tested in the range f_{nom1} to 7 f_{nom2}).....29
Figure 6 – 1,2/50 µs standard impulse voltage.....31
Figure A.1 – Normal probability distribution $p(x)$.....42
Figure A.2 – Rectangular probability distribution $p(x)$ 42

Table 1 – Tests required for an approved direct voltage measuring system 26
Table 2 – Minimum currents of the test circuit.....27
Table 3 – Tests required for an approved alternating voltage measuring system.....30
Table 4 – Tests required for an approved impulse voltage measuring system 33
Table A.1 – Coverage factor k for effective degrees of freedom v_{eff} (p = 95,45 %).....40
Table A.2 – Schematic of an uncertainty budget 41
Table B.1 – Result of the comparison measurement up to 500 V at a single voltage level 44
Table B.2 – Summary of results for h = 5 voltage levels (V_{Xmax} = 500 V).....45
Table B.3 – Uncertainty budget of the assigned scale factor F_X 46

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

_____

HIGH-VOLTAGE TEST TECHNIQUES FOR LOW-VOLTAGE EQUIPMENT –

Definitions, test and procedure requirements, test equipment

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 61180 has been prepared by IEC technical committee 42: High-voltage and high-current test techniques.

This 1st edition of IEC 61180 cancels and replaces the 1st edition of IEC 61180-1, issued in 1992, and the 1st edition of IEC 61180-2, issued in 1994.

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

FDIS	Report on voting
42/341/FDIS	42/342/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 the specific publication. At this date, the publication will be

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

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

HIGH-VOLTAGE TEST TECHNIQUES FOR LOW-VOLTAGE EQUIPMENT –

Definitions, test and procedure requirements, test equipment

1 Scope

This International Standard is applicable to:

– dielectric tests with direct voltage;
– dielectric tests with alternating voltage;
– dielectric tests with impulse voltage;
– test equipment used for dielectric tests on low-voltage equipment.

This standard is applicable only to tests on equipment having a rated voltage of not more than 1 kV a.c. or 1,5 kV d.c.

This standard is applicable to type and routine tests for objects which are subjected to high voltage tests as specified by the technical committee.

The test equipment comprises a voltage generator and a measuring system. This standard covers test equipment in which the measuring system is protected against external interference and coupling by appropriate screening, for example a continuous conducting shield. Therefore, simple comparison tests are sufficient to ensure valid results.

This standard is not intended to be used for electromagnetic compatibility tests on electric or electronic equipment

NOTE Tests with the combination of impulse voltages and currents are covered by IEC 61000-4-5.

This standard provides the relevant technical committees as far as possible with:

– defined terms of both general and specific applicability;
– general requirements regarding test objects and test procedures;
– methods for generation and measurement of test voltages;
– test procedures;
– methods for the evaluation of test results and to indicate criteria for acceptance;
– requirements concerning approved measuring devices and checking methods;
– measurement uncertainty.

Alternative test procedures may be required and these should be specified by the relevant technical committees.

Care should be taken if the test object has voltage limiting devices, as they may influence the results of the test. The relevant technical committees should provide guidance for testing objects equipped with voltage limiting devices.

2 Normative references

The following documents, in whole or in part, are normatively referenced in this document and are indispensable for its application. For dated references, only the edition cited applies. For

undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

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

IEC 60060-2:2010, *High-voltage test techniques – Part 2: Measuring systems*

IEC 60068-1:2013, *Environmental testing – Part 1: General and guidance*

IEC 60335(all parts): *Household and similar electrical appliances – Safety*

IEC 60664-1:2007, *Insulation co-ordination for equipment within low-voltage systems – Part 1: Principles, requirements and tests*

IEC 61083-1:2001, *Instruments and software used for measurement in high-voltage impulse test – Part 1: Requirements for instruments*

IEC 61083-2:2013, *Instruments and software used for measurement in high-voltage and high-current tests – Part 2: Requirements for software for tests with impulse voltages and currents*

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

3 Terms and definitions

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

3.1 General terms

3.1.1
clearance
distance between two conductive parts along a string stretched across the shortest path between these conductive parts

[SOURCE: IEC 60050-441:1984, 441-17-31]

3.1.2
creepage distance
shortest distance along the surface of a solid insulating material between two conductive parts

[SOURCE: IEC 60050-151: 2001, 151-15-50]

3.2 Definitions related to disruptive discharge and test voltages

3.2.1
disruptive discharge
failure of insulation under electric stress, in which the discharge completely bridges the insulation under test, reducing the voltage between electrodes to practically zero

3.2.2
withstand voltage
specified voltage value which characterizes the insulation of the object with regard to a withstand test

Note 1 to entry: Unless otherwise specified, withstand voltages are referred to standard reference atmospheric conditions (see 4.2).

3.3 Characteristics related to the test equipment

3.3.1
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 to entry: The determination of the scale factor is included in the calibration.

[SOURCE: IEC 60050-311:2001, 311-01-09, modified: note modified]

3.3.2
type test
conformity test made on one or more items representative of the production

Note 1 to entry: For a measuring system, this is a test performed on a component or on a complete measuring system of the same design to characterize it under operating conditions.

[SOURCE: IEC 60050-151: 2001, 151-16-16, modified:note added]

3.3.3
routine test
conformity test made on each individual item during or after manufacture

Note 1 to entry: This is a test performed on each component or on each complete measuring system to characterize it under operating conditions.

[SOURCE: IEC 60050-151: 2001, 151-16-17, modified:note added]

3.3.4
performance test
test performed on a complete measuring system to characterize it under operating conditions

3.3.5
test equipment
complete set of devices needed to generate and measure the test voltage or current applied to a test object

3.3.6
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 voltage

3.3.7
assigned scale factor
scale factor of a measuring system determined at the most recent performance test

Note 1 to entry: 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 Characteristics related to direct voltage tests

3.4.1
value of the test voltage
arithmetic mean value

3.4.2
ripple
periodic deviation from the arithmetic mean value of the test voltage

3.4.3
ripple amplitude
half the difference between the maximum and minimum values

Note 1 to entry: In cases where the ripple shape is nearly sinusoidal, true r.m.s. values multiplied by $\sqrt{2}$ are acceptable for determination of the ripple amplitude.

3.4.4
ripple factor
ratio of the ripple amplitude to the value of test voltage

3.5 Characteristics related to alternating voltage tests

3.5.1
peak value
average of the magnitudes of the positive and negative maximum values

3.5.2
r.m.s. value
square root of the mean value of the square of the voltage values during a complete cycle

3.5.3
true r.m.s. value
value obtained from

$$I_{\text{rms}} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_{0}^{T} i^2(t)\,\mathrm{d}t}$$

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 to entry: 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.

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

3.5.4
total harmonic distortion
THD
the ratio of the rms value of the harmonic content of an alternating quantity to the rms value of the fundamental component of the quantity

[SOURCE: IEC 60050-551: 1998, 551-17-06]

3.6 Characteristics related to impulse tests (see Figure 1)

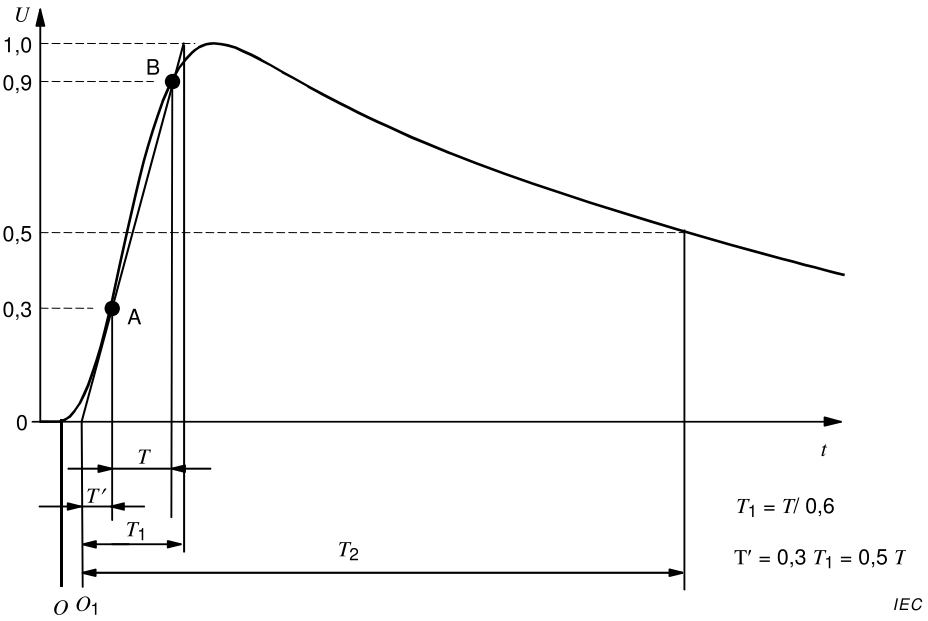


Figure 1 – Full impulse voltage time parameters

Note 1 to entry: Oscillations are negligible.

3.6.1
impulse voltage
intentionally applied aperiodic transient voltage which usually rises rapidly to a peak value and then falls more slowly to zero

3.6.2
peak value
maximum value

3.6.3
value of the test voltage
for an impulse without overshoot or oscillations, its peak value

Note 1 to entry: The determination of the peak value, in the case of oscillations or overshoot on standard impulses, is considered in IEC 60060-1.

3.6.4
front time
T_1
virtual parameter defined as 1/0,6 times the interval T between the instants when the impulse is 30 % and 90 % of the peak value on the test voltage curve (points A and B, Figure 1)

3.6.5
virtual origin
O_1
instant preceding point A, of the test voltage curve (see Figure 1) by a time 0,3 T_1

Note 1 to entry: For records having linear time scales, this is the intersection with the time axis of a straight line drawn through the reference points A and B on the front.

3.6.6
time to half-value
T_2
virtual parameter defined as the time interval between the virtual origin O_1 and the instant when the voltage has decreased to half the peak value

3.6.7
recorded curve
graphical or digital representation of the test data of an impulse voltage

3.7 Definitions relating to tolerance and uncertainty

3.7.1
tolerance
permitted difference between the measured value and the specified value

3.7.2
uncertainty of measurement
parameter, associated with the result of a measurement, that characterizes the dispersion of the values that could be reasonably attributed to the measurand

Note 1 to entry: Uncertainty is positive and given without sign.

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

3.7.3
error
measured quantity value minus a reference quantity value

[SOURCE: ISO/IEC Guide 98-3:2008, GUM 2.3.2]

3.7.4
standard uncertainty
u
uncertainty of the result of a measurement expressed as a standard deviation

Note 1 to entry: The standard uncertainty associated with an estimate of a measurand has the same dimension as the measurand.

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

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

3.7.5
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

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

3.7.6
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

Note 1 to entry: Expanded uncertainty is the closest match to the term “overall uncertainty”.

Note 2 to entry: The true, but unknown test-voltage value may lie outside the limits given by the uncertainty because the coverage probability is < 100 % (see 3.7.7).

[SOURCE: ISO/IEC Guide 98-3:2008, GUM 2.3.5, modified:notes added]

3.7.7
coverage factor
k
numerical factor used as multiplier of the combined standard uncertainty in order to obtain an expanded uncertainty

Note 1 to entry: For 95 % coverage probability and normal (Gaussian) probability distribution the coverage factor is approximately $k = 2$.

[SOURCE: ISO/IEC Guide 98-3:2008, GUM 2.3.6, modified:note added]

3.7.8
type A evaluation
method of evaluation of an uncertainty by statistical analysis of a series of observations

3.7.9
type B evaluation
method of evaluation of an uncertainty by means other than statistical analysis of a series of observations

3.7.10
national metrology institute
institute designated by national decision to develop and maintain national measurement standards for one or more quantities

4 General requirements

4.1 General

Unless otherwise specified by the relevant technical committee, the test object should be clean and dry, stabilized to ambient environmental conditions and the voltage application shall be as specified in the relevant clauses of this standard. The test procedures applicable to particular types of test objects, should be specified by the relevant technical committee, having regard to such factors as:

- the required accuracy of test results;
- the random nature of the observed phenomenon and any polarity dependence of the measured characteristics;
- the possibility of progressive deterioration with repeated voltage applications.

This includes for example, the polarity to be used, the preferred order if both polarities are to be used, the number of applications and the interval between applications, and any conditioning and preconditioning.

The connections between the test equipment and the object subjected to the high voltage test shall be direct and as short as possible. Loops of the connections should be avoided to minimize oscillations on the front of the impulse. The leads should be as close to each other as possible in order to minimize the area between the leads.

These requirements shall also apply for the qualification of the measuring system, e.g. the test equipment to be calibrated and the reference measuring system.

The manufacturer of the test equipment shall give information on the characteristics of the test equipment, so that the generated voltage is still within the allowed tolerances when testing the object subjected to the high voltage test.

4.2 Atmospheric conditions for test procedures and verification of test equipment

The atmospheric conditions for test procedures and the verification of test equipment shall be those stated for testing in IEC 60068-1:

Temperature	15 °C to 35 °C
Air pressure	86 kPa to 106 kPa
Relative humidity	25 % to 75 %
Absolute humidity	≤ 22 g/m^3

The actual atmospheric conditions during the test shall be recorded.

For the purpose of testing, where the atmospheric conditions are within the ranges specified in this standard, corrections to the test voltage due to variations of the temperature, humidity and air pressure do not need to be applied.

When the atmospheric conditions during the test are not within the ranges specified in this standard, the method in Annex C shall be used, by agreement, for test voltage correction.

4.3 Procedures for qualification and use of measuring systems

4.3.1 General principles

Every approved measuring system shall undergo initial tests, followed by periodic performance tests throughout its service life, as specified in 4.3.2. The initial tests consist of type tests and routine tests.

The performance tests shall prove that the measuring systems can measure the intended test voltages 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, as specified in 4.3.3.

A major requirement for measuring systems is stability within the specified range of operating conditions so that the scale factor remains constant over long periods.

The assigned scale factor is determined in the performance test by calibration. Any calibration shall be traceable to national and/or international standards. The user shall ensure that any calibration is performed by competent personnel using reference measuring systems and suitable procedures.

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.

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.

In all cases, the user shall include the test data in the record of performance.

4.3.2 Schedule of performance tests

To maintain the quality of a measuring system, the assigned scale factor(s) shall be determined by periodic performance tests. The interval between performance tests shall be not longer than 1 year unless otherwise stated by the manufacturer and based on experience demonstrating long-term stability.

Performance tests shall be made following 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.

4.3.3 Requirements for the record of performance

The results of all tests, 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 measuring system.
- Results of subsequent performance tests on the measuring system.

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

4.3.4 Uncertainty

The uncertainty of all measurements made under this International Standard shall be evaluated according to ISO/IEC Guide 98-3. Uncertainty of measurement shall be distinguished from the tolerance. A pass/fail decision is based solely on the measured value in relation to the pass/fail criteria. The measurement uncertainty shall not be applied to the measured value to make the pass/fail decision. Procedures for evaluating uncertainties given in 4.4.7 are specified in accordance with the principles of ISO/IEC Guide 98-3, and are considered sufficient for the instrumentation and measurement arrangements commonly used in high-voltage testing. However, users may select other appropriate procedures from ISO/IEC Guide 98-3, some of which are outlined in Annex A and Annex B.

In general, the measurand to be considered is the scale factor of the measuring system, but in some cases other quantities, such as the time parameters of an impulse voltage and their associated errors, should also be considered.

NOTE 1 Other measurands for specific converting devices are in common use. For example, a voltage divider is characterized by the voltage ratio and its uncertainty in the assigned measurement ranges used. A voltage transformer is characterized by the ratio error, the phase displacement and the corresponding uncertainties.

According to the ISO/IEC Guide 98-3, the uncertainty of a measurement is determined by combining the uncertainty contributions of Type A and Type B (see 4.4.7). These contributions are obtained from measurement results, manufacturers' handbooks, calibration certificates and from estimating reasonable values of the influence quantities during the measurement. Influence quantities considered in 4.4 include temperature effects, influence of the load, dynamic behaviour of the measuring system and long and short term stability influence. Other effects, including limited resolution of the measuring instrument, may be included if necessary.

The uncertainty shall be given as the expanded uncertainty for a coverage probability of approximately 95 % corresponding to a coverage factor k=2 under the assumption of a normal distribution.

NOTE 2 In this International Standard, the uncertainties of the scale factor and of voltage measurement (4.4.1 to 4.4.6) are expressed by the relative uncertainties instead of the absolute uncertainty normally considered in the ISO/IEC Guide 98-3.

4.4 Tests and test requirements for an approved measuring system and its components

4.4.1 Calibration – Determination of the scale factor

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

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

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

Calibration shall be performed by connecting a reference measuring system, traceable to a national metrology institute, in parallel with the measuring system to be calibrated. Care shall be taken to avoid ground loops between the converting device(s) and measuring instrument(s). 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 of its scale factor. The procedure is repeated n times to obtain the mean value F_g of the scale factor of the system under test at one voltage level U_g. The mean value is given by:

$$F_{\mathrm{g}} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} F_{i,g}$$

The relative standard deviation s_g of F_g is given by:

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

and the Type A relative standard uncertainty u_g of the mean value F_g is given by (Annex A):

$$u_{\mathrm{g}} = \frac{s_g}{\sqrt{n}}$$

Usually no more than n = 10 independent readings are necessary.

For measurement of direct and alternating voltages, independent readings should be obtained either by applying the test voltage and taking n readings or by applying the test voltage n times and taking a reading each time. For impulse voltages, n impulses are applied.

The scale factor determination shall be made at the minimum and maximum levels of the assigned measurement range and on at least three approximately equally spaced intermediate levels (Figure 2). The assigned scale factor F is taken as the mean value of all scale factors F_g recorded at h voltage levels:

$$F = \frac{1}{h}\sum_{g=1}^{h} F_g \quad \text{for } h \geq 5$$

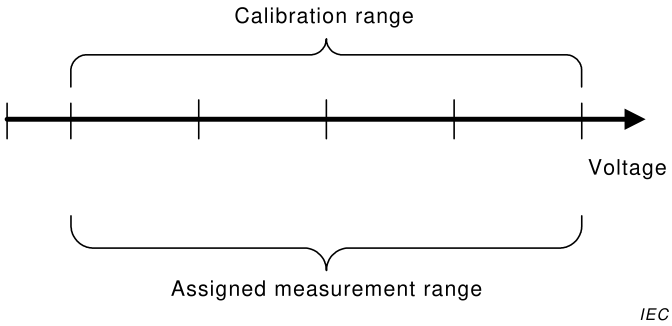


Figure 2 – Calibration by comparison over the full voltage range

The standard uncertainty of the determination of the assigned scale factor F is obtained as the largest of the single standard uncertainties of type A (Figure 3):

$$u_A = \max_{g=1}^{h} u_g .$$

The effect of a non-linearity in F is estimated as a Type B standard uncertainty expressed by:

$$u_{Bo} = \frac{1}{\sqrt{3}} \max_{g=1}^{h} \left| \frac{F_g}{F} - 1 \right| .$$

A rounded value F_o may be taken as the assigned scale factor 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.

The individual scale factors and their uncertainties at the h voltage levels should be given in the calibration certificate.

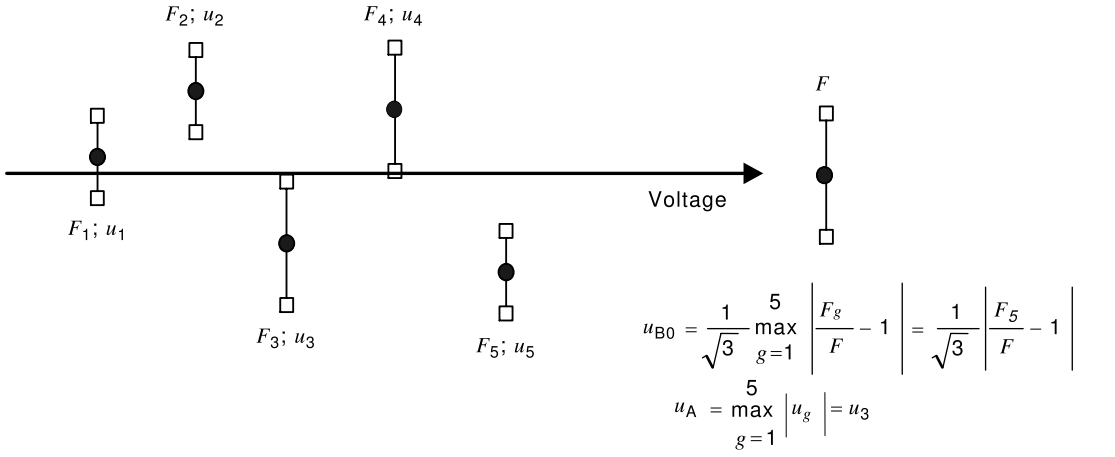


Figure 3 – Uncertainty contributions of the calibration (example with a minimum of 5 voltage levels)

4.4.2 Influence of load

Each comparison test shall be made first with the minimum load (the reference measuring system alone) and be repeated with the maximum load (resistive, capacitive, inductive or any combination of these) allowed by the manufacturer of the test equipment.

The uncertainty contribution of the load shall be taken into account by:

$$u_{Bl} = \frac{1}{\sqrt{3}} \left| \frac{F_{Maxload}}{F_{Minload}} - 1 \right|$$

This is needed especially when the voltage is not directly measured on the high-voltage side at the test object terminals.

4.4.3 Dynamic behaviour

4.4.3.1 General

The response of a component or a measuring system shall be determined in conditions representative of its use, particularly clearances to earthed and energized structures. The preferred methods of measurement are the amplitude/frequency response for direct or alternating voltages, and determination of the scale factors and time.

NOTE Additional information on unit step-response measurements is given in Annex C of IEC 60060-2:2010.

A type B estimate of the relative standard uncertainty related to the dynamic behaviour is given by:

$$u_{B2} = \frac{1}{\sqrt{3}} \max_{i=1}^{k} \left| \frac{F_i}{F} - 1 \right|$$

where k is the number of scale factor determinations within a frequency range, or within a range of impulse time parameters defining the nominal epoch. F_i are the individual scale factors and F is the mean scale factor within the nominal epoch.

4.4.3.2 Determination of the amplitude/frequency response

The system or component 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. The deviations of the scale factor are evaluated according to the above formula (4.4.3.1).

4.4.3.3 Reference method for impulse voltage measuring systems

Records of the impulse voltage taken for calibration of the scale factor described in 4.4.1 are used for the limits of the nominal epoch, and the uncertainty contribution of voltage and time-parameter measurements shall be evaluated according to the above formula (4.4.3.1).

NOTE For additional information on unit step response measurement and evaluation, see Annex C of IEC 60060-2:2010.

4.4.4 Short-term stability

The maximum voltage of the assigned measurement range shall be applied to the measuring system continuously (or at the assigned rate for impulses) for a period appropriate to the anticipated use. The scale factor shall be measured as soon as the maximum voltage has been reached and again immediately before the voltage is reduced.

The period of voltage application should not be longer than the assigned operating time, but can be limited to a time sufficient to reach equilibrium.

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

The result of the test is an estimate of the change of scale factor within the voltage application time from which the standard uncertainty contribution is obtained as a type B estimate:

$$u_{B3} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \left| \frac{F_{after}}{F_{before}} - 1 \right|,$$

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

4.4.5 Long-term stability

The stability of the scale factor shall be considered and evaluated over a long time-span and is usually estimated as an uncertainty contribution valid for a projected time of use (usually until the next calibration), T_{use}. 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. The evaluation delivers a standard uncertainty contribution, which is a type B estimate:

$$u_{B4} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \left| \frac{F_2}{F_1} - 1 \right| \cdot \frac{T_{use}}{T_2 - T_1},$$

where F_1 and F_2 are the scale factors of two consecutive 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 characterised by the type A contribution:

$$u_{B4} = \frac{T_{use}}{T_{mean}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} \left(\frac{F_i}{F_m} - 1 \right)^2}{n(n-1)}},$$

where the results of repeated performance tests are the scale factors F_i, with a mean value F_m and repeated with a mean time interval T_{mean}.

NOTE The long-term stability is usually stated for a period of one year.

4.4.6 Ambient temperature effect

The scale factor of a measuring system can be affected by ambient temperature. This can be quantified by determination of the scale factor at different ambient temperatures or by computations based on properties of components. Details of test or calculations shall be included in the record of performance.

The result of a test or calculation is an estimate of a change of the scale factor due to ambient temperature. The related standard uncertainty is the following type B estimate:

$$u_{B5} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \left| \frac{F_T}{F} - 1 \right|,$$

where F_T is the scale factor at the considered temperature and F is that at calibration temperature.

If the deviation F_T from F is greater than 1 %, a correction of the scale factor is recommended.

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

A temperature correction factor for the scale factor may be used in cases where the ambient temperature varies over a wide range. Any temperature corrections to be used should be listed in the record of performance. For cases where temperature correction has been applied, the uncertainty u_{B5} of the temperature correction factor may be taken as the uncertainty contribution.

4.4.7 Uncertainty calculation of the scale factor

4.4.7.1 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:

a) There is no correlation between the measurement quantities.
b) Standard uncertainties evaluated by the method of Type B are assumed to have a rectangular distribution.
c) The largest three uncertainty contributions to uncertainty have approximately equal magnitude.

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

The expanded uncertainty of calibration U_{cal} is estimated from the uncertainty of the calibration of the reference system and from influence of other quantities explained in this

clause, such as stability of the reference measuring system and ambient parameters during the calibration.

The expanded uncertainty of a measurement U_M of the test quantity is evaluated from the uncertainty of the calibration of the scale factor of the approved measuring system and from the influence of other quantities discussed in 4.4, such as the stability of the measuring system and ambient parameters during the measurement as they are not considered in the calibration certificate.

Further methods for estimating uncertainty are given in the ISO/IEC Guide 98-3:2008 and are also described in Annex A.

4.4.7.2 Uncertainty of the calibration

The relative expanded uncertainty of a calibration of the scale factor U_{cal} is calculated from the uncertainty of the reference measuring system and the Type A and Type B uncertainties explained in this clause:

$$U_{cal} = k \cdot u_{cal} = 2 \sqrt{u_{ref}^2 + u_A^2 + \sum_{i=0}^{N} u_{Bi}^2} \ ,$$

where:

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

u_{ref} is the combined standard uncertainty of the scale factor of the reference measuring system at its calibration;

u_A is the statistical Type-A uncertainty in the determination of the scale factor;

u_{B0} is the non-linearity contribution to standard uncertainty determined during calibration of the scale factor (4.4.1);

u_{Bi} is the contribution to the combined standard uncertainty of the scale factor caused by the i^{th} influence quantity and evaluated as a Type B contribution (Annex A). These contributions are related to the reference measuring system, and arise from non-linearity, short- and long-term instabilities, etc., and are determined either by additional measurements or estimated from other data sources according to 4.4.2 to 4.4.6. Influences related to the approved measuring systems, such as its short-term stability, and resolution of the measurement shall also 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 or, if necessary, in the ISO/IEC Guide 98-3:2008 shall be applied.

The number N of Type B uncertainty contributions may differ for the different types of test voltages (Clauses 5 to 7). More information on the Type B contributions is given in the relevant clauses.

4.4.7.3 Uncertainty of measurement using an approved measuring system

Estimation of the expanded uncertainty of measurement of the test voltage value 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 measurement of the test voltage value U_M is calculated from the combined standard uncertainty of the assigned scale factor as determined in the calibration of the approved measuring system and additional Type B uncertainty contributions explained in this clause:

$$U_M = k \cdot u_{\mathrm{M}} = 2\sqrt{u_{\mathrm{cal}}^2 + \sum_{i=1}^{N} u_{\mathrm{B}i}^2}\ ,$$

where:

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

u_{M} is the combined standard uncertainty of the measurement using the approved measuring system, valid for a projected time of use, e.g. a calibration interval;

u_{cal} is the combined standard uncertainty of the scale factor of the approved measuring system determined at the calibration (see 4.4.7.2);

$u_{\mathrm{B}i}$ is the contribution to the combined standard uncertainty of the scale factor of the approved measuring system and caused by the i^{th} influence quantity, evaluated as a Type B contribution. These contributions are related to normal use of the approved measuring system, and arise from non-linearity, short- and long-term instabilities, etc., and are determined according to 4.4.2 to 4.4.6 based either on additional measurements or estimated from other data sources. Other significant influences shall also be taken into account, e.g. resolution of instrument display of the approved measuring system.

The calibration certificate may include information on both the uncertainty of the calibration, U_{cal}, and the relative expanded uncertainty of measurement of the test voltage value, U_{M}, when using the approved measuring system under stated, predefined conditions.

In cases where the assumptions mentioned above in 4.4.7.1 are not valid, the procedures given in Annex A or, if necessary in the ISO/IEC Guide 98-3:2008, shall be applied.

The number N of Type B uncertainty contributions may differ for the different types of test quantities (Clauses 5 to 7, voltages and time parameters).

4.4.8 Uncertainty calculation of time parameter measurement (impulse voltages only)

4.4.8.1 General

An approved measuring system for impulse voltages shall be able to measure the time parameters (T_1, T_2,) within the specified uncertainty limits when the parameter lies within its specified range. For front time this is usually the nominal epoch. The experimental proof can be given either by the comparison or the component method.

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

4.4.8.2 Uncertainty of the time parameter calibration

The front times T_1 of n impulse voltages shall be evaluated simultaneously with the measuring system under test, denoted by X, and the reference system, denoted by N. The error of the reference measuring system is assumed to be negligible. The mean error of the front times is:

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

and the experimental standard deviation is:

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

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

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

NOTE 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 (clause 4.4.7).

From $s(\Delta T_1)$, the Type A standard uncertainty is calculated:

$$u_A = \frac{s(\Delta T_1)}{\sqrt{n}}.$$

The comparison is performed at a suitable voltage level using at least two front times, including the minimum and maximum T_1 values of the nominal epoch, for which the measuring system is to be approved. An additional T_1 value in the middle of the nominal epoch can be added. The standard uncertainty Type A of the time parameter measurement is obtained as the largest of the single standard uncertainties determined for the different T_1 values. For each of the different T_1 values, the mean error $\Delta T_{1,j}$ is calculated as described above. The overall mean of the $m \geq 2$ mean errors is:

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

The maximum difference between the individual values $\Delta T_{1,j}$ and their mean value ΔT_{1m} is taken to determine the Type B uncertainty u_B by:

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

More general, the reference measuring system N may be characterised in the same manner by its mean error of the front time, denoted by ΔT_{1ref}, as stated in its calibration certificate for the nominal epoch. The resultant error of the calibrated system X itself for front time measurements is:

$$\Delta T_{1cal} = \Delta T_{1m} + \Delta T_{1ref}.$$

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

$$U_{cal} = k \cdot u_{cal} = 2\sqrt{u_{ref}^2 + u_A^2 + u_B^2},$$

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_{ref} is the combined standard uncertainty of the mean front time error, ΔT_{1ref}, of the reference measuring system;

u_A is Type A standard uncertainty of the mean front time error, ΔT_{1m}, of the calibrated measuring system;

u_B is Type B standard uncertainty of the mean front time error ΔT_{1m} of the calibrated measuring system.

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

4.4.8.3 Uncertainty of 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 defined range of measuring conditions in conjunction with the calibration certificate.

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

The expanded uncertainty of the time parameter measurement U_M shall be calculated according to:

$$U_M = k \cdot u_M = 2\sqrt{u_{cal}^2 + \sum_{i=1}^{N} u_{Bi}^2} \ ,$$

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_{Bi} is the contribution to the combined standard uncertainty of the time parameter of an impulse using the approved measuring system and caused by the i^{th} influence quantity and evaluated as a Type B contribution. These contributions are related to normal use of the approved measuring system, and arise for example from long-term instabilities, software influence, etc., but also from the influence of having non-perfect impulse shapes. They are determined according to 4.4.2 to 4.4.6, based either on additional measurements or estimated from other data sources. In some situations further influences shall also be taken into account, e.g. resolution of instrument displays;

u_M is the combined standard uncertainty of the time parameter of an impulse voltage measured with the approved measuring system, valid for an projected period of use.

Additional contributions to the expanded uncertainty may be important in special cases and shall be considered when calculating U_M, e.g. when the impulse voltage is superimposed by front oscillations.

When the approved measuring system is used to measure impulse voltages without oscillations, the measured time parameter T_{1meas} can be corrected by the resultant error ΔT_{1cal} of the relevant time parameter determined in the calibration:

$$T_{1corr} = T_{1meas} - \Delta T_{1cal} \ .$$

The same procedures can be applied to other time parameters.

5 Tests with direct voltage

5.1 General

In the area of low voltage equipment, dielectric tests with direct voltage cannot be covered by tests with alternating voltage where the peak value equals the direct test voltage. This is due to different effects of partial discharge, leakage currents and stress duration on the insulation.

5.2 Test voltage

5.2.1 Requirements for the test voltage

5.2.1.1 Voltage shape

The test voltage, as applied to the test object, shall be a direct voltage with not more than 3 % ripple factor, unless otherwise specified by the relevant technical committee.

The verification of the ripple factor shall be done under worst load conditions. In cases where the ripple shape is nearly sinusoidal, true r.m.s. values multiplied by $\sqrt{2}$ are acceptable for determination of the ripple amplitude.

It is important to maintain the d.c. voltage without significant increase in ripple and to keep a constant arithmetic mean value of the voltage up to the tripping current.

5.2.1.2 Tolerance

If not otherwise specified by the relevant technical committee, a tolerance of ± 3 % is acceptable between the specified and the measured test voltage values throughout the test.

5.2.2 Generation of the test voltage

The test voltage is generally obtained by means of rectifiers or by controlled electronic circuits. The requirements to be met by the test voltage source depend considerably upon the type of apparatus which is to be tested and on the test conditions. These requirements are determined mainly by the value and nature of the test current to be supplied.

The source characteristics should be such as to permit charging of the capacitance of the test object in a reasonably short time. The source, including its storage capacitance, should also be adequate to supply the leakage, absorption and partial discharge currents in order to maintain the test voltage within the tolerance of $\pm$ 3 %.

5.2.3 Measurement of the test voltage

5.2.3.1 Requirements for an approved measuring system

5.2.3.1.1 General

The general requirement is to measure the test voltage value (arithmetic mean value) with an expanded uncertainty $U_{\mathrm{M}} \leq 3$ %.

The uncertainty limits shall not be exceeded in the presence of ripple, the magnitude of which is within the limits specified in 5.2.1.1, for a purely resistive load at the maximum current and at the minimum test voltage specified.

NOTE Attention is drawn to the possible presence of alternating voltages coupled to the measuring system and affecting the reading of the measuring instrument.

5.2.3.1.2 Uncertainty contributions

For a direct voltage measuring system, the expanded uncertainty of measurement U_M shall be evaluated with a coverage probability of 95 %, according to 4.4.7 and – if necessary – Annex A and Annex B. Tests for assessing contributions to uncertainty which are usually considered are summarized in Table 1. Other contributions can be important in some cases and shall also be considered.

5.2.3.1.3 Dynamic behaviour for measuring voltage changes

The time constant of the high-voltage measuring system shall not be greater than 0,25 s for the measurement of direct voltages that rise or fall with rates in the order of 1 % of the test voltage value per second.

NOTE In general, the instruments used for the measurement of the test voltage value (i.e. the arithmetic mean), are not affected by the ripple present. However, if instruments with fast response are used, it may become necessary to ensure that the measurement is not adversely affected by the ripple.

5.2.3.2 Tests on an approved measuring system

The tests according to 4.4, summarized in Table 1, are necessary for the qualification of a direct voltage measuring system as well as for the estimation of the expanded uncertainty of measurement.

The results of the type and routine tests can be taken from manufacturer's data. Routine tests shall be performed on each component.

Table 1 – Tests required for an approved direct voltage measuring system

Type of test	Type test	Routine test	Performance test
Influence of load	4.4.2		
Dynamic behaviour	4.4.3		
Scale factor at calibration		4.4.1	4.4.1
Short-term stability		4.4.4	
Long-term stability	4.4.5		4.4.5 (if applicable)
Ambient temperature effect	4.4.6		

5.3 Test procedures

5.3.1 Withstand voltage tests

The voltage shall be applied to the test object starting at a value sufficiently low to prevent any effect of overvoltage due to switching transients. It should be raised sufficiently slow to permit reading of the measuring instruments, but not so slowly as to cause unnecessary prolongation of stress to the test object near the test voltage.

These requirements are, in general, met if the rate of rise is about 5 % of the estimated final voltage per second when the applied voltage is above 75 % of this voltage. It shall be maintained for the specified time and then reduced by discharging the smoothing capacitor and the test object through a suitable resistor.

The test duration at the specified test voltage shall be 60 s if not specified by the relevant technical committee.

The test duration should take into consideration that the time to reach the steady state voltage distribution depends on the resistances and capacitances of the test object components.

The polarity of the voltage or the order in which voltages of each polarity are applied, and any required deviation from the above specifications, should be specified by the relevant technical committee.

Unless otherwise specified by the relevant technical committee, the tripping current of the generator shall be adjusted to 10 mA for type tests of test objects.

For routine testing, the tripping current may be adjusted to lower levels.

6 Tests with alternating voltage

6.1 Test voltage

6.1.1 Requirements for the test voltage

6.1.1.1 Voltage waveshape

The alternating test voltage, as applied to the test object, should generally have a frequency in the range 45 Hz to 65 Hz, normally referred to as power-frequency test voltage. Special tests may be required at frequencies considerably below or above this range, as specified by a technical committee.

The voltage waveshape shall be substantially sinusoidal. The ratio between the peak value and the r.m.s. value is $\sqrt{2} \pm 3$ %. The total harmonic distortion (THD) of the test voltage shall be less than 5 % under full load conditions.

The test voltage is the r.m.s. value.

NOTE In the area of low-voltage equipment the r.m.s. value is used to specify the test voltage, although the important factor for breakdown is the peak value.

6.1.1.2 Tolerance

If not otherwise specified by the relevant technical committee, a tolerance of ±3 % is acceptable between the specified and the measured test voltage values throughout the test.

6.1.2 Generation of the test voltage

6.1.2.1 Requirements for the test circuit

One of the following alternatives shall be used.

Alternative A:

At the test voltage, the prospective short-circuit current at the test object and the tripping current of the generator shall be in accordance with Table 2.

Table 2 – Minimum currents of the test circuit

Testvoltage V	**Minimum currents** mA	
	prospective short-circuit current	**tripping current**
≤ 4 000	200	100
> 4 000 and ≤ 10 000	80	40
> 10 000	40	20
NOTE The values are identical as in IEC 60335.		

If high capacity loading limits the a.c. test voltage, it may be necessary to perform a d.c. test as an alternative where the direct test voltage equals the peak value of the alternating voltage. The relevant technical committee should specify when testing with direct voltage is acceptable.

Alternative B:

If the test voltage is obtained by means of controlled electronic circuits, the requirement is to supply the leakage, absorption and partial discharge currents without voltage drops exceeding 3 % at the maximum tripping current according to Table 2.

6.1.3 Measurement of the test voltage

6.1.3.1 Requirements for an approved measuring system

6.1.3.1.1 General

The general requirement is to measure the test voltage value (peak/√2 or r.m.s. value) at its rated frequency with an expanded uncertainty $U_M \leq 3$ %.

6.1.3.1.2 Uncertainty contributions

For an alternating voltage measuring system the expanded uncertainty U_M shall be evaluated with a coverage probability of 95 % according to 4.4.7. Tests for assessing contributions to uncertainty which are usually considered are summarized in Table 3. Other contributions can be important in some cases and shall also be considered.

6.1.3.1.3 Dynamic behaviour

The amplitude-frequency response of a measuring system, intended for operation at one single fundamental frequency f_{nom}, shall be within the marked area of Figure 4, derived from the uncertainty requirements. Number pairs in the diagram show the normalised frequency (logarithmic scale) and the corresponding deviation at the corner points of the limit lines. Performance shall be proven from f_{nom} to $7\,f_{nom}$ by tests or circuit analysis. The amplitude-frequency response outside this range is given for information only.

A measuring system can also be approved for a range of fundamental frequencies (e.g. 45 Hz to 65 Hz). In this case, the scale factor shall be constant within 1 % from the lowest fundamental frequency f_{nom1} up to the highest fundamental frequency f_{nom2}. The amplitude-frequency response inside the interval f_{nom1} to $7\,f_{nom2}$, shall be within the marked area of Figure 5. Number pairs in the diagram show the normalised frequency and the corresponding permitted deviation from the ideal response at the corner points of the limit lines. Performance shall be proven from f_{nom1} to $7\,f_{nom2}$ by tests or circuit analysis. The amplitude-frequency response outside this range is given for information only.

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

NOTE 1 Measuring systems complying with these requirements are considered to have a frequency response suitable for measurement of the total harmonic distortion (THD) on the test voltage.

NOTE 2 The frequency response outside the marked area, although not required, does represent good practice.

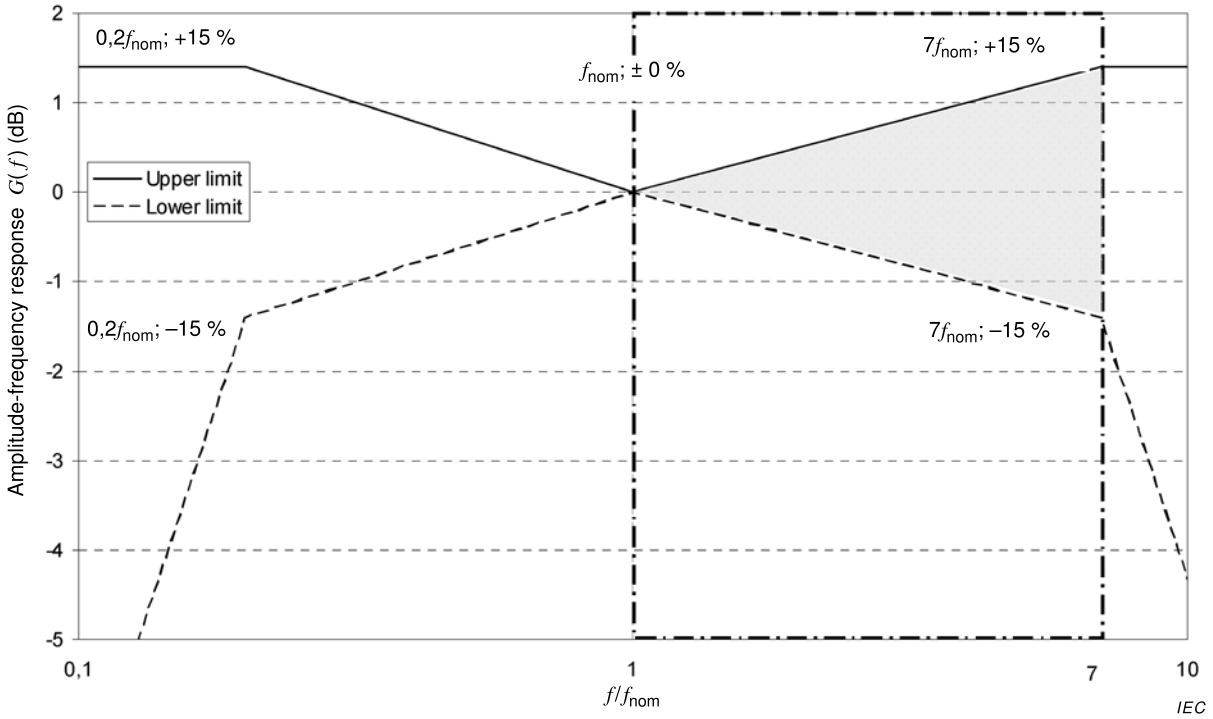


Figure 4 – Shaded area for acceptable normalised amplitude-frequency responses of measuring systems intended for single fundamental frequencies f_{nom} (to be tested in the range (1....7) f_{nom})

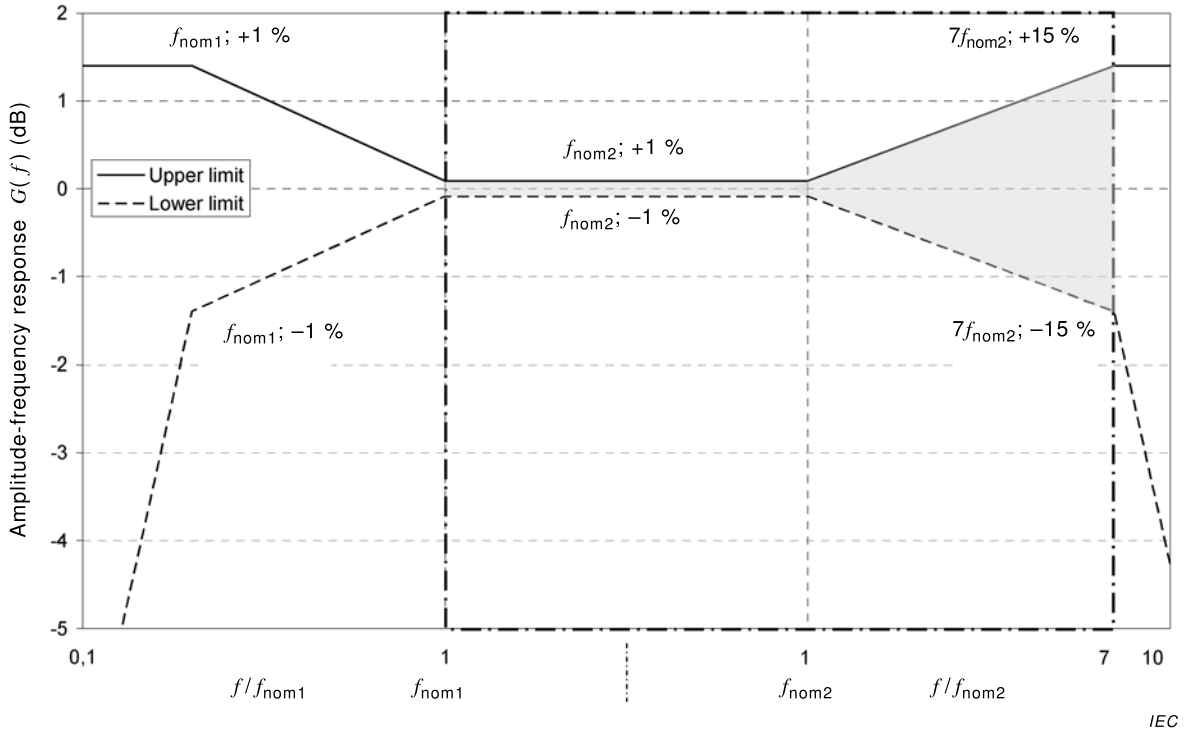


Figure 5 – Shaded area for acceptable normalised amplitude-frequency responses of measuring systems intended for a range of fundamental frequencies f_{nom1} to f_{nom2} (to be tested in the range f_{nom1} to 7 f_{nom2})

6.1.3.2 Dynamic behaviour test

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 the range of frequencies between 1 and 7 times the test frequency. The result shall be in accordance with 6.1.3.1.

6.1.3.3 Tests on an approved measuring system

The tests according to 4.4, summarized in Table 3, are necessary for the qualification of an alternating voltage measuring system, as well as for the estimation of the expanded uncertainty of measurement.

The results of the type and routine tests can be taken from manufacturer's data. Routine tests shall be performed on each unit.

Table 3 – Tests required for an approved alternating voltage measuring system

Type of test	Type test	Routine test	Performance test
Scale factor at the calibration		4.4.1	4.4.1
Influence of load	4.4.2		
Dynamic behaviour	4.4.3/6.1.3.2		
Short-term stability		4.4.4	
Long-term stability	4.4.5		4.4.5 (if applicable)
Ambient temperature effect	4.4.6		

6.2 Test procedures

6.2.1 Withstand voltage tests

The a.c. test voltage shall be raised uniformly from 0 V to the test voltage value within not more than 5 s.

If not specified by the relevant technical committee the test duration at the specified test voltage shall be 60 s and shall be independent of the frequency in the range from 45 Hz to 65 Hz.

For routine testing, the tripping current may be adjusted to lower levels.

Unless otherwise specified by the relevant technical committee, the requirements of the test are satisfied if no tripping of the test equipment occurs.

It is recommended that for safety reasons the current should be reduced to 3 mA.

7 Tests with impulse voltage

7.1 Test voltage

7.1.1 General

For an impulse measuring system, the performance tests also show that its dynamic performance is adequate for the specified measurements and that the level of any interference is less than the specified limits.

7.1.2 Requirements for the test voltage

7.1.2.1 Standard impulse voltage

The standard impulse voltage is a smooth full impulse voltage having a front time of 1,2 μs and a time to half-value of 50 μs and described as a 1,2/50 impulse, Figure 6. Other impulse shapes may be specified by the relevant technical committee. For other impulse shapes, the relevant technical committee shall define the value of the test voltage, taking into account the type of test and test object.

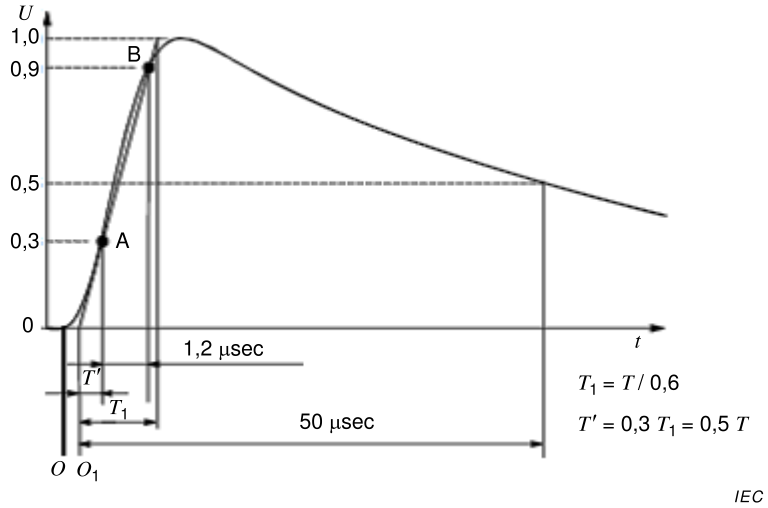


Figure 6 – 1,2/50 μs standard impulse voltage

7.1.2.2 Tolerances on standard impulse

If not otherwise decided by the relevant technical committee, the following differences are accepted between specified values for the standard impulse and those calculated from the impulse waveform:

Peak value	±3 %
Front time	±30 %
Time to half-value	±20 %

In commonly used impulse generator circuits, oscillations on that part of the impulse-front during which the voltage does not exceed 90 % of the peak value have generally negligible influence on test results. The impulse should be essentially unidirectional.

In specific cases, such as during tests on low impedance objects, e.g. large capacitors, it may be impossible to adjust the shape of the impulse within the tolerances recommended, to keep the oscillations within the specified limits, or to avoid a polarity reversal. Such cases should be dealt with by the relevant technical committee and should take into account the provisions of IEC 60060-1.

7.1.3 Generation of the test voltage

The impulse is usually produced by an impulse generator consisting essentially of a number of capacitors that are charged in parallel from a direct voltage source, then switched into series and discharged into an impulse-forming circuit that includes the test object.

7.1.4 Measurement of the test voltage and determination of impulse shape

The measurement of the test voltage value and the time parameters of the test voltage shall be made with approved measuring systems. The measurement shall be made with the test object in the circuit and, in general, the impulse shape shall be checked for each test object. Where a number of test objects of the same design and size are tested under identical conditions, the shape needs only to be verified once. Where high capacitive loading does not allow the impulse waveshape to be obtained within the specified tolerances, it may be necessary to adapt the test setup or the devices.

NOTE For disruptive discharge see IEC 60060-1:2010, Clause 7.

The measurement may be made with the impulse generator not connected to the test object when the impedance of the test object has a negligible effect on the amplitude and waveform of the test voltage. This shall be verified prior to using this measurement technique.

Determination of the impulse shape by calculation from the test circuit parameters is not considered to be satisfactory.

More than one impulse may be necessary to establish consistent operation.

7.2 Test procedures

7.2.1 Verification of impulse voltage waveshape

The waveshape of the impulse voltage applied to the test object(s) shall be verified using peak values not less than 50 % of the test voltage level. In the case of identical test objects, this verification only needs to be performed once at the beginning of the series.

7.2.2 Impulse voltage tests

Five impulses of the specified shape and of each polarity shall be applied at the impulse voltage level. The requirements of the test are satisfied if no indication of disruptive discharge or partial breakdown is obtained.

NOTE 1 Non-sustained disruptive discharge in which the test object is momentarily bridged by a spark or arc may occur. During these events the voltage across the test object is momentarily reduced to zero or to a very small value. Depending on the characteristics of the test circuit and the test object, a recovery of dielectric strength may occur and may even allow the test voltage to reach a higher value. Such an event is interpreted as a disruptive discharge unless otherwise specified by the relevant Technical Committee.

NOTE 2 A disruptive discharge in a solid dielectric produces permanent loss of dielectric strength; in a liquid or gaseous dielectric the loss may be only temporary.

The relevant technical committee shall specify the criteria for identification and evaluation of partial breakdown, where applicable.

7.3 Measurement of the test voltage

7.3.1 Requirements for an approved measuring system

The general requirements are:

- to measure the test voltage value with an expanded uncertainty $U_{M1} \leq 3$ %;
- to measure the time parameters which define the waveform with an expanded uncertainty $U_{M3} \leq 10$ %.

NOTE No recommendations are given for the measurement of voltage collapse since no IEC apparatus committee has yet specified a requirement.

7.3.2 Uncertainty contributions

For a lightning impulse voltage measuring system, the expanded uncertainty of measurement U_M shall be evaluated with a coverage probability of 95 %. Tests for assessing contributions to uncertainty which are usually considered are summarized in Table 4. Other contributions can be important in some cases and shall also be considered.

7.3.3 Dynamic behaviour

The dynamic behaviour of a measuring system is adequate for the measurement of peak voltage and time parameters over the nominal epoch for waveforms specified in the record of performance when the expanded uncertainty of the time parameters measurement is not greater than 10 %.

Table 4 – Tests required for an approved impulse voltage measuring system

Type of test	Type test	Routine test	Performance test
Scale factor at the calibration		4.4.1	4.4.1
Time parameter		4.4.8	4.4.8
Influence of load	4.4.2		
Dynamic behaviour	4.4.3		
Short-term stability		4.4.4	
Long-term stability	4.4.5		4.4.5 (if applicable)
Ambient temperature effect	4.4.6		

7.3.4 Requirements for measuring instrument

The measuring instrument shall comply with IEC 61083-1 and IEC 61083-2.

8 Reference measurement systems

8.1 Requirements for reference measuring systems

8.1.1 Direct voltage

The reference measuring system shall enable direct voltage measurement with an expanded uncertainty $U_M \leq 1$ % over its range of use. The uncertainty shall not be influenced by a ripple factor up to 3 %.

8.1.2 Alternating voltage

The reference measuring system shall enable alternating voltage measurement with an expanded uncertainty $U_M \leq 1$ % over its range of use.

8.1.3 Impulse voltages

According to IEC 60060-2 the requirements for an Impulse voltage reference measuring system are ≤ 1 % for the peak value and ≤ 5 % for the time parameters.

8.2 Calibration of a reference measuring system

8.2.1 General

The compliance of a reference measuring system with the relevant requirements given in 8.1 of this standard shall be shown by the reference method.

8.2.2 Reference method: comparative measurement

The satisfactory performance of a reference measuring system shall be shown by calibration against another suitable reference measuring system, which itself is traceable to national or international standards of measurement.

The satisfactory performance of an impulse reference measuring system shall be shown by calibration by comparison measurements at the relevant test voltage with waveforms of two or more different front times covering the range of the nominal epoch.

8.3 Interval between successive calibrations of reference measuring systems

The interval between calibrations shall be determined according to national regulations. If there is no regulation it is recommended that the calibrations shall be repeated at least once every year.

8.4 Use of reference measuring systems

It is recommended that reference measuring systems should be used only for comparative measurements in performance tests. However, a reference measuring system may be used as an approved measuring system provided it is maintained in accordance with the requirements of this standard, and such use is shown not to affect its performance as a reference system. An approved measuring system may not be used as a reference measuring system.

Annex A
(informative)

Uncertainty of measurement

A.1 General

Subclause 4.4 describes a simplified procedure to evaluate the uncertainty of measurement under conditions usually applicable and fully sufficient in high-voltage measurement. 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, and Annex B describes an application example.

Each measurement of a quantity is to some degree imperfect, and the result of a measurement is only an approximation (“estimate”) of the “true” value of the measurand. The uncertainty of measurement makes 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 provides information as to whether or not a measurement result is within the limits specified by a standard. A Guide to the expression of Uncertainty in Measurement (GUM) was first published in 1993 by the International Organization for Standardization (ISO) and has been re-issued in 2008, with minor modifications as the ISO/IEC Guide 98-3:2008. It is now the internationally accepted document for the estimation of measurement uncertainty.

The GUM as a guide 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 GUM a set of specific rules that deals with the specific field of high-voltage measurement and its level of accuracy and complexity. Corresponding to the basic principles of the GUM, uncertainties are grouped into two categories according to their methods of evaluation. 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 an 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 GUM and examples of how to determine uncertainties in high voltage measurements are presented in the following clauses. The formulae and examples given herein are valid for uncorrelated input quantities, which is often the case in high-voltage measurements.

A.2 Terms and definitions in addition to 3.7

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 particular quantity generally expressed as unit of measurement multiplied by a number

A.2.3
measurand
specific quantity subjected to measurement

A.2.4
variance
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.3 Model function

Each measurement can be described by a functional relationship f:

$$Y = f\left(X_1, X_2, \ldots, X_i, \ldots, X_N\right) \tag{A.1}$$

where Y is the measurand and X_i are the different input quantities numbered from 1 to N. In the meaning of the GUM the model function f comprises all measurement values, influencing 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 input quantities X_i are random variables and described by observations x_i (”input estimates”) having specific probability distributions 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 GUM yields the standard uncertainty $u(y)$ of the output estimate y.

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

NOTE 2 In a series of observations, the k’th observed value of the quantity X_i is denoted x_{ik}.

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 have been obtained under the same conditions of measurement. In general, a normal (Gaussian) probability distribution of the n observations x_{ik} can be assumed (Figure A.1).

NOTE X_i might be a scale factor, a test voltage value or a time parameter with the observations x_{ik}.

The arithmetic mean value $\bar{x}_i$ of the observations x_{ik} is defined by:

$$\bar{x}_i = \frac{1}{n}\sum_{k=1}^{n} \bar{x}_{ik} \ , \tag{A.2}$$

which is considered to be the best estimate of X_i. Its Type A standard uncertainty is equal to the experimental standard deviation of the mean:

$$u\left(\bar{x}_i\right) = s\left(\bar{x}_i\right) = \frac{s\left(x_i\right)}{\sqrt{n}} \tag{A.3}$$

where $s(x)$ is the experimental standard deviation (of the individual values):

$$s(x_i) = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{k=1}^{n}(x_{ik} - \bar{x}_i)^2} \ . \tag{A.4}$$

The quadratic values of $s^2(x_i)$ and $s^2(\bar{x}_i)$ are called sample variances and variances 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).

In some cases a pooled estimate of variance sp2 may be available from a large number of previous observations under well-defined conditions. Then the standard uncertainty of a comparable measurement with a small number n (n = 1, 2, 3, …) is better estimated by $u(\bar{x}_i) = s_p / \sqrt{n}$ than by formula (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 with observations x_i, such as the:

- method of evaluating the quantities,
- uncertainty of calibration of the measuring system and its components,
- non-linearity of dividers and measuring instruments,
- dynamic behavior, e. g. scale factor variation with frequency or impulse shape,
- short-term stability, self-heating,
- long-term stability, drift,
- ambient conditions during measurement,
- proximity effect of nearby objects,
- effects caused by software used in instruments or in evaluation of results,
- limited resolution of digital instruments, reading of analogue instruments.

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 of a Type B evaluation of uncertainties can be identified:

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 adopted in the model function (A.1). In case $u(x_i)$ is unknown, it has 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 a standard uncertainty multiplied by the coverage factor k, e.g. the expanded standard uncertainty U of a digital voltmeter in a calibration certificate (Claus A.7). When the voltmeter is used in a complex measuring system it contributes to uncertainty by:

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

where k is the coverage factor. Instead of expressing the expanded uncertainty and coverage factor, one may find a statement on the confidence level, e.g. 68,3 %, 95,45 % or 99,7 %. In general, a normal distribution according to Figure A.1 can be assumed and the statement on the confidence level 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 within the interval a_- to a_+ with a certain probability distribution $p(x_i)$. Often there is no specific knowledge of $p(x_i)$ and a rectangular distribution of the probable values is then assumed (Figure A.2). Then the expected value of X_i is the midpoint $\overline{x_i}$ of the interval:

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

and the associated standard uncertainty:

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

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

In some cases other probability distributions may be more appropriate, such as trapezoidal, triangular or normal distributions.

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

The ISO/IEC Guide 98-3:2008 states 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 GUM. Often an input quantity X_i has to be adjusted or corrected to eliminate systematic effects of significant magnitude, e.g. on the basis of a temperature or voltage dependence. However, the uncertainty $u(x_i)$ associated with this correction shall still be taken into account.

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 producing a Type A standard uncertainty may be partially caused by a limited resolution of the recorder and its internal noise. The resolution does not need to be considered again, in full, but rather only in a small portion as a residual Type B uncertainty. However, if the digital recorder is then used during an impulse voltage test to obtain a single measurement value, the limited resolution has to be considered in a Type B uncertainty.

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

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

$$u_i(y) = c_i\, u(x_i) \tag{A.8}$$

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

$$c_i = \frac{\partial f}{\partial X_i}\Big|_{X_i = x_i} = \frac{\partial f}{\partial x_i}, \tag{A.9}$$

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 needs not be considered further since only the quadratic value of standard uncertainties is used in the next steps.

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

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

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

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

If the output quantity Y is a product or quotient of the input quantities X_i a similar relationship as shown in (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 thus applies to both types of the model function for uncorrelated input quantities.

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 uncertainty. Taking correlation into account is thus mainly essential for sophisticated uncertainty analysis to achieve a very accurate estimation of uncertainty. Correlation will not be discussed further 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 of approximately p = 95 % is required. This is achieved by multiplying the combined standard uncertainty $u_c(y)$ in (A.11) by a coverage factor k:

$$U = k u_c(y), \tag{A.12}$$

where U is the expanded uncertainty. The coverage factor k = 2 is used in cases where a normal distribution can be attributed to 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 being equal to 2.

NOTE 2 Since uncertainties are defined as positive numbers, the sign of U is always positive. Of course, in cases where U is used in the meaning of an uncertainty interval, it is quoted k as $\pm U$.

A.8 Effective degrees of freedom

The assumption of a normal distribution of the expanded uncertainty is, in general, fulfilled in cases where several (i.e. $N \geq 3$) uncertainty components of comparable value 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 fulfilled in many calibrations of voltage measuring systems. When the assumption of a normal 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 v_{eff} of the standard uncertainty $u_{\mathrm{c}}(y)$:

$$v_{\mathrm{eff}} = \frac{u_{\mathrm{c}}^4(y)}{\sum_{i=1}^{N} \frac{u_{\mathrm{i}}^4(y)}{v_{\mathrm{i}}}}, \tag{A.13}$$

where $u_i(y)$ is given by (A.8) for $i = 1, 2, \ldots, N$ and v_i is the corresponding degrees of freedom. Reliable values of v_i are:

- $v_i = n - 1$ for a Type A uncertainty based on n independent observations,
- $v_i \geq 50$ for a Type B uncertainty taken from a calibration certificate, and when the coverage probability is stated to be not less than 95 %,
- $v_i = \infty$ for a Type B uncertainty assuming a rectangular, Figure A.2, distribution within a_- and a_+

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

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

v_{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

A.9 Uncertainty budget

The uncertainty budget of a measurement is a detailed analysis of all sources and values of uncertainty according to 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 line indicates the values of the measurement result y, the combined uncertainty $u_{\mathrm{c}}(y)$ and the effective degrees of freedom v_{eff}.

Table A.2 – Schematic of an uncertainty budget

Quantity	Value	Standard uncertainty contribution	Degrees of freedom	Sensitivity coefficient	Contribution to combined standard uncertainty
X_i	x_i	$u(x_i)$	v_i / v_{eff}	c_i	$u_i(y)$
X_1	x_1	$u\ (x_1)$	v_1	c_1	$u_1(y)$
X_2	x_2	$u\ (x_2)$	v_2	c_2	$u_2(y)$
:	:	:	:	:	:
X_N	x_N	$u\ (x_N)$	v_N	c_N	$u_N(y\ )$
$\boldsymbol{Y}$	$\boldsymbol{y}$		$\boldsymbol{v_{eff}}$		$\boldsymbol{u_c(y)}$

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 equation f.

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 0,05U, 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.

EXAMPLE 1 The result of a voltage measurement is stated in one of the following ways:

(227,2 ± 2,4) kV,

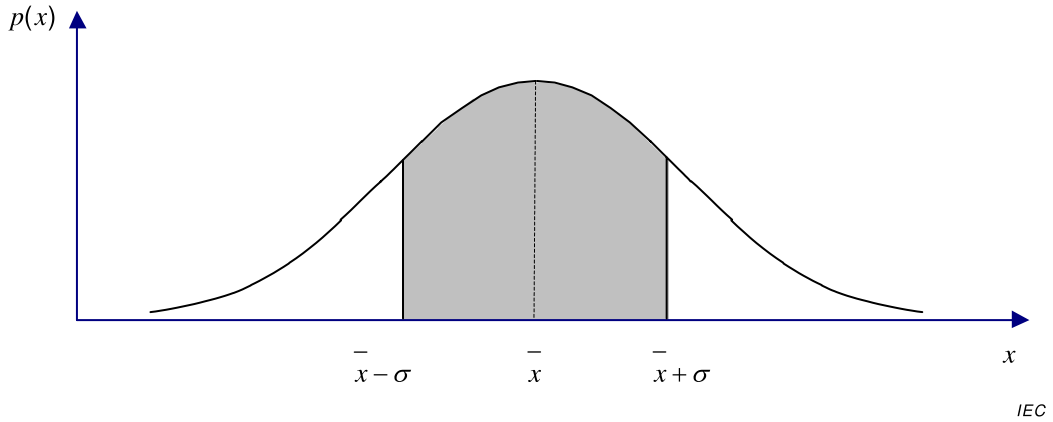
227,2 × (1 ± 0,011) kV, or

227,2 × (1 ± 1,1·10^{-2}) kV.

An explanatory note should be added informing of the coverage probability p and the coverage factor k.

EXAMPLE 2 The following complete wording is recommended (the terms in brackets apply to the cases where $v_{eff} < 50$, i.e. $k > 2{,}05$ according to Table A.1):

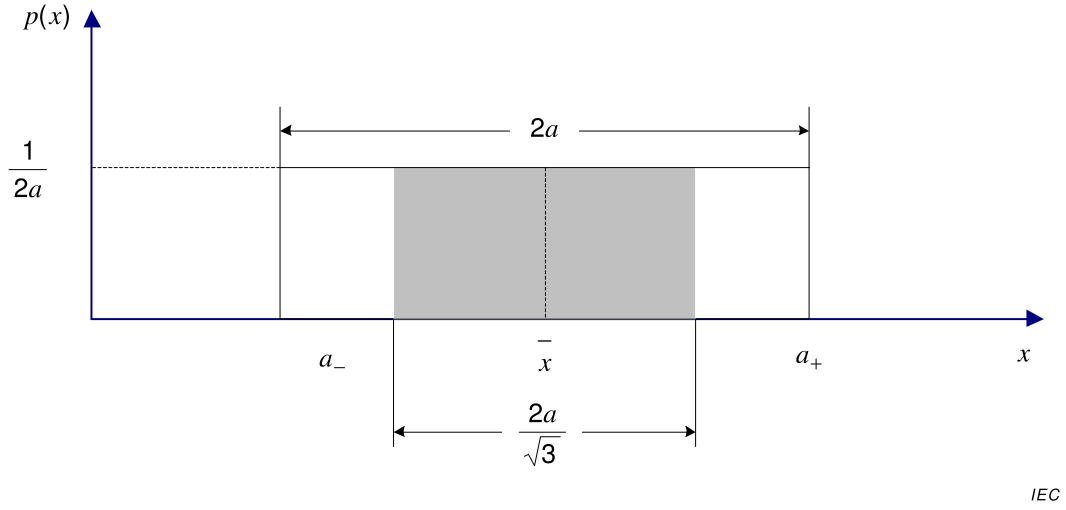
"The reported expanded uncertainty of measurement is stated as the uncertainty of measurement multiplied by the coverage factor k = 2 ($k = XX$), which for a normal distribution (t-distribution with $v_{eff} = YY$ effective degrees of freedom) corresponds to a coverage probability of approximately 95 %. The standard uncertainty of measurement has been determined in accordance with IEC 60060-2."



The shaded area indicates the standard uncertainty above and below $\overline{x}_{ii}$.

Figure A.1 – Normal probability distribution $p(x)$

The shaded area indicates the standard uncertainty above and below $\overline{x}_{ii}$.



The shaded area indicates the standard uncertainty above and below $\overline{x}_{ii}$.

Figure A.2 – Rectangular probability distribution $p(x)$

Annex B
(informative)

Example for the calculation of measuring uncertainties in high-voltage measurements

An AC measuring system of rated voltage 500 V, denoted by X, is calibrated by an accredited calibration laboratory. The calibration is performed up to V_{Xmax} = 500 V by comparison with a reference measuring system, denoted by N (Table B.1). The scale factor and the relative expanded uncertainty of the reference system N at 20 °C is F_N = 1,025 and U_N = 0,8 % (k=2), including an uncertainty contribution estimated for the long-term instability.

During the calibration, ambient temperature is (15 ± 2) °C. Since the scale factor of N was calibrated at 20 °C, it is corrected by -0,3 % according to its temperature coefficient, yielding the actual value F_N = 1,022 at 15 °C. This correction, however, is not very accurate and, furthermore, due to the temperature variation within ±2 °C during the calibration, the probable values of F_N are assumed to lie within an interval of ±0,001 around F_N with rectangular distribution. The comparison measurements are performed at h = 5 voltage levels of about 20 %, 40 %, and 100 % of V_{Xmax}. At each voltage level, simultaneous readings of the voltages V_N and V_X are taken for n = 10 voltage applications. Further investigations on the dynamic behaviour, short-term stability, temperature interval, and interference show an influence on the scale factor of the test object, F_X, within ±0,2 % each. Its long-term stability is estimated on the basis of the manufacturer's data to lie within ±0,3 % until the next calibration.

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 AC test voltage V (Table B.1):

$$V = F_N V_N = F_X V_X . \tag{B.1}$$

This leads to the basis formula for calculating the scale factor of the system under test:

$$F_X = \frac{V_N}{V_X} F_N . \tag{B.2}$$

As described above, the scale factors of both systems are subject to several influence quantities such as 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 by $\Delta F_{X,1}$, $\Delta F_{X,2}$, ... for the system under test. In general, each contribution to the scale factor F_N or F_X consists of an error and a standard uncertainty. The error is taken 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 rectangular probability distribution within an interval $\pm a_i$, 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 $\Delta F_{X,i}$ needs not always have an error (or the error is assumed being negligibly small), and then it consists only of the uncertainty contribution u_i.

The basis formula (B.2) is 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, (B.2) can then be written in the general version:

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

NOTE 1 As per definition, the errors inserted on both sides of the equation have a negative sign. They are defined as ΔF = (indicated value) – (correct value).

For the relevant case, the scale factor F_X of the AC measuring system can be expressed by:

$$F_X = \frac{V_N}{V_X} \left(F_N - \Delta F_N \right) + \sum_{i=1}^{5} \Delta F_{X,i}\,, \quad \text{(B.4)}$$

where:

ΔF_N is the contribution caused by the lower temperature of the reference system,

$\Delta F_{X,1}$ is the contribution caused by the nonlinearity of the quotient,

$\Delta F_{X,2}$ is the contribution caused by the short-term instability of the system under test,

$\Delta F_{X,3}$ is the contribution caused by the long-term instability of the system under test,

$\Delta F_{X,4}$ is the contribution caused by the dynamic behaviour of the system under test,

$\Delta F_{X,5}$ is the contribution caused by the temperature variation of the system under test.

NOTE 2 In this example, ΔF_N consists both of a correction and an uncertainty contribution to the scale factor F_N, whereas the terms ΔF_{X1} to ΔF_{X5} contribute only to the uncertainty of the scale factor F_X. For convenience, the uncertainty contributions ΔF_{X1} to ΔF_{X5} are directly related to F_X , i.e. the sensitivity coefficients of these input quantities have already been taken into consideration.

The comparison measurement at a single voltage level between the measuring system X and the reference system N yields n = 10 pairs of measured values V_N and V_X, from which the quotients V_N/V_X, their mean and the experimental standard deviation $s(V_N/V_X)$ are calculated. An example for the values measured at a voltage level of about 40 % V_{Xmax} is given in Table B.1. In the same manner, the quotients V_N/V_X and standard deviations $s(V_N/V_X)$ are obtained for in total h = 5 voltage levels up to 500 V (Table B.2).

Table B.1 – Result of the comparison measurement up to 500 V at a single voltage level

Number of measurements	Reference system V_N V	System under test V_X V	Quotient V_N/V_X
1	191,4	190,8	1,0031
2	191,6	190,9	1,0037
3	190,7	189,9	1,0042
4	189,9	189,0	1,0048
5	190,9	189,9	1,0053
6	191,2	190,3	1,0047
7	191,3	190,4	1,0047
8	191,2	190,4	1,0042
9	190,6	189,9	1,0037
10	191,3	190,7	1,0031
Mean of V_N/V_X at about 40 % V_{Xmax}			**1,0042**
Experimental standard deviation $s(V_N/V_X)$:			**0,73*10^{-3}**

Table B.2 – Summary of results for h = 5 voltage levels (V_{Xmax} = 500 V)

g No.	Voltage level % of V_{Xmax}	V_N/V_X	$s(V_N/V_X)$
1	18	1,0032	$0,71*10^{-3}$
2	38	1,0042	$0,73*10^{-3}$
3	63	1,0045	$0,81*10^{-3}$
4	83	1,0065	$0,68*10^{-3}$
5	100	1,0101	$0,85*10^{-3}$ (= s_{max})
Mean		**1,0057**	

The mean of the five quotients V_N/V_X in Table B.2 is 1,0057. To be on the safe side of the uncertainty estimation, the Type A standard uncertainty of V_N/V_X is evaluated from the maximum standard deviation s_{max} = $0,85*10^{-3}$ according to (A.3):

$$u_A = \frac{s_{max}}{\sqrt{n}} = \frac{0,85 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{10}} = 0,27 \cdot 10^{-3}.$$

The deviation of the quotients V_N/V_X from their mean characterises the nonlinearity of system X. The maximum deviation is a_1 = $4,4*10^{-3}$ at 100 % of V_{Xmax} (Table B.2). The Type B standard uncertainty of V_N/V_X, originating from nonlinearity, is thus $a_1/\sqrt{3}$ = $2,54*10^{-3}$ according to (A.7). This value is multiplied by the relevant sensitivity coefficient $c_1 = \partial F_X/\partial(V_N/V_X) = F_N - \Delta F_N$ = 1,025 – 0,003 * 1,025 = 1,022 to obtain the Type B uncertainty contribution:

$$u_{B1} = \frac{a_1}{\sqrt{3}}\left(F_N - \Delta F_N\right) = \frac{4,4*10^{-3}}{\sqrt{3}}1,022 = 2,6*10^{-3}.$$

The values and standard uncertainties of all input quantities are entered on the right side of the model formula (B.4). The model formula can be evaluated manually, using the equations given in Annex A, or with the aid of special software which should be validated for calculating uncertainties. The result of the evaluation is summarized in Table B.3. In the last line, the assigned scale factor F_X, its combined standard uncertainty**,** and the effective degrees of freedom are given. The large value v_{eff} = 180 indicates normal distribution of the probable values of F_X, and thus k = 2 is valid (see Annex A, Table A.1).

The estimate of uncertainty is not very precise and high numerical precision is not required.

Finally, the complete result of the calibration of the approved measuring system is expressed by the assigned scale factor and its expanded uncertainty:

F_X = 1,028 ± $11*10^{-3}$ = 1,028(1 ± 0,011) for a coverage probability of not less than 95 % (k = 2).

The relative expanded uncertainty of the assigned scale factor is U = 1,1 %. Since it contains an uncertainty contribution of the long-term stability, it can be applied as the expanded uncertainty of the test voltage until the next calibration of the approved measuring system, provided the stability of the scale factor is checked by intermediate performance tests (see 4.4).

NOTE 3 The simplified method of Clause 5 delivers an identical relative expanded uncertainty of the assigned scale factor.

Table B.3 – Uncertainty budget of the assigned scale factor F_X

Quantity	Value	Standard uncertainty contribution	Degrees of freedom	Sensitivity coefficient	Contribution to combined standard uncertainty
F_N	1,025	0,004 [a]	50	1,0057	$4{,}0*10^{-3}$
ΔF_N	0,003	0,000577 [b]	∞	-1,0057	$-0{,}58*10^{-3}$
V_N/V_X	1,0057	$0{,}27*10^{-3}$ [a]	9	1,022	$0{,}28*10^{-3}$
$\Delta F_{X,1}$	0	$2{,}60*10^{-3}$ [b]	∞	1	$2{,}6*10^{-3}$
$\Delta F_{X,2}$	0	$1{,}19*10^{-3}$ [b]	∞	1	$1{,}2*10^{-3}$
$\Delta F_{X,3}$	0	$1{,}78*10^{-3}$ [b]	∞	1	$1{,}8*10^{-3}$
$\Delta F_{X,4}$	0	$1{,}19*10^{-3}$ [b]	∞	1	$1{,}2*10^{-3}$
$\Delta F_{X,5}$	0	$1{,}19*10^{-3}$ [b]	∞	1	$1{,}2*10^{-3}$
F_X	1,0278		180		$5{,}54*10^{-3}$

[a] Normal distribution.

[b] Rectangular distribution.

Annex C
(informative)

Atmospheric correction

C.1 Standard reference atmosphere

Temperature t_0 = 20 °C;

Absolute pressure p_0 = 1013 hPa (1 013 mbar);

Absolute humidity h_0 = 11 g/m^3.

An absolute pressure of 1013 hPa corresponds to the height of 760 mm of the mercury column in a mercury barometer at 0 °C. If the barometer height is H mm of mercury, the atmospheric pressure in hectopascal is approximately:

$$p = 1{,}333\ H \text{ hPa}$$

Correction for temperature with respect to the height of the mercury column is considered to be negligible.

Instruments automatically correcting pressure to sea level are not suitable and should not be used.

C.2 Atmospheric correction factor

C.2.1 General

Normal laboratory conditions are specified in IEC 60068-1:

Temperature: 15 °C to 35 °C;

Air pressure: 860 hPa to 1060 hPa at sea level;

Relative humidity 25 % to 75 %.

The applied test voltage can be defined under normal laboratory conditions according to IEC 60060-1:

$$U = K_t * U_0$$

where

U is the applied test voltage;

U_0 is the specified test voltage;

K_t is the atmospheric correction factor.

The applied test voltage is proportional to the correction factor K_t that results from the product of two correction factors:

– the air density correction factor k_1

– the humidity correction factor k_2

$$K_t = k_1 * k_2$$

C.2.2 Humidity correction factor $k2$

No humidity correction can at present be specified for low voltage equipment.

However, when the relative humidity exceeds about 80 %, the disruptive discharge applied test voltage becomes irregular, especially when the disruptive discharge occurs over an insulating surface.

C.2.3 Air density correction factor k_1

The air density correction factor k_1 depends on the relative air density δ and can be generally expressed as:

$$k_1 = \delta^m$$

The exponent *m is* obtained from curve 1 of Figure A.1 for the specified ranges according to IEC 60664-1:

m = 0,9163 for 0,001 < d ≤ 0,01 mm;

m = 0,3305 for 0,01 < d ≤ 0,0625 mm;

m = 0,6361 for 0,0625 < d ≤ 1 mm;

m = 0,8539 for 1 < d ≤ 10 mm;

m = 0,9243 for 10 < d ≤ 100 mm.

When the temperatures t and t_0 are expressed in degrees Celsius and the atmospheric pressures p and p_0 are expressed in the same units, the relative air density is:

$$\delta = \frac{p}{p_0} * \frac{273 + t_0}{273 + t}$$

The correction is considered reliable for 0,8 < k_1 < 1,05.

In IEC 60664-1 the applied test voltage is given at 2 000 m. For calculation of the air density correction factor to define the test voltage at any altitude, the air pressure at 2 000 m altitude p_0 = 80 kPa is to be regarded as absolute pressure.

Bibliography

IEC 61000-4-5:2014, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-5: Testing and measurement techniques – Surge immunity test*

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

IEC 61010-2-030:2010, *Safety requirements for electrical equipment for measurement, control, and laboratory use – Part 2-030: Particular requirements for testing and measuring circuits*

_____

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS 53
1 Domaine d'application 55
2 Références normatives 56
3 Termes et définitions 56
3.1 Termes généraux 56
3.2 Définitions relatives à la décharge disruptive et aux tensions d'essai 57
3.3 Caractéristiques relatives au matériel d'essai 57
3.4 Caractéristiques relatives aux essais en tension continue 58
3.5 Caractéristiques relatives aux essais en tension alternative 58
3.6 Caractéristiques relatives aux essais de choc (voir Figure 1) 59
3.7 Définitions relatives à la tolérance et à l'incertitude 60
4 Exigences générales 61
4.1 Généralités 61
4.2 Conditions atmosphériques pour les modalités d'essai et la vérification du matériel d'essai 62
4.3 Procédures de qualification et d'utilisation des systèmes de mesure 62
4.3.1 Principes généraux 62
4.3.2 Calendrier des essais de détermination des caractéristiques 63
4.3.3 Exigences relatives au recueil de caractéristiques 63
4.3.4 Incertitude 64
4.4 Essais et exigences d'essai pour un système de mesure certifié et ses composants 64
4.4.1 Étalonnage – Détermination du coefficient de conversion 64
4.4.2 Influence de la charge 66
4.4.3 Comportement dynamique 67
4.4.4 Stabilité à court terme 67
4.4.5 Stabilité à long terme 68
4.4.6 Effet de la température ambiante 68
4.4.7 Calcul d'incertitude du coefficient de conversion 69
4.4.8 Calcul d'incertitude de mesure des paramètres de temps (tensions de choc uniquement) 71
5 Essais en tension continue 73
5.1 Généralités 73
5.2 Tension d'essai 74
5.2.1 Exigences relatives à la tension d'essai 74
5.2.2 Production de la tension d'essai 74
5.2.3 Mesurage de la tension d'essai 74
5.3 Modalités d'essai 75
5.3.1 Essais de tension de tenue 75
6 Essais en tension alternative 76
6.1 Tension d'essai 76
6.1.1 Exigences relatives à la tension d'essai 76
6.1.2 Production de la tension d'essai 76
6.1.3 Mesurage de la tension d'essai 77
6.2 Modalités d'essai 79
6.2.1 Essais de tension de tenue 79

7 Essais avec tension de choc 80
7.1 Tension d'essai 80
7.1.1 Généralités 80
7.1.2 Exigences relatives à la tension d'essai 80
7.1.3 Production de la tension d'essai 81
7.1.4 Mesurage de la tension d'essai et détermination de la forme du choc 81
7.2 Modalités d'essai 81
7.2.1 Vérification de la forme d'onde de la tension de choc 81
7.2.2 Essais de tension de choc 81
7.3 Mesurage de la tension d'essai 82
7.3.1 Exigences relatives à un système de mesure certifié 82
7.3.2 Contributions à l'incertitude 82
7.3.3 Comportement dynamique 82
7.3.4 Exigences relatives à l'instrument de mesure 82
8 Systèmes de mesure de référence 82
8.1 Exigences relatives aux systèmes de mesure de référence 82
8.1.1 Tension continue 82
8.1.2 Tension alternative 83
8.1.3 Tensions de choc 83
8.2 Étalonnage d'un système de mesure de référence 83
8.2.1 Généralités 83
8.2.2 Méthode de référence: mesurage comparatif 83
8.3 Intervalle entre les étalonnages successifs des systèmes de mesure de référence 83
8.4 Utilisation des systèmes de mesure de référence 83
Annexe A (informative) Incertitude de mesure 84
A.1 Généralités 84
A.2 Termes et définitions en complément à celles de 3.7 84
A.3 Fonction-modèle 85
A.4 Évaluation de Type A de l'incertitude-type 85
A.5 Évaluation de Type B de l'incertitude-type 86
A.6 Incertitude-type composée 88
A.7 Incertitude élargie 88
A.8 Degrés de liberté réels 89
A.9 Bilan d'incertitude 89
A.10 Expression du résultat de mesure 90
Annexe B (informative) Exemple de calcul d'incertitudes de mesure dans des mesurages de haute tension 92
Annexe C (informative) Correction atmosphérique 96
C.1 Atmosphère normalisée de référence 96
C.2 Facteur de correction atmosphérique 96
C.2.1 Généralités 96
C.2.2 Facteur de correction de l'humidité k_2 96
C.2.3 Facteur de correction de la densité de l'air k_1 97
Bibliographie 98

Figure 1 – Paramètres de temps pour la tension de choc pleine 59
Figure 2 – Étalonnage par comparaison sur la plage de pleine tension 65

Figure 3 – Contributions à l'incertitude de l'étalonnage (exemple avec un minimum de 5 niveaux de tension) 66
Figure 4 – Zone ombrée de réponses amplitude-fréquence normalisées acceptables de systèmes de mesure prévus pour des fréquences fondamentales uniques f_{nom} (à soumettre à l'essai dans la plage (1....7) f_{nom}) 78
Figure 5 – Zone ombrée de réponses amplitude-fréquence normalisées acceptables de systèmes de mesure prévus pour une plage de fréquences fondamentales f_{nom1} à f_{nom2} (à soumettre à l'essai dans la plage f_{nom1} à 7 f_{nom2}) 78
Figure 6 – Tension de choc normalisée de 1,2/50 µs 80
Figure A.1 – Loi normale de probabilité $p(x)$ 91
Figure A.2 – Loi rectangulaire de probabilité $p(x)$ 91

Tableau 1 – Essais exigés pour un système de mesure certifié de tension continue 75
Tableau 2 – Courants minimums du circuit d'ssai 76
Tableau 3 – Essais exigés pour un système de mesure certifié de tension alternative 79
Tableau 4 – Essais exigés pour un système de mesure certifié de tension de choc 82
Tableau A.1 – Facteur d'élargissement k pour les degrés de liberté réels v_{eff} (p = 95,45 %) 89
Tableau A.2 – Représentation schématique d'un bilan d'incertitude 90
Tableau B.1 – Résultat du mesurage de comparaison jusqu'à 500 V à un seul niveau de tension 94
Tableau B.2 – Résumé des résultats pour h = 5 niveaux de tension (V_{Xmax} = 500 V) 94
Tableau B.3 – Bilan d'incertitude du coefficient de conversion affecté F_X 95

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

_____

TECHNIQUES DES ESSAIS À HAUTE TENSION POUR MATÉRIEL À BASSE TENSION –

Définitions, exigences et modalités relatives aux essais, matériel d'essai

AVANT-PROPOS

1) La Commission Electrotechnique Internationale (IEC) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de l'IEC). L'IEC 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, l'IEC – 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 l'IEC"). 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 l'IEC, participent également aux travaux. L'IEC 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 l'IEC concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de l'IEC intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
3) Les Publications de l'IEC se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de l'IEC. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que l'IEC s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; l'IEC 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 l'IEC s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de l'IEC dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de l'IEC et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
5) L'IEC 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 l'IEC. L'IEC 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 l'IEC, 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 l'IEC, 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 l'IEC ou de toute autre Publication de l'IEC, 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 l'IEC peuvent faire l'objet de droits de brevet. L'IEC ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de brevets et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale IEC 61180 a été établie par le comité d'études 42 de l'IEC: Techniques d'essais à haute tension et/ou à fort courant.

Cette première édition de l'IEC 61180 annule et remplace la première édition de l'IEC 61180-1, publiée en 1992, et la première édition de l'IEC 61180-2, publiée en 1994.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
42/341/FDIS	42/342/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/IEC, 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 l'IEC 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.

TECHNIQUES DES ESSAIS À HAUTE TENSION POUR MATÉRIEL À BASSE TENSION –

Définitions, exigences et modalités relatives aux essais, matériel d'essai

1 Domaine d'application

La présente Norme internationale est applicable:

– aux essais diélectriques en tension continue;
– aux essais diélectriques en tension alternative;
– aux essais diélectriques en tension de choc;
– au matériel d'essai utilisé pour effectuer des essais diélectriques sur des matériels à basse tension.

La présente Norme n'est applicable qu'aux essais de matériels dont la tension assignée ne dépasse pas 1 kV en courant alternatif ou 1,5 kV en courant continu.

La présente Norme est applicable aux essais de type et aux essais individuels de série pour les objets qui sont soumis à des essais à haute tension tels que spécifiés par le comité d'études.

Le matériel d'essai est constitué d'un générateur de tension et d'un système de mesure. La présente Norme concerne le matériel d'essai dont le système de mesure est protégé contre les perturbations et les couplages externes par un système d'écrans approprié, par exemple, un écran conducteur continu. En conséquence, des essais de comparaison simples sont suffisants pour assurer la validité des résultats.

La présente Norme n'est pas destinée à être utilisée pour les essais de compatibilité électromagnétique de matériel électrique ou électronique.

NOTE Les essais qui combinent des tensions et des courants de choc sont couverts par l'IEC 61000-4-5.

La présente norme spécifie autant que possible aux comités d'études concernés:

– des termes définis d'application générale ou particulière;
– des exigences générales relatives aux objets en essai et aux modalités d'essai;
– des méthodes pour produire et mesurer les tensions d'essai;
– des modalités d'essai;
– des méthodes d'interprétation des résultats d'essai et d'indication des critères d'acceptation;
– des exigences concernant les dispositifs de mesure certifiés et les méthodes de vérification;
– une incertitude de mesure.

Des variantes aux modalités d'essai peuvent être exigées et il convient qu'elles soient spécifiées par les comités d'études concernés.

Il convient de déterminer si l'objet en essai comporte des dispositifs limiteurs de tension dans la mesure où ils peuvent influer sur les résultats de l'essai. Il convient que les comités

d'études concernés fournissent des lignes directrices concernant les essais auxquels sont soumis les objets équipés de dispositifs limiteurs de tension.

2 Références normatives

Les documents suivants sont cités en référence de manière normative, en intégralité ou en partie, dans le présent document et sont indispensables pour son application. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

IEC 60060-1:2010, *Techniques des essais à haute tension – Partie 1: Définitions et exigences générales*

IEC 60060-2:2010, *Techniques des essais à haute tension – Partie 2: Systèmes de mesure*

IEC 60068-1:2013, *Essais d'environnement – Partie 1: Généralités et lignes directrices*

IEC 60335 (toutes les parties): *Appareils électrodomestiques et analogues – Sécurité*

IEC 60664-1:2007, *Coordination de l'isolement des matériels dans les systèmes (réseaux) à basse tension – Partie 1: Principes, exigences et essais*

IEC 61083-1:2001, *Appareils et logiciels utilisés pour les mesures pendant les essais de choc à haute tension – Partie 1: Prescriptions pour les appareils*

IEC 61083-2:2013, *Appareils et logiciels utilisés pour les mesures pendant les essais à haute tension et haute intensité – Partie 2: Exigences pour le logiciel pour les essais avec des tensions et des courants de choc*

ISO/IEC Guide 98-3:2008, *Incertitude de mesure – Partie 3: Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure (GUM)*

3 Termes et définitions

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

3.1 Termes généraux

3.1.1
distance d'isolement
distance entre deux parties conductrices le long d'un fil tendu suivant le plus court trajet possible entre ces deux parties conductrices

[SOURCE: IEC 60050-441:1984, 441-17-31]

3.1.2
ligne de fuite
distance la plus courte, le long de la surface d'un isolant solide, entre deux parties conductrices

[SOURCE: IEC 60050-151: 2001, 151-15-50]

3.2 Définitions relatives à la décharge disruptive et aux tensions d'essai

3.2.1
décharge disruptive
défaillance de l'isolation sous une contrainte électrique, pendant laquelle la décharge court-circuite complètement l'isolation en essai, réduisant la tension appliquée entre les électrodes à une valeur pratiquement nulle

3.2.2
tension de tenue
valeur de la tension spécifiée qui caractérise l'isolation de l'objet en ce qui concerne un essai de tenue

Note 1 à l'article: Sauf spécification contraire, les tensions de tenue se réfèrent aux conditions atmosphériques de référence normalisées (voir 4.2).

3.3 Caractéristiques relatives au matériel d'essai

3.3.1
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 à l'article: La détermination du coefficient de conversion est incluse dans l'étalonnage.

[SOURCE: IEC 60050-311:2001, 311-01-09, modifié:note modifiée]

3.3.2
essai de type
essai de conformité effectué sur une ou plusieurs entités représentatives de la production

Note 1 à l'article: Pour un système de mesure, il s'agit d'un essai effectué sur un composant ou un système de mesure complet de la même conception afin de le caractériser dans les conditions de fonctionnement.

[SOURCE: IEC 60050-151: 2001, 151-16-16, modifié:note ajoutée]

3.3.3
essai individuel de série
essai de conformité effectué sur chaque entité en cours ou en fin de fabrication

Note 1 à l'article: Il s'agit d'un essai réalisé sur chaque composant ou chaque système de mesure complet afin de le caractériser dans les conditions de fonctionnement.

[SOURCE: IEC 60050-151: 2001, 151-16-17, modifié: note ajoutée]

3.3.4
essai de détermination des caractéristiques
essai effectué sur un système de mesure complet pour en déterminer les caractéristiques dans les conditions de fonctionnement

3.3.5
matériel d'essai
ensemble complet de moyens nécessaires pour produire et mesurer la tension ou le courant d'essai appliqué à un objet en essai

3.3.6
système de mesure de référence
système de mesure avec son étalonnage traçable par rapport à des étalons nationaux et/ou internationaux pertinents et ayant une exactitude et une stabilité suffisantes pour être utilisé pour l'approbation d'autres systèmes par l'exécution de mesurages comparatifs simultanés avec des types de formes d'onde et des plages de tensions spécifiques

3.3.7
coefficient de conversion affecté
coefficient de conversion d'un système de mesure déterminé lors de l'essai de détermination des caractéristiques le plus récent

Note 1 à l'article: Un système de mesure peut avoir plusieurs coefficients de conversion affectés; il peut avoir par exemple plusieurs plages, chacune avec un coefficient de conversion différent.

3.4 Caractéristiques relatives aux essais en tension continue

3.4.1
valeur de la tension d'essai
valeur arithmétique moyenne

3.4.2
ondulation
écart périodique par rapport à la valeur arithmétique moyenne de la tension d'essai

3.4.3
amplitude d'ondulation
moitié de la différence entre les valeurs maximales et minimales

Note 1 à l'article: Dans les cas où la forme de l'ondulation est proche d'une sinusoïde, les valeurs efficaces vraies multipliées par $\sqrt{2}$ sont acceptables pour la détermination de l'amplitude d'ondulation.

3.4.4
facteur d'ondulation
rapport entre l'amplitude d'ondulation et la valeur de la tension d'essai

3.5 Caractéristiques relatives aux essais en tension alternative

3.5.1
valeur de crête
moyenne des amplitudes des valeurs positives et négatives maximales

3.5.2
valeur efficace
racine carrée de la valeur moyenne des carrés des valeurs que prend la tension pendant un cycle complet

3.5.3
valeur efficace vraie
valeur obtenue à partir de

$$I_{\text{eff}} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T i^2(t)\,\mathrm{d}t}$$

où

0 est le moment ($t = 0$) d'une onde périodique à courant alternatif, adapté au début de l'intégration;

T est le temps utilisé sur un nombre entier de cycles;

$i(t)$ est la valeur instantanée du courant.

Note 1 à l'article: La valeur efficace vraie peut en général être calculée à partir d'un enregistrement numérisé de toute forme d'onde périodique, à condition qu'un nombre suffisant d'échantillons ait été prélevé.

Note 2 à l'article: Dans les cas avec variation de la fréquence, aucune formule précise et spécifique relative à la valeur efficace vraie ne peut être donnée.

3.5.4
taux de distorsion harmonique totale
THD
rapport de la valeur efficace du résidu harmonique d'une grandeur alternative à la valeur efficace de la composante fondamentale de cette grandeur

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-17-06]

3.6 Caractéristiques relatives aux essais de choc (voir Figure 1)

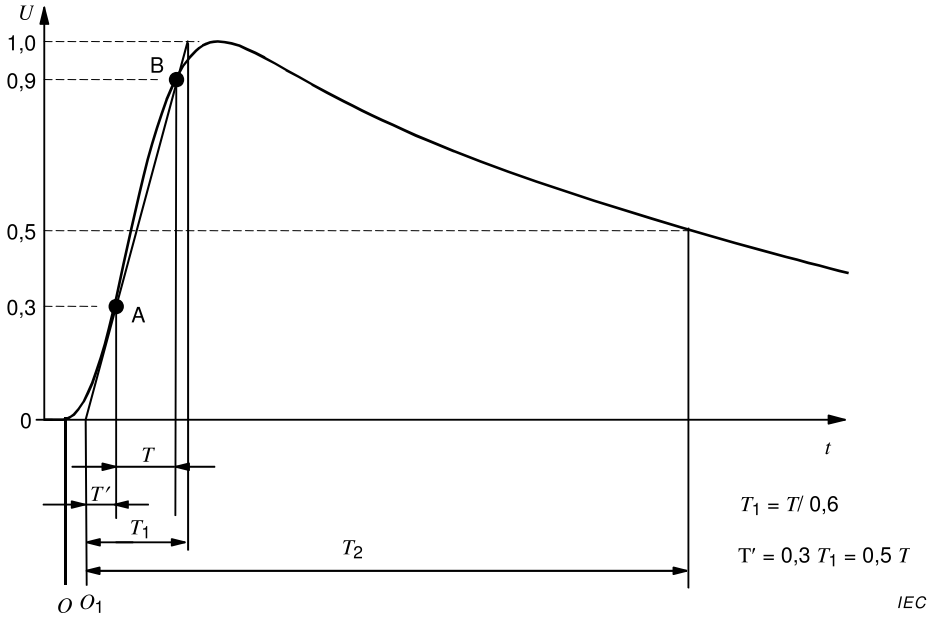


Figure 1 – Paramètres de temps pour la tension de choc pleine

Note 1 à l'article: Les oscillations sont négligeables.

3.6.1
tension de choc
tension transitoire apériodique appliquée intentionnellement qui monte en général rapidement à une valeur de crête, puis plus lentement tombe à zéro

3.6.2
valeur de crête
valeur maximale

3.6.3
valeur de la tension d'essai
pour un choc sans dépassement ou oscillations, il s'agit de sa valeur de crête

Note 1 à l'article: La détermination de la valeur de crête, dans le cas d'oscillations ou d'un dépassement avec des chocs normaux, est prise en considération dans l'IEC 60060-1.

3.6.4
temps de montée
T_1
paramètre virtuel défini comme 1/0,6 fois l'intervalle de temps T compris entre les instants où la tension atteint 30 % et 90 % de la valeur de crête sur la courbe de tension d'essai (points A et B, Figure 1)

3.6.5
origine virtuelle
O_1
instant qui précède d'une durée de 0,3 T_1, celui qui correspond au point A de la courbe de tension d'essai (voir Figure 1)

Note 1 à l'article: Pour les enregistrements à échelle de temps linéaire, il s'agit de l'intersection avec l'axe des temps d'une droite passant par les points de référence A et B du front.

3.6.6
durée jusqu'à la mi-valeur
T_2
paramètre virtuel défini comme l'intervalle de temps compris entre l'origine virtuelle O_1 et l'instant où la tension a diminué jusqu'à la moitié de la valeur de crête

3.6.7
courbe enregistrée
représentation graphique ou numérique des données d'essai d'une tension de choc

3.7 Définitions relatives à la tolérance et à l'incertitude

3.7.1
tolérance
différence permise entre la valeur mesurée et la valeur spécifiée

3.7.2
incertitude de mesure
paramètre, associé à un résultat de mesure, qui caractérise la dispersion des valeurs qui pourraient être raisonnablement attribuées au mesurande

Note 1 à l'article: L'incertitude est positive et donnée sans signe.

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

3.7.3
erreur
valeur mesurée d'une grandeur moins une valeur de référence de la grandeur

[SOURCE: ISO/IEC Guide 98-3:2008, GUM 2.3.2]

3.7.4
incertitude-type
u
incertitude d'un résultat de mesure exprimée sous la forme d'un écart-type

Note 1 à l'article: L'incertitude-type associée à une estimation d'un mesurande a la même dimension que le mesurande.

Note 2 à l'article: Dans certains cas, l'incertitude-type relative d'une mesure peut être appropriée. L'incertitude-type relative d'une mesure est l'incertitude-type divisée par le mesurande, et elle est donc sans dimension.

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

3.7.5
incertitude-type composée
u_c
incertitude-type du résultat d'une mesure obtenu à partir des valeurs d'un certain nombre d'incertitudes d'autres grandeurs, égale à la racine carrée positive de la somme des différents termes, ces termes étant les variances ou covariances des autres grandeurs pondérées intervenant dans le résultat de mesure

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

3.7.6
incertitude élargie
U
grandeur définissant un intervalle, autour du résultat d'une mesure, dont on puisse s'attendre à ce qu'il comprenne une fraction élevée de la distribution des valeurs qui pourraient être attribuées raisonnablement au mesurande

Note 1 à l'article: Incertitude élargie est l'expression correspondant le plus étroitement au terme “incertitude globale”.

Note 2 à l'article: La valeur vraie mais inconnue de la tension d'essai peut se trouver en dehors des limites données par l'incertitude car la probabilité de couverture est < 100 % (voir 3.7.7).

[SOURCE: ISO/IEC Guide 98-3:2008, GUM 2.3.5, modifié:notes ajoutées]

3.7.7
facteur d'élargissement
k
facteur numérique utilisé comme multiplicateur de l'incertitude-type composée pour obtenir l'incertitude élargie

Note 1 à l'article: Pour une probabilité de couverture de 95 % et une loi de probabilité normale (gaussienne), le facteur d'élargissement est approximativement $k = 2$.

[SOURCE: ISO/IEC Guide 98-3:2008, GUM 2.3.6, modifié: note ajoutée]

3.7.8
évaluation de Type A
méthode d'évaluation d'une incertitude par analyse statistique d'une série d'observations

3.7.9
évaluation de Type B
méthode d'évaluation d'une incertitude par un moyen autre qu'une analyse statistique d'une série d'observations

3.7.10
laboratoire national de métrologie
institution désignée par une décision nationale, ayant pour objet d'élaborer et de tenir à jour des étalons de mesure nationaux pour une ou plusieurs grandeurs

4 Exigences générales

4.1 Généralités

Sauf spécification contraire du comité d'études concerné, il convient que l'objet en essai soit propre et sec, stabilisé aux conditions environnementales ambiantes, et la tension doit être appliquée conformément aux spécifications des articles correspondants de la présente norme. Il convient que les modalités d'essai applicables à des types d'objets en essai particuliers soient spécifiées par le comité d'études concerné, en tenant compte des facteurs suivants:

- l'exactitude exigée pour les résultats d'essai;
- la nature aléatoire du phénomène observé et l'influence de la polarité sur les caractéristiques mesurées;
- la possibilité d'une détérioration progressive en cas d'applications répétées de la tension.

Ceci inclut par exemple, la polarité à appliquer, l'ordre préférentiel si les deux polarités doivent être appliquées, le nombre d'applications, l'intervalle de temps entre applications et tout conditionnement et préconditionnement.

Les connexions entre le matériel d'essai et l'objet soumis à l'essai à haute tension doivent être directes et les plus courtes possible. Il convient d'éviter les boucles de connexions afin de réduire le plus possible les oscillations sur le front du choc. Il convient que les conducteurs soient le plus près possible les uns des autres afin de réduire le plus possible l'espace entre les conducteurs.

Ces exigences doivent également s'appliquer à la qualification du système de mesure, par exemple, le matériel d'essai à étalonner et le système de mesure de référence.

Le constructeur du matériel d'essai doit fournir des informations concernant les caractéristiques du matériel d'essai afin de pouvoir toujours maintenir la tension générée dans les limites de tolérance admises lors de la vérification de l'objet soumis à l'essai à haute tension.

4.2 Conditions atmosphériques pour les modalités d'essai et la vérification du matériel d'essai

Les conditions atmosphériques pour les modalités d'essai et la vérification du matériel d'essai doivent être conformes à celles spécifiées pour les essais décrits dans l'IEC 60068-1:

Température	15 °C à 35 °C
Pression atmosphérique	86 kPa à 106 kPa
Humidité relative	25 % à 75 %
Humidité absolue	$\leq$ 22 g/m^3

Les conditions atmosphériques réelles pendant l'essai doivent être enregistrées.

Pour les besoins des essais, lorsque les conditions atmosphériques se situent dans les plages spécifiées dans la présente Norme, il n'est pas nécessaire d'appliquer des corrections à la tension d'essai du fait des variations de température, d'humidité et de pression atmosphérique.

Lorsque les conditions atmosphériques pendant l'essai ne se situent pas dans les plages spécifiées dans la présente Norme, la méthode présentée à l'Annexe C doit être utilisée, et convenue par accord, pour la correction de la tension d'essai.

4.3 Procédures de qualification et d'utilisation des systèmes de mesure

4.3.1 Principes généraux

Chaque système de mesure certifié doit être soumis à des essais initiaux, suivis d'essais de détermination des caractéristiques périodiques pendant toute sa durée de vie, comme cela est spécifié en 4.3.2. Les essais initiaux comprennent les essais de type et les essais individuels de série.

Les essais de détermination des caractéristiques doivent attester que les systèmes de mesure peuvent mesurer les tensions d'essai prévues dans le domaine d'incertitude donné dans la présente norme, et que les mesurages sont traçables par rapport à des étalons nationaux et/ou internationaux de mesure. Le système est certifié uniquement pour ce qui concerne les dispositions et les conditions de fonctionnement décrites dans son recueil de caractéristiques, comme cela est spécifié en 4.3.3.

La stabilité des systèmes de mesure dans la plage spécifiée pour leurs conditions de fonctionnement constitue une exigence majeure permettant de ce fait de maintenir le coefficient de conversion constant durant de longues périodes.

Le coefficient de conversion affecté est déterminé par étalonnage lors de l'essai de détermination des caractéristiques. Tout étalonnage doit être traçable par rapport à des étalons nationaux et/ou internationaux. L'utilisateur doit s'assurer que tout étalonnage est réalisé par du personnel compétent utilisant des systèmes de mesure de référence et des procédures adaptées.

Un utilisateur peut également choisir de faire réaliser les essais de détermination des caractéristiques par un laboratoire national de métrologie ou par un laboratoire d'étalonnage accrédité pour la grandeur à étalonner.

Les étalonnages réalisés par un laboratoire national de métrologie, ou par un laboratoire accrédité pour les grandeurs étalonnées et consignées dans le cadre de l'accréditation, sont définis comme traçables par rapport à des étalons nationaux et/ou internationaux.

Dans tous les cas, l'utilisateur doit consigner les données d'essai dans le recueil de caractéristiques.

4.3.2 Calendrier 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 par des essais de détermination des caractéristiques périodiques. L'intervalle entre les essais de détermination des caractéristiques ne doit pas dépasser 1 an sauf indication contraire par le constructeur et sur la base de l'expérience démontrant une stabilité à long terme.

Les essais de détermination des caractéristiques doivent être réalisés après des réparations importantes effectuées sur le système de mesure et à chaque fois qu'une configuration de circuit se trouvant en dehors des limites mentionnées dans le recueil de caractéristiques doit être utilisée.

4.3.3 Exigences relatives au recueil de caractéristiques

Les résultats de tous les essais, y compris les conditions dans lesquelles les résultats ont été obtenus, doivent être consignés dans le recueil de caractéristiques (archivé en format papier ou électronique si les systèmes qualité et la législation locale l'autorisent) établi et tenu à jour par l'utilisateur. Le recueil de caractéristiques doit identifier de façon unique les composants du système de mesure et doit avoir une structure permettant de rendre traçables les caractéristiques du système de mesure au fil du temps.

Le recueil de caractéristiques doit au moins comporter les informations suivantes:

- Une description générale du système de mesure.
- Les résultats des essais de type et des essais individuels de série effectués sur le système de mesure.
- Les résultats des essais de détermination des caractéristiques effectués ultérieurement sur le système de mesure.

La description générale du système de mesure concerne généralement les principales données et fonctionnalités du système de mesure, telles que la tension de fonctionnement assignée, la ou les formes d'ondes, la ou les plages de distances d'isolement, la durée de fonctionnement ou la fréquence maximale d'applications de tension. Les informations sur le système de transmission, ainsi que les configurations à haute tension et de mise à la terre revêtent une importance particulière pour bon nombre de systèmes de mesure. Lorsqu'elle est exigée, une description des constituants du système de mesure est également fournie, comprenant par exemple, le type et l'identification de l'instrument de mesure.

4.3.4 Incertitude

L'incertitude de tous les mesurages effectués selon la présente norme internationale doit être évaluée selon le Guide ISO/IEC 98-3. L'incertitude de mesure doit être différenciée de la tolérance. Une décision de réussite/échec est prise uniquement sur la base de la valeur mesurée, en fonction des critères de réussite/échec. L'incertitude de mesure ne doit pas être appliquée à la valeur mesurée pour prendre la décision de réussite/échec. Les procédures d'évaluation des incertitudes indiquées en 4.4.7 sont spécifiées conformément aux principes du Guide ISO/IEC 98-3. Elles sont réputées être adaptées au matériel et aux configurations de mesure couramment utilisés pour les essais à haute tension. Toutefois, les utilisateurs peuvent choisir d'autres procédures appropriées dans le Guide ISO/IEC 98-3, dont certaines sont présentées à l'Annexe A et à l'Annexe B.

En général, le mesurande à prendre en considération est le coefficient de conversion du système de mesure, mais dans certains cas, il convient également de prendre en considération d'autres grandeurs, telles que les paramètres de temps d'une tension de choc et les erreurs qui y sont associées.

NOTE 1 D'autres mesurandes sont couramment utilisés pour des dispositifs de conversion spécifiques. Par exemple, un diviseur de tension est caractérisé par le rapport de tension et son incertitude dans les étendues de mesure affectées utilisées. Un transformateur de tension est caractérisé par l'erreur de rapport, le déphasage et les incertitudes correspondantes.

Selon le Guide ISO/IEC 98-3, l'incertitude de mesure est déterminée en combinant les contributions à l'incertitude de Type A et de Type B (voir 4.4.7). Ces contributions sont obtenues à partir des résultats de mesure, des manuels des constructeurs et des certificats d'étalonnage, et à partir de l'estimation de valeurs raisonnables des grandeurs d'influence au cours du mesurage. Les grandeurs d'influence mentionnées en 4.4 comprennent les effets de la température, l'influence de la charge, le comportement dynamique du système de mesure, ainsi que l'influence de la stabilité à court et à long termes. D'autres effets, y compris la résolution limitée de l'instrument de mesure, peuvent être ajoutés si nécessaire.

L'incertitude doit être définie comme l'incertitude élargie pour une probabilité de couverture d'environ 95 % correspondant à un facteur d'élargissement k=2 dans l'hypothèse d'une loi normale.

NOTE 2 Dans la présente Norme internationale, les incertitudes du coefficient de conversion et de mesure de tension (4.4.1 à 4.4.6) sont exprimées par les incertitudes relatives au lieu de l'incertitude absolue qui est normalement prise en compte dans le Guide ISO/IEC 98-3.

4.4 Essais et exigences d'essai pour un système de mesure certifié et ses composants

4.4.1 Étalonnage – Détermination du coefficient de conversion

Le coefficient de conversion affecté du système de mesure doit être déterminé par étalonnage selon les essais spécifiés de détermination des caractéristiques. Le coefficient de conversion affecté est une valeur unique pour l'étendue de mesure affectée. Si cela s'avère nécessaire, plusieurs étendues de mesure affectées avec des coefficients de conversion différents peuvent être définies.

Le ou les coefficients de conversion sont déterminés pour un système de mesure complet par comparaison à un système de mesure de référence.

Il convient que la tension d'entrée utilisée pour l'étalonnage soit identique en termes de type, fréquence et forme d'onde aux tensions à mesurer. Si cette condition n'est pas remplie, les contributions à l'incertitude concernées doivent être estimées.

L'étalonnage doit être effectué en connectant un système de mesure de référence, traçable par rapport à un laboratoire national de métrologie, en parallèle au système de mesure à étalonner. Des précautions doivent être prises pour éviter les boucles de masse entre le ou les dispositifs de conversion et le ou les instruments de mesure. Des relevés de lecture

simultanés doivent être effectués sur les deux systèmes. La valeur de la grandeur d'entrée obtenue par le système de mesure de référence pour chaque mesurage est divisée par le relevé de lecture correspondant de l'instrument dans le système en essai pour obtenir une valeur F_i de son coefficient de conversion. La procédure est répétée n fois pour obtenir la valeur moyenne F_g du coefficient de conversion du système en essai à un niveau de tension U_g. La valeur moyenne est donnée par:

$$F_{\mathrm{g}} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} F_{i,g}$$

L'écart-type relatif s_g de F_g est donné par:

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

et l'incertitude-type relative de Type A u_g de la valeur moyenne F_g est donnée par (Annexe A):

$$u_{\mathrm{g}} = \frac{s_g}{\sqrt{n}}$$

Habituellement n = 10 relevés indépendants au maximum sont nécessaires.

Pour le mesurage des tensions continue et alternative, il convient d'obtenir des relevés indépendants, soit en appliquant la tension d'essai et en effectuant n relevés, soit en appliquant n fois la tension d'essai et en effectuant un relevé à chaque fois. Pour les tensions de choc, n chocs sont appliqués.

Le coefficient de conversion doit être déterminé aux niveaux minimum et maximum de l'étendue de mesure affectée et sur au moins trois niveaux intermédiaires quasiment équidistants (Figure 2). Le coefficient de conversion affecté F est pris égal à la valeur moyenne de tous les coefficients de conversion F_g enregistrés à h niveaux de tension:

$$F = \frac{1}{h}\sum_{g=1}^{h} F_g \quad \text{pour } h \geq 5$$

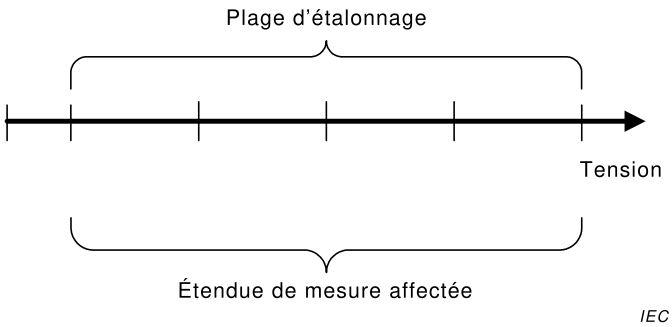


Figure 2 – Étalonnage par comparaison sur la plage de pleine tension

L'incertitude-type liée à la détermination du coefficient de conversion affecté F est définie comme la plus élevée des incertitudes-types individuelles de Type A (Figure 3):

$$u_A = \max_{g=1}^{h} u_g .$$

L'effet d'une non-linéarité dans F est estimé comme étant une incertitude-type de Type B exprimée par:

$$u_{B0} = \frac{1}{\sqrt{3}} \max_{g=1}^{h} \left| \frac{F_g}{F} - 1 \right| .$$

Une valeur arrondie F_o peut être retenue comme étant le coefficient de conversion affecté si la différence entre F_o et F est présentée comme une contribution à l'incertitude de Type B dans l'estimation de l'incertitude élargie du coefficient de conversion F_o.

Il convient de mentionner dans le certificat d'étalonnage les coefficients de conversion individuels et leurs incertitudes aux h niveaux de tension.

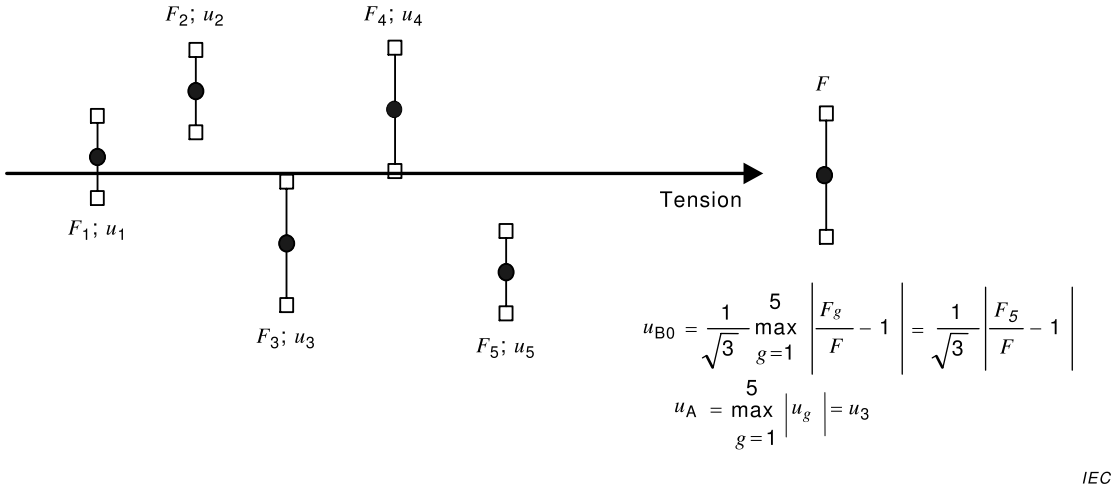


Figure 3 – Contributions à l'incertitude de l'étalonnage (exemple avec un minimum de 5 niveaux de tension)

4.4.2 Influence de la charge

Chaque essai de comparaison doit être effectué d'abord avec la charge minimale (le système de mesure de référence seul) puis répété avec la charge maximale (résistive, capacitive, inductive ou toute combinaison de ces charges) autorisée par le constructeur du matériel d'essai.

La contribution à l'incertitude de la charge doit être prise en compte par:

$$u_{Bl} = \frac{1}{\sqrt{3}} \left| \frac{F_{Charge\max}}{F_{Charge\min}} - 1 \right|$$

Ceci est très important lorsque la tension n'est pas mesurée directement sur le côté haute tension aux bornes de l'objet en essai.

4.4.3 Comportement dynamique

4.4.3.1 Généralités

La réponse d'un composant ou d'un système de mesure doit être déterminée dans des conditions représentatives de son utilisation, en particulier de ses distances d'isolement aux structures sous tension et à la terre. Les méthodes de mesure préférentielles sont la réponse amplitude/fréquence pour les tensions continues ou alternatives, et la détermination des coefficients de conversion et du temps.

NOTE Des informations complémentaires sur les mesurages de réponse indicielle unitaire sont données dans l'Annexe C de l'IEC 60060-2:2010.

Une estimation de Type B de l'incertitude-type relative liée au comportement dynamique est donnée par:

$$u_{B2} = \frac{1}{\sqrt{3}} \max_{i=1}^{k} \left| \frac{F_i}{F} - 1 \right|$$

où k est le nombre de déterminations de coefficient de conversion dans une plage de fréquences, ou dans une plage de paramètres de temps de chocs définissant la période nominale. F_i sont les coefficients de conversion individuels et F est le coefficient de conversion moyen dans la période nominale.

4.4.3.2 Détermination de la réponse amplitude/fréquence

Le système ou le composant est soumis à une grandeur d'entrée sinusoïdale d'amplitude connue, habituellement à bas niveau, et la grandeur de sortie est mesurée. Ce mesurage est répété pour une plage de fréquences appropriée. Les écarts du coefficient de conversion sont évalués selon la formule ci-dessus (4.4.3.1).

4.4.3.3 Méthode de référence pour les systèmes de mesure de la tension de choc

Des enregistrements de la tension de choc relevée pour l'étalonnage du coefficient de conversion décrit en 4.4.1 sont utilisés pour les limites de la période nominale, et la contribution à l'incertitude de mesure de la tension et des paramètres de temps doit être évaluée selon la formule ci-dessus (4.4.3.1).

NOTE Pour de plus amples informations sur le mesurage et l'évaluation de la réponse indicielle unitaire, voir l'Annexe C de l'IEC 60060-2:2010.

4.4.4 Stabilité à court terme

La tension maximale de l'étendue de mesure affectée doit être appliquée en permanence au système de mesure (ou à la fréquence affectée dans le cas de chocs) pendant une durée représentative de l'utilisation prévue. Le coefficient de conversion doit être mesuré dès que le niveau maximal de tension a été atteint, et de nouveau immédiatement avant la diminution de la tension.

Il convient que la période d'application de la tension ne soit pas plus longue que la durée de fonctionnement affectée, elle peut cependant être limitée à une durée suffisante pour atteindre l'équilibre.

NOTE L'essai de stabilité à court terme est destiné à couvrir les effets de l'autoéchauffement sur le dispositif de conversion.

Le résultat de l'essai donne une estimation de la variation du coefficient de conversion pendant la durée d'application de la tension permettant de définir la contribution à l'incertitude-type comme une estimation de Type B:

$$u_{B3} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \left| \frac{F_{après}}{F_{avant}} - 1 \right| ,$$

où F_{avant} et $F_{après}$ sont les coefficients de conversion avant et après l'essai de stabilité à court terme.

4.4.5 Stabilité à long terme

La stabilité du coefficient de conversion doit être prise en considération et évaluée sur une longue durée. Elle est en général estimée comme une contribution à l'incertitude valide pendant une durée d'utilisation projetée (en général jusqu'au prochain étalonnage), $T_{utilisation}$. L'évaluation peut être basée sur des données du constructeur ou sur les résultats d'une série d'essais de détermination des caractéristiques. Le résultat de l'évaluation donne une estimation d'une variation du coefficient de conversion. L'évaluation fournit une contribution à l'incertitude-type correspondant à une estimation de Type B:

$$u_{B4} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \left| \frac{F_2}{F_1} - 1 \right| \cdot \frac{T_{utilisation}}{T_2 - T_1} ,$$

où F_1 et F_2 sont les coefficients de conversion de deux essais consécutifs de détermination des caractéristiques effectués aux temps T_1 et T_2.

Lorsque plusieurs résultats d'essais de détermination des caractéristiques sont utilisables, la stabilité à long terme peut être caractérisée par la contribution de Type A:

$$u_{B4} = \frac{T_{utilisation}}{T_{moyenne}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} \left(\frac{F_i}{F_m} - 1 \right)^2}{n(n-1)}} ,$$

pour laquelle les résultats d'essais répétés de détermination des caractéristiques sont les coefficients de conversion F_i, avec une valeur moyenne F_m et avec une durée moyenne $T_{moyenne}$.

NOTE La stabilité à long terme est en général déclarée pour une période d'une année.

4.4.6 Effet de la température ambiante

Le coefficient de conversion d'un système de mesure peut varier en fonction de la température ambiante. Cette variation peut être quantifiée par la détermination du coefficient de conversion à différentes températures ambiantes ou par des calculs basés sur les caractéristiques des composants. Les détails de l'essai ou des calculs doivent être consignés dans le recueil de caractéristiques.

Le résultat d'un essai ou d'un calcul donne une estimation de la variation du coefficient de conversion due à la température ambiante. L'incertitude-type liée correspond à l'estimation de Type B suivante:

$$u_{B5} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \left| \frac{F_T}{F} - 1 \right| ,$$

où F_T est le coefficient de conversion à la température étudiée et F est celui qui correspond à la température d'étalonnage.

Si l'écart F_T par rapport à F est supérieur à 1 %, une correction du coefficient de conversion est recommandée.

NOTE L'effet de l'autoéchauffement est couvert par l'essai de stabilité à court terme.

Un facteur de correction de température pour le coefficient de conversion peut être utilisé lorsque la variation de la température ambiante est importante. Il convient d'indiquer dans le recueil de caractéristiques toute correction de température à appliquer. Dans les cas d'application d'une correction de température, l'incertitude u_{B5} du facteur de correction de température peut être retenue comme étant la contribution à l'incertitude.

4.4.7 Calcul d'incertitude du coefficient de conversion

4.4.7.1 Généralités

Il s'agit d'une procédure simplifiée permettant de déterminer l'incertitude élargie du coefficient de conversion affecté F d'un système de mesure. Elle est basée sur plusieurs hypothèses, qui peuvent être vraies dans de nombreux cas, mais qu'il convient de vérifier dans chaque cas individuel. Les principales hypothèses sont les suivantes:

a) Il n'y a pas de corrélation entre les grandeurs de mesure.
b) Les incertitudes-types évaluées par la méthode de Type B sont censées avoir une répartition rectangulaire.
c) Les trois contributions à l'incertitude les plus grandes ont des amplitudes approximativement égales.

Ces hypothèses donnent lieu à une procédure d'évaluation de l'incertitude élargie du coefficient de conversion F, tant pour la situation d'étalonnage que pour l'utilisation d'un système de mesure certifié dans les mesurages.

L'incertitude élargie d'étalonnage U_{cal} est estimée à partir de l'incertitude de l'étalonnage du système de référence et à partir de l'influence d'autres grandeurs détaillées dans le présent article, telles que la stabilité du système de mesure de référence et les paramètres ambiants pendant l'étalonnage.

L'incertitude élargie de mesure U_{M} de la grandeur d'essai est évaluée à partir de l'incertitude de l'étalonnage du coefficient de conversion du système de mesure certifié et à partir de l'influence d'autres grandeurs présentées en 4.4, telles que la stabilité du système de mesure et les paramètres ambiants pendant le mesurage, qui ne sont pas prises en compte dans le certificat d'étalonnage.

D'autres méthodes d'estimation de l'incertitude sont mentionnées dans le Guide ISO/IEC 98-3:2008 et sont également décrites dans l'Annexe A.

4.4.7.2 Incertitude de l'étalonnage

L'incertitude élargie relative d'un étalonnage du coefficient de conversion U_{cal} est calculée à partir de l'incertitude du système de mesure de référence et des incertitudes de Type A et de Type B détaillées dans le présent article:

$$U_{\mathrm{cal}} = k \cdot u_{\mathrm{cal}} = 2\sqrt{u_{\mathrm{ref}}^2 + u_{\mathrm{A}}^2 + \sum_{i=0}^{N} u_{\mathrm{B}i}^2}\ ,$$

où:

k = 2 est le facteur d'élargissement pour une probabilité de couverture de 95 % environ et une loi normale;

u_{ref} est l'incertitude-type composée du coefficient de conversion du système de mesure de référence à son étalonnage;

u_{A} est l'incertitude statistique de Type A dans la détermination du coefficient de conversion;

$u_{\text{B}0}$ est la contribution de non-linéarité à l'incertitude-type déterminée pendant l'étalonnage du coefficient de conversion (4.4.1);

$u_{\text{B}i}$ est la contribution à l'incertitude-type composée du coefficient de conversion due à la $i^{\text{ème}}$ grandeur d'influence et évaluée comme contribution de Type B (Annexe A). Ces contributions sont liées au système de mesure de référence, et sont dues à la non-linéarité, aux instabilités à court et long terme, etc. Elles sont déterminées soit par des mesurages supplémentaires, soit estimées à partir d'autres sources de données selon 4.4.2 à 4.4.6. Les influences liées aux systèmes de mesure certifiés, telles que leur stabilité à court terme et la résolution de mesure, doivent également être prises en compte si elles sont significatives pendant l'étalonnage.

Lorsque les hypothèses susmentionnées ne sont pas valables, les procédures données dans l'Annexe A ou, si nécessaire, dans le Guide ISO/IEC 98-3:2008 doivent être appliquées.

Le nombre N de contributions à l'incertitude de Type B peut différer selon les différents types de tensions d'essai (Articles 5 à 7). De plus amples informations sur les contributions de Type B sont données dans les articles correspondants.

4.4.7.3 Incertitude de mesure déterminée avec un système de mesure certifié

L'estimation de l'incertitude élargie de mesure de la valeur de la tension d'essai relève de la responsabilité de l'utilisateur. Cependant, cette estimation peut être obtenue pour une plage définie de conditions de mesure conjointement avec le certificat d'étalonnage.

L'incertitude élargie relative de mesure de la valeur de la tension d'essai U_{M} est calculée à partir de l'incertitude-type composée du coefficient de conversion affecté telle que déterminée dans l'étalonnage du système de mesure certifié et des contributions supplémentaires à l'incertitude de Type B détaillées dans le présent article:

$$U_M = k \cdot u_{\text{M}} = 2\sqrt{u_{\text{cal}}^2 + \sum_{i=1}^{N} u_{\text{B}i}^2}\ ,$$

où:

k = 2 est le facteur d'élargissement pour une probabilité de couverture de 95 % environ et une loi normale;

u_{M} est l'incertitude-type composée de mesure déterminée avec le système de mesure certifié, valable pour une durée d'utilisation projetée, par exemple, un intervalle d'étalonnage;

u_{cal} est l'incertitude-type composée du coefficient de conversion du système de mesure certifié déterminée à l'étalonnage (voir 4.4.7.2);

$u_{\text{B}i}$ est la contribution à l'incertitude-type composée du coefficient de conversion du système de mesure certifié et due à la $i^{\text{ème}}$ grandeur d'influence, évaluée comme contribution de Type B. Ces contributions sont liées à l'utilisation normale du système de mesure certifié et sont dues à la non-linéarité, aux instabilités à court et long terme, etc. Elles sont déterminées soit selon 4.4.2 à 4.4.6 sur la base de mesurages supplémentaires, soit estimées à partir d'autres sources de données. D'autres influences significatives doivent également être prises en compte, par exemple, la résolution de l'affichage de l'instrument du système de mesure certifié.

Le certificat d'étalonnage peut comprendre des informations concernant à la fois l'incertitude de l'étalonnage, U_{cal}, et l'incertitude élargie relative de mesure de la valeur de la tension d'essai, U_M, lorsque le système de mesure certifié est utilisé dans des conditions prédéfinies déclarées.

Lorsque les hypothèses susmentionnées en 4.4.7.1 ne sont pas valides, les procédures données dans l'Annexe A ou, si nécessaire, dans le Guide ISO/IEC 98-3:2008, doivent être appliquées.

Le nombre N de contributions à l'incertitude de Type B peut différer selon les différents types de grandeurs d'essai (Articles 5 à 7, tensions et paramètres de temps).

4.4.8 Calcul d'incertitude de mesure des paramètres de temps (tensions de choc uniquement)

4.4.8.1 Généralités

Un système de mesure certifié pour les tensions de choc doit être capable de mesurer les paramètres de temps (T_1, T_2,) dans le domaine d'incertitude spécifié lorsque le paramètre s'inscrit dans sa plage spécifiée. Pour le temps de montée, il s'agit généralement de la période nominale. La preuve expérimentale peut être apportée soit par la méthode de comparaison, soit par la méthode des constituants.

NOTE L'estimation de l'incertitude des paramètres de temps produit une valeur d'incertitude absolue.

4.4.8.2 Incertitude de l'étalonnage des paramètres de temps

Les temps de montée T_1 des n tensions de choc doivent être évalués simultanément avec le système de mesure en essai, désigné par X, et le système de référence, désigné par N. Par hypothèse, l'erreur du système de mesure de référence est considérée comme négligeable. L'erreur moyenne des temps de montée est:

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

et l'écart-type expérimental est:

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

où $\Delta T_{1,i}$ est la $i^{ème}$ différence des temps de montée mesurée par les systèmes X et N.

Habituellement, $n = 10$ relevés indépendants au maximum sont nécessaires.

NOTE En général, les temps de montée sont évalués à partir des mêmes enregistrements de N et X, utilisés pour évaluer les valeurs de crête pour déterminer le coefficient de conversion (4.4.7).

L'incertitude-type de Type A est calculée à partir de $s(\Delta T_1)$:

$$u_A = \frac{s(\Delta T_1)}{\sqrt{n}}.$$

La comparaison est réalisée à un niveau de tension approprié en utilisant au moins deux temps de montée, y compris les valeurs minimale et maximale T_1 de la période nominale, pour laquelle le système de mesure doit être certifié. Une valeur supplémentaire T_1 située au

milieu de la période nominale peut être ajoutée. L'incertitude-type de Type A de mesure des paramètres de temps obtenue correspond à la plus grande des incertitudes-types individuelles déterminées pour les différentes valeurs de T_1. Pour chacune des différentes valeurs T_1, l'erreur moyenne $\Delta T_{1,j}$ est calculée comme décrit ci-dessus. La moyenne globale des $m \geq 2$ erreurs moyennes est:

$$\Delta T_{1\mathrm{m}} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^{m} \Delta T_{1,\mathrm{j}} .$$

La différence maximale entre les valeurs individuelles $\Delta T_{1,j}$ et leur valeur moyenne $\Delta T_{1\mathrm{m}}$ est retenue pour déterminer l'incertitude de Type B u_B par:

$$u_\mathrm{B} = \frac{1}{\sqrt{3}} \max_{j=1}^{m} \left| \Delta T_{1,\mathrm{j}} - \Delta T_{1\mathrm{m}} \right| .$$

Plus généralement, le système de mesure de référence N peut être caractérisé de la même manière par son erreur moyenne du temps de montée, désignée par $\Delta T_{1\mathrm{ref}}$, comme cela est déclaré dans son certificat d'étalonnage pour la période nominale. L'erreur résultante du système étalonné X lui-même pour les mesurages de temps de montée est:

$$\Delta T_{1\mathrm{cal}} = \Delta T_{1\mathrm{m}} + \Delta T_{1\mathrm{ref}} .$$

L'incertitude élargie de l'étalonnage des paramètres de temps, égale à celle de l'erreur moyenne résultante, $\Delta T_{1\mathrm{cal}}$, est déterminée par:

$$U_\mathrm{cal} = k \cdot u_\mathrm{cal} = 2 \sqrt{u_\mathrm{ref}^2 + u_\mathrm{A}^2 + u_\mathrm{B}^2} ,$$

où:

u_cal est l'incertitude-type composée de l'erreur moyenne de temps de montée, $\Delta T_{1\mathrm{cal}}$, du système de mesure étalonné;

$k = 2$ est le facteur d'élargissement pour une probabilité de couverture de 95 % environ et une loi normale;

u_ref est l'incertitude-type composée de l'erreur moyenne de temps de montée, $\Delta T_{1\mathrm{ref}}$, du système de mesure de référence;

u_A est l'incertitude-type de Type A de l'erreur moyenne de temps de montée, $\Delta T_{1\mathrm{m}}$, du système de mesure étalonné;

u_B est l'incertitude-type de Type B de l'erreur moyenne de temps de montée, $\Delta T_{1\mathrm{m}}$, du système de mesure étalonné.

Dans certains cas particuliers, les contributions supplémentaires à l'incertitude élargie U_cal peuvent être importantes et doivent être prises en considération.

4.4.8.3 Incertitude de mesure des paramètres de temps déterminée avec un système de mesure certifié

L'estimation de l'incertitude élargie de mesure des paramètres de temps relève de la responsabilité de l'utilisateur. Cependant, cette estimation peut être obtenue pour une plage définie de conditions de mesure conjointement avec le certificat d'étalonnage.

Si l'incertitude élargie de l'étalonnage des paramètres de temps est inférieure à 70 % de l'incertitude élargie de mesure des paramètres de temps spécifiée dans la présente norme, il

est généralement possible de considérer que l'incertitude du système de mesure certifié utilisé pour le mesurage des paramètres de temps U_M est égale à U_{cal}.

L'incertitude élargie de mesure des paramètres de temps U_M doit être calculée selon:

$$U_M = k \cdot u_M = 2\sqrt{u_{cal}^2 + \sum_{i=1}^{N} u_{Bi}^2} \ ,$$

où:

u_{cal} est l'incertitude-type composée de l'erreur moyenne de temps de montée, ΔT_{1cal}, du système de mesure étalonné;

$k = 2$ est le facteur d'élargissement pour une probabilité de couverture de 95 % environ et une loi normale;

u_{Bi} est la contribution à l'incertitude-type composée du paramètre de temps d'un choc déterminée avec le système de mesure certifié et due à la $i^{ème}$ grandeur d'influence, évaluée comme contribution de Type B. Ces contributions sont liées à l'utilisation normale du système de mesure certifié, et sont dues par exemple à des instabilités à long terme, à l'influence du logiciel, etc., mais également à l'influence de l'imperfection de leurs formes de choc. Elles sont déterminées selon 4.4.2 à 4.4.6, soit basées sur des mesurages supplémentaires, soit estimées à partir d'autres sources de données. Dans certaines situations, d'autres influences doivent également être prises en compte, par exemple, la résolution des affichages des instruments;

u_M est l'incertitude-type composée du paramètre de temps d'une tension de choc mesurée avec le système de mesure certifié, valable pendant une durée d'utilisation projetée.

Des contributions à l'incertitude élargie supplémentaires peuvent être importantes dans des cas particuliers et doivent être prises en compte pour calculer U_M, par exemple, lorsque des oscillations de front sont superposées à la tension de choc.

Lorsque le système de mesure certifié est utilisé pour mesurer des tensions de choc sans oscillations, le paramètre de temps mesuré $T_{1_{mes}}$ peut être corrigé par l'erreur résultante ΔT_{1cal} du paramètre de temps concerné, déterminée à l'étalonnage:

$$T_{1corr} = T_{1mes} - \Delta T_{1cal} \ .$$

Les mêmes procédures peuvent être appliquées à d'autres paramètres de temps.

5 Essais en tension continue

5.1 Généralités

Dans le secteur des matériels à basse tension, les essais diélectriques en tension continue ne peuvent pas être couverts par des essais en tension alternative pour lesquels la valeur de crête est égale à la tension d'essai continue. Ceci est dû aux différents effets de décharge partielle, de courants de fuite et de durée de contrainte sur l'isolement.

5.2 Tension d'essai

5.2.1 Exigences relatives à la tension d'essai

5.2.1.1 Forme de la tension

La tension d'essai, telle qu'elle est appliquée à l'objet en essai, doit être une tension continue ayant un facteur d'ondulation inférieur ou égal à 3 %, sauf spécification contraire du comité d'études concerné.

Le facteur d'ondulation doit être vérifié dans les conditions de charge les plus défavorables. Lorsque la forme de l'ondulation est proche d'une sinusoïde, les valeurs efficaces vraies multipliées par $\sqrt{2}$ sont acceptables pour la détermination de l'amplitude d'ondulation.

Il est important de maintenir la tension continue sans augmentation significative de l'ondulation et de conserver une valeur arithmétique moyenne constante de la tension jusqu'au courant de déclenchement.

5.2.1.2 Tolérance

Sauf spécification contraire du comité d'études concerné, une tolérance de $\pm$ 3 % entre les valeurs de la tension d'essai spécifiées et mesurées est acceptable tout au long de l'essai.

5.2.2 Production de la tension d'essai

La tension d'essai est généralement obtenue à l'aide de redresseurs ou par des circuits électroniques commandés. Les exigences auxquelles la source de tension d'essai doit satisfaire dépendent dans une large mesure du type d'appareil devant être soumis à l'essai et des conditions d'essai. Ces exigences sont déterminées principalement par la valeur et la nature du courant d'essai à fournir.

Il convient que les caractéristiques de la source permettent de charger la capacité de l'objet en essai en un temps raisonnablement court. Il convient que la source, y compris sa capacité d'accumulation, soit également capable de fournir les courants de fuite, d'absorption et de décharge partielle, afin de maintenir la tension d'essai dans les limites de tolérance de $\pm$ 3 %.

5.2.3 Mesurage de la tension d'essai

5.2.3.1 Exigences relatives à un système de mesure certifié

5.2.3.1.1 Généralités

L'exigence générale consiste à mesurer la valeur de la tension d'essai (valeur arithmétique moyenne) avec une incertitude élargie $U_{\mathrm{M}} \leq 3$ %.

Les limites d'incertitude ne doivent pas être dépassées en présence d'une ondulation dont l'amplitude se situe dans les limites spécifiées en 5.2.1.1, pour une charge purement résistive au courant maximal et à la tension d'essai minimale spécifiés.

NOTE L'attention est attirée sur la présence possible de tensions alternatives couplées au système de mesure et affectant le relevé de l'instrument de mesure.

5.2.3.1.2 Contributions à l'incertitude

Pour un système de mesure de tension continue, l'incertitude élargie de mesure U_{M} doit être évaluée avec une probabilité de couverture de 95 %, selon 4.4.7 et – si nécessaire – l'Annexe A et Annexe B. Les essais visant à l'évaluation des contributions à l'incertitude qui sont habituellement envisagées sont résumés dans le Tableau 1. D'autres contributions peuvent être importantes dans certains cas et doivent être également prises en compte.

5.2.3.1.3 Comportement dynamique pour la mesure des variations de tension

La constante de temps du système de mesure à haute tension ne doit pas être supérieure à 0,25 s pour le mesurage des tensions continues dont les taux d'augmentation et de baisse sont de l'ordre de 1 % de la valeur de la tension d'essai par seconde.

NOTE En général, les instruments utilisés pour le mesurage de la valeur de la tension d'essai (c'est-à-dire la moyenne arithmétique) ne sont pas affectés par l'ondulation existante. Toutefois, lorsque des instruments à réponse rapide sont utilisés, il peut être nécessaire de s'assurer que le mesurage n'est pas altéré par l'ondulation.

5.2.3.2 Essais sur un système de mesure certifié

Les essais selon 4.4, résumés dans le Tableau 1, sont nécessaires pour la qualification d'un système de mesure de tension continue, ainsi que pour l'estimation de l'incertitude élargie de mesure.

Les résultats des essais de type et individuels de série peuvent être issus des données du constructeur. Les essais individuels de série doivent être effectués sur chaque composant.

Tableau 1 – Essais exigés pour un système de mesure certifié de tension continue

Type d'essai	Essai de type	Essai individuel de série	Essai de détermination des caractéristiques
Influence de la charge	4.4.2		
Comportement dynamique	4.4.3		
Coefficient de conversion à l'étalonnage		4.4.1	4.4.1
Stabilité à court terme		4.4.4	
Stabilité à long terme	4.4.5		4.4.5 (le cas échéant)
Effet de la température ambiante	4.4.6		

5.3 Modalités d'essai

5.3.1 Essais de tension de tenue

La tension doit être appliquée à l'objet en essai à partir d'une valeur suffisamment basse pour éviter tout effet de surtension dû aux phénomènes transitoires de manœuvres. Il convient qu'elle augmente assez lentement pour permettre la lecture des instruments, mais sans qu'il en résulte pour autant une prolongation inutile de la contrainte sur l'objet en essai au voisinage de la tension d'essai.

Ces exigences sont, en général, satisfaites si la vitesse de montée est d'environ 5 % de la valeur finale estimée de la tension par seconde, lorsque la tension appliquée dépasse 75 % de cette tension. Elle doit être maintenue pendant la durée spécifiée puis diminuée en déchargeant le condensateur de lissage et l'objet en essai à travers une résistance appropriée.

La durée de l'essai à la tension d'essai spécifiée doit être de 60 s sauf spécification contraire du comité d'études concerné.

Il convient que la durée de l'essai prenne en considération le fait que la durée nécessaire pour atteindre l'état permanent de répartition de tension dépend des résistances et des capacités des composants de l'objet en essai.

Il convient que la polarité de la tension ou l'ordre dans lequel les tensions de chaque polarité sont appliquées, ainsi que tout écart exigé par rapport aux spécifications ci-dessus, soient spécifiés par le comité d'études concerné.

Sauf spécification contraire du comité d'études concerné, le courant de déclenchement du générateur doit être ajusté à 10 mA pour les essais de type des objets en essai.

Pour les essais individuels de série, le courant de déclenchement peut être ajusté à des niveaux inférieurs.

6 Essais en tension alternative

6.1 Tension d'essai

6.1.1 Exigences relatives à la tension d'essai

6.1.1.1 Forme d'onde de la tension

Il convient que la tension d'essai alternative, telle qu'elle est appliquée à l'objet en essai, ait une fréquence généralement comprise dans une plage entre 45 Hz et 65 Hz, appelée normalement tension d'essai à fréquence industrielle. Des essais spéciaux peuvent être exigés à des fréquences très inférieures ou très supérieures à cette plage, selon les spécifications d'un comité d'études.

La forme d'onde de la tension doit être voisine de celle d'une sinusoïde. Le rapport entre la valeur de crête et la valeur efficace est égal à $\sqrt{2} \pm 3$ %. La distorsion harmonique totale (THD) de la tension d'essai doit être inférieure à 5 %, dans des conditions de pleine charge.

La tension d'essai est la valeur efficace.

NOTE Dans le secteur des matériels à basse tension, la valeur efficace permet de spécifier la tension d'essai, bien que le facteur de claquage important soit la valeur de crête.

6.1.1.2 Tolérance

Sauf spécification contraire du comité d'études concerné, une tolérance de ± 3 % entre les valeurs de la tension d'essai spécifiées et mesurées est acceptable tout au long de l'essai.

6.1.2 Production de la tension d'essai

6.1.2.1 Exigences relatives au circuit d'essai

L'une des variantes suivantes doit être utilisée.

Variante A:

À la tension d'essai, le courant de court-circuit présumé au niveau de l'objet en essai et le courant de déclenchement du générateur doivent être conformes aux valeurs indiquées dans le Tableau 2.

Tableau 2 – Courants minimums du circuit d'ssai

Tension d'essai V	**Courants minimums** mA	
	courant de court-circuit présumé	**courant de déclenchement**
≤ 4 000	200	100
> 4 000 et ≤ 10 000	80	40
> 10 000	40	20
NOTE Les valeurs sont identiques à celles données dans l'IEC 60335.		

Lorsqu'une charge de capacité élevée limite la tension d'essai alternative, il peut se révéler nécessaire de réaliser en variante un essai en tension continue, pour lequel la tension d'essai continue est égale à la valeur de crête de la tension alternative. Il convient que le comité d'études concerné spécifie le moment convenable pour réaliser un essai en tension continue.

Variante B:

Lorsque la tension d'essai est obtenue par des circuits électroniques commandés, l'exigence consiste à fournir les courants de fuite, d'absorption et de décharge partielle sans que les baisses de tension ne dépassent 3 % au courant de déclenchement maximum selon le Tableau 2.

6.1.3 Mesurage de la tension d'essai

6.1.3.1 Exigences relatives à un système de mesure certifié

6.1.3.1.1 Généralités

L'exigence générale consiste à mesurer la valeur de la tension d'essai (valeur de crête/$\sqrt{2}$ ou valeur efficace) à sa fréquence assignée avec une incertitude élargie $U_{\mathrm{M}} \leq 3$ %.

6.1.3.1.2 Contributions à l'incertitude

Pour un système de mesure de tension alternative, l'incertitude élargie U_{M} doit être évaluée avec une probabilité de couverture de 95 %, selon 4.4.7. Les essais visant à l'évaluation des contributions à l'incertitude qui sont habituellement envisagées sont résumés dans le Tableau 3. D'autres contributions peuvent être importantes dans certains cas et doivent être également prises en compte.

6.1.3.1.3 Comportement dynamique

La réponse amplitude-fréquence d'un système de mesure, destiné à fonctionner à une seule fréquence fondamentale f_{nom}, doit se situer à l'intérieur de la zone marquée de la Figure 4, déduite des exigences relatives à l'incertitude. Les paires de nombres dans le diagramme indiquent la fréquence normalisée (échelle logarithmique) et l'écart correspondant aux coins des lignes limites. La performance doit être démontrée de f_{nom} à 7 f_{nom} par des essais ou une analyse de circuit. La réponse amplitude-fréquence à l'extérieur de cette plage est donnée uniquement à titre d'information.

Un système de mesure peut également être certifié pour une plage de fréquences fondamentales (par exemple, 45 Hz à 65 Hz). Dans ce cas, le coefficient de conversion doit être constant à 1 % près, de la fréquence fondamentale la plus basse f_{nom1} jusqu'à la fréquence fondamentale la plus haute f_{nom2}. La réponse amplitude-fréquence dans l'intervalle de f_{nom1} à 7 f_{nom2}, doit se situer dans la zone marquée de la Figure 5. Les paires de nombres dans le diagramme indiquent la fréquence normalisée et l'écart correspondant autorisé par rapport à la réponse idéale aux coins des lignes limites. La performance doit être démontrée de f_{nom1} à 7 f_{nom2} par des essais ou une analyse de circuit. La réponse amplitude-fréquence à l'extérieur de cette plage est donnée uniquement à titre d'information.

Des exigences spéciales sur le comportement dynamique peuvent être spécifiées par le comité d'études concerné.

NOTE 1 Les systèmes de mesure conformes à ces exigences sont réputés avoir une réponse en fréquence adaptée au mesurage de la distorsion harmonique totale (THD) sur la tension d'essai.

NOTE 2 La réponse en fréquence à l'extérieur de la zone marquée, bien qu'elle ne soit pas exigée, représente une bonne pratique.

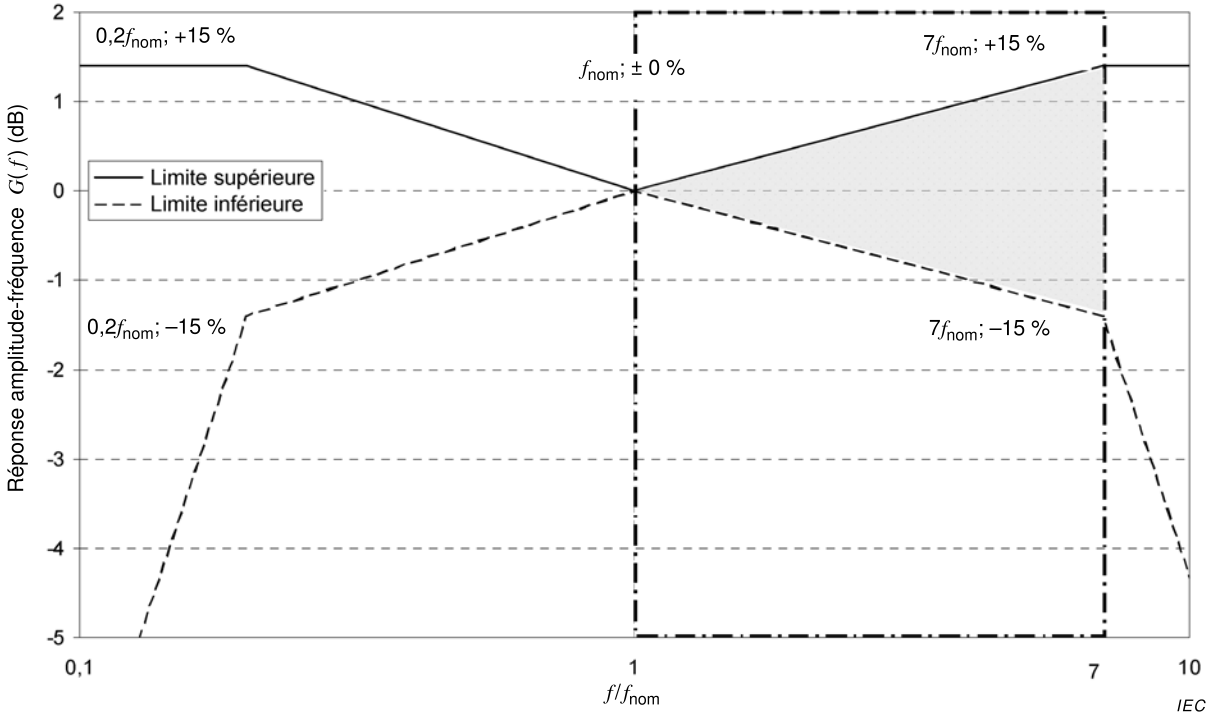


Figure 4 – Zone ombrée de réponses amplitude-fréquence normalisées acceptables de systèmes de mesure prévus pour des fréquences fondamentales uniques f_{nom} (à soumettre à l'essai dans la plage (1….7) f_{nom})

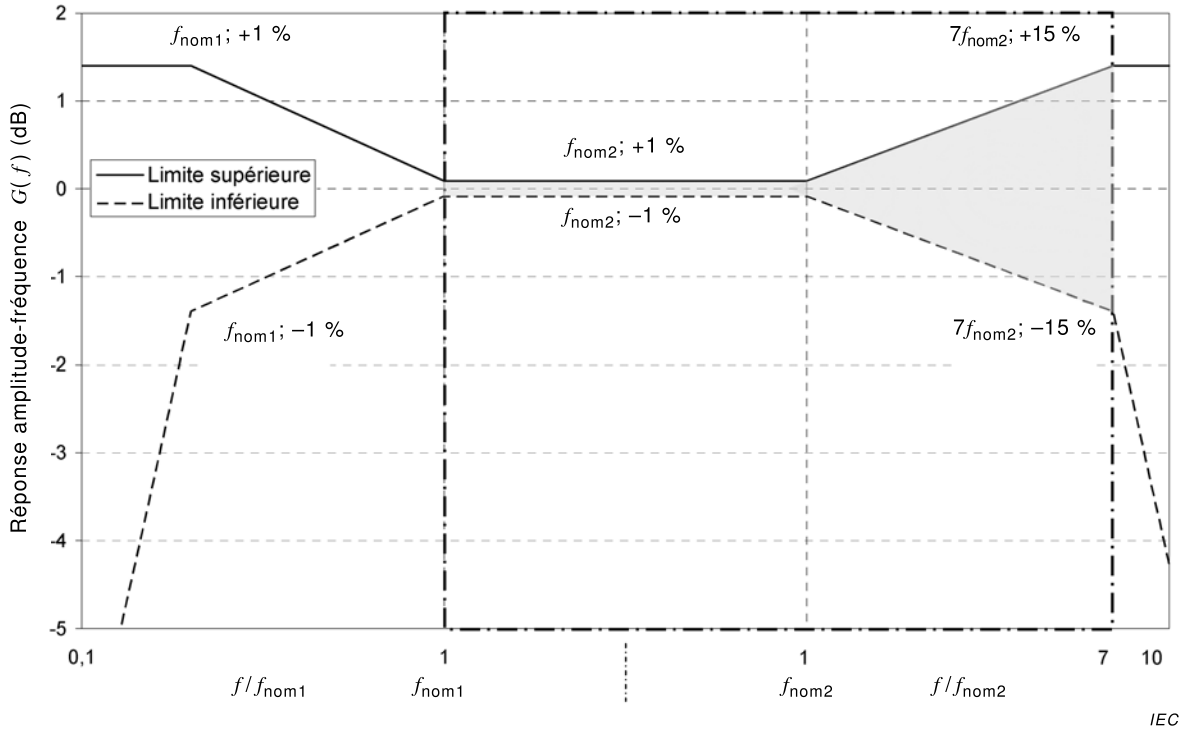


Figure 5 – Zone ombrée de réponses amplitude-fréquence normalisées acceptables de systèmes de mesure prévus pour une plage de fréquences fondamentales f_{nom1} à f_{nom2} (à soumettre à l'essai dans la plage f_{nom1} à 7 f_{nom2})

6.1.3.2 Essai de comportement dynamique

Pour déterminer le comportement dynamique, le système est soumis à une tension sinusoïdale d'entrée d'amplitude connue, habituellement faible, et la tension de sortie est mesurée. Ce mesurage est répété pour la plage de fréquences comprises entre 1 fois et 7 fois la fréquence d'essai. Le résultat doit être conforme à 6.1.3.1.

6.1.3.3 Essais sur un système de mesure certifié

Les essais selon 4.4, résumés dans le Tableau 3, sont nécessaires pour la qualification d'un système de mesure de tension alternative, ainsi que pour l'estimation de l'incertitude élargie de mesure.

Les résultats des essais de type et individuels de série peuvent être issus des données du constructeur. Les essais individuels de série doivent être effectués sur chaque unité.

Tableau 3 – Essais exigés pour un système de mesure certifié de tension alternative

Type d'essai	Essai de type	Essai individuel de série	Essai de détermination des caractéristiques
Coefficient de conversion à l'étalonnage		4.4.1	4.4.1
Influence de la charge	4.4.2		
Comportement dynamique	4.4.3/6.1.3.2		
Stabilité à court terme		4.4.4	
Stabilité à long terme	4.4.5		4.4.5 (le cas échéant)
Effet de la température ambiante	4.4.6		

6.2 Modalités d'essai

6.2.1 Essais de tension de tenue

La tension d'essai alternative doit être augmentée de manière uniforme entre une tension nulle (0 V) et la valeur de la tension d'essai dans un laps de temps de 5 s au maximum.

En l'absence de spécification du comité d'études concerné, la durée d'essai à la tension d'essai spécifiée doit être de 60 s et doit être indépendante de la fréquence dans la plage comprise entre 45 Hz et 65 Hz.

Pour les essais individuels de série, le courant de déclenchement peut être ajusté à des niveaux inférieurs.

Sauf spécification contraire du comité d'études concerné, les exigences de l'essai sont satisfaites si aucun déclenchement du matériel d'essai ne se produit.

Pour des raisons de sécurité, il convient de réduire le courant à 3 mA.

7 Essais avec tension de choc

7.1 Tension d'essai

7.1.1 Généralités

Pour un système de mesure des chocs, les essais de détermination des caractéristiques indiquent également que ses caractéristiques dynamiques sont adaptées aux mesurages spécifiés et que le niveau de toute perturbation est inférieur aux limites spécifiées.

7.1.2 Exigences relatives à la tension d'essai

7.1.2.1 Tension de choc normalisée

Il s'agit d'une tension de choc pleine lisse ayant un temps de montée de 1,2 μs et une durée jusqu'à la mi-valeur de 50 μs, définie comme une tension de choc de 1,2/50 à la Figure 6. Les autres formes de choc peuvent être spécifiées par le comité d'études concerné. Pour d'autres formes de choc, le comité d'études concerné doit définir la valeur de la tension d'essai, en tenant compte du type d'essai et de l'objet en essai.

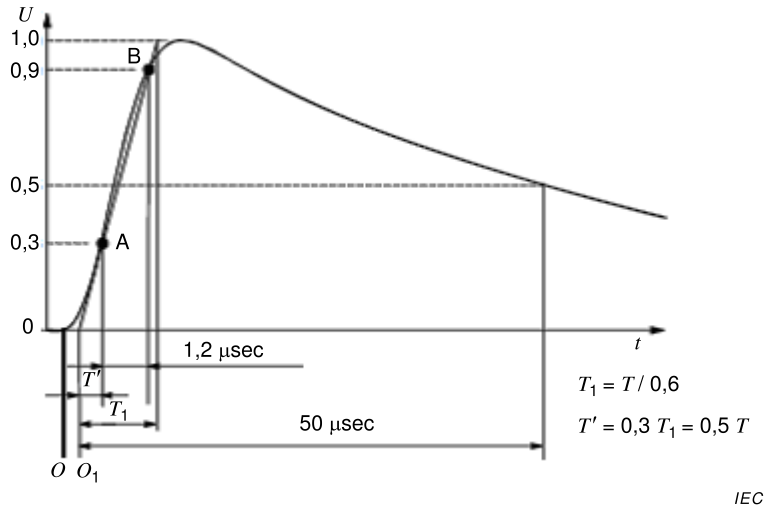


Figure 6 – Tension de choc normalisée de 1,2/50 µs

7.1.2.2 Tolérances sur le choc normalisé

Sauf décision contraire du comité d'études concerné, les différences suivantes sont acceptées entre les valeurs spécifiées pour le choc normalisé et les valeurs calculées à partir de la forme d'onde de choc:

Valeur de crête	±3 %
Temps de montée	±30 %
Durée jusqu'à la mi-valeur	±20 %

Dans les circuits générateurs de chocs usuels, des oscillations sur la partie du front de choc pendant laquelle la tension ne dépasse pas 90 % de la valeur de crête ont généralement un effet négligeable sur les résultats d'essai. Il convient que le choc soit essentiellement unipolaire.

Dans des cas particuliers (lors d'essais sur des objets ayant une faible impédance, par exemple, des gros condensateurs), il peut être impossible d'ajuster la forme du choc, en respectant les tolérances recommandées, pour conserver les oscillations dans les limites

spécifiées, ou pour éviter une inversion de polarité. Il convient que de tels cas soient traités par le comité d'études concerné et tiennent compte des dispositions de l'IEC 60060-1.

7.1.3 Production de la tension d'essai

Le choc est généralement produit par un générateur de chocs qui est constitué essentiellement d'un certain nombre de condensateurs chargés en parallèle par une source de tension continue, puis mis en série et déchargés dans un circuit produisant les chocs qui inclut l'objet en essai.

7.1.4 Mesurage de la tension d'essai et détermination de la forme du choc

Le mesurage de la valeur de la tension d'essai et des paramètres de temps de la tension d'essai doit être réalisé au moyen de systèmes de mesure certifiés. Le mesurage doit être effectué avec l'objet en essai dans le circuit et, en général, la forme du choc doit être contrôlée pour chaque objet en essai. Lorsque plusieurs objets en essai de mêmes caractéristiques et de mêmes dimensions sont soumis aux essais dans des conditions identiques, la forme du choc ne nécessite qu'une seule vérification. Lorsqu'une charge de capacité élevée ne permet pas d'obtenir la forme d'onde de choc dans les tolérances spécifiées, il peut être nécessaire d'adapter la configuration d'essai ou les dispositifs correspondants.

NOTE Pour une décharge disruptive, voir l'Article 7 de l'IEC 60060-1:2010.

Le mesurage peut être effectué sans raccorder le générateur de chocs à l'objet en essai lorsque l'impédance de ce dernier a un effet négligeable sur l'amplitude et la forme d'onde de la tension d'essai. Ceci doit être vérifié avant d'appliquer cette technique de mesure.

La détermination de la forme du choc par calcul à partir des paramètres du circuit d'essai n'est pas reconnue comme une technique adaptée.

Deux chocs ou plus peuvent être nécessaires pour établir un fonctionnement cohérent.

7.2 Modalités d'essai

7.2.1 Vérification de la forme d'onde de la tension de choc

La forme d'onde de la tension de choc appliquée à un ou des objets en essai doit être vérifiée en utilisant des valeurs de crête non inférieures à 50 % du niveau de tension d'essai. Dans le cas d'objets en essai identiques, il est nécessaire d'effectuer cette vérification uniquement une seule fois au début de la série.

7.2.2 Essais de tension de choc

Cinq chocs de la forme spécifiée et de chaque polarité doivent être appliqués à la tension de choc. Les exigences de l'essai sont satisfaites si aucune indication de décharge disruptive ou de claquage partiel n'est constatée.

NOTE 1 Des décharges disruptives non entretenues pendant lesquelles l'objet en essai est momentanément court-circuité par une étincelle ou un arc peuvent se produire. Pendant ces événements, la tension aux bornes de l'objet en essai est momentanément réduite à zéro ou à une valeur très faible. Selon les caractéristiques du circuit d'essai et de l'objet en essai, la rigidité diélectrique peut être rétablie et peut même permettre à la tension d'essai d'atteindre une valeur plus élevée. Un tel événement est considéré comme une décharge disruptive sauf spécification contraire du comité d'études concerné.

NOTE 2 Une décharge disruptive dans un diélectrique solide occasionne la perte définitive de la rigidité diélectrique; dans un diélectrique liquide ou gazeux, cette perte peut n'être que momentanée.

Le comité d'études concerné doit spécifier les critères pour l'identification et l'évaluation des claquages partiels, le cas échéant.

7.3 Mesurage de la tension d'essai

7.3.1 Exigences relatives à un système de mesure certifié

Les exigences générales sont les suivantes:

mesurer la valeur de la tension d'essai avec une incertitude élargie $U_{M1} \leq 3$ %;

mesurer les paramètres de temps qui définissent la forme d'onde avec une incertitude élargie $U_{M3} \leq 10$ %.

NOTE Aucune recommandation n'est fournie pour le mesurage de la chute de tension étant donné qu'aucun comité IEC en charge des appareils n'a encore spécifié d'exigence.

7.3.2 Contributions à l'incertitude

Pour un système de mesure de tension de choc de foudre, l'incertitude élargie de mesure U_M doit être évaluée avec une probabilité de couverture de 95 %. Les essais visant à l'évaluation des contributions à l'incertitude qui sont habituellement envisagées sont résumés dans le Tableau 4. D'autres contributions peuvent être importantes dans certains cas et doivent être également prises en compte.

7.3.3 Comportement dynamique

Le comportement dynamique d'un système de mesure est adapté au mesurage de la tension de crête et des paramètres de temps sur la période nominale pour les formes d'onde spécifiées dans le recueil de caractéristiques lorsque l'incertitude élargie de mesure des paramètres de temps n'est pas supérieure à 10 %.

Tableau 4 – Essais exigés pour un système de mesure certifié de tension de choc

Type d'essai	Essai de type	Essai individuel de série	Essai de détermination des caractéristiques
Coefficient de conversion à l'étalonnage		4.4.1	4.4.1
Paramètre de temps		4.4.8	4.4.8
Influence de la charge	4.4.2		
Comportement dynamique	4.4.3		
Stabilité à court terme		4.4.4	
Stabilité à long terme	4.4.5		4.4.5 (le cas échéant)
Effet de la température ambiante	4.4.6		

7.3.4 Exigences relatives à l'instrument de mesure

L'instrument de mesure doit être conforme à l'IEC 61083-1 et à l'IEC 61083-2.

8 Systèmes de mesure de référence

8.1 Exigences relatives aux systèmes de mesure de référence

8.1.1 Tension continue

Le système de mesure de référence doit permettre le mesurage de tensions continues avec une incertitude élargie $U_M \leq 1$ % dans sa plage d'utilisation. L'incertitude ne doit pas être influencée par un facteur d'ondulation jusqu'à 3 %.

8.1.2 Tension alternative

Le système de mesure de référence doit permettre le mesurage de tensions alternatives avec une incertitude élargie $U_M \leq 1$ % dans sa plage d'utilisation.

8.1.3 Tensions de choc

Selon l'IEC 60060-2, les exigences relatives à un système de mesure de référence des tensions de choc sont ≤ 1 % pour la valeur de crête et ≤ 5 % pour les paramètres de temps.

8.2 Étalonnage d'un système de mesure de référence

8.2.1 Généralités

La conformité d'un système de mesure de référence aux exigences correspondantes données en 8.1 de la présente Norme doit être démontrée par la méthode de référence.

8.2.2 Méthode de référence: mesurage comparatif

La caractéristique de fonctionnement satisfaisante d'un système de mesure de référence doit être démontrée par étalonnage par rapport à un autre système de mesure de référence approprié, qui est lui-même traçable par rapport à des étalons de mesure nationaux ou internationaux.

La caractéristique de fonctionnement satisfaisante d'un système de mesure de référence de choc doit être démontrée par étalonnage par des mesurages comparatifs à la tension d'essai appropriée avec des formes d'ondes de deux temps de montée ou plus couvrant la plage de la période nominale.

8.3 Intervalle entre les étalonnages successifs des systèmes de mesure de référence

L'intervalle entre les étalonnages doit être déterminé selon les réglementations nationales. En l'absence de réglementation, la recommandation spécifie que les étalonnages doivent être répétés au moins une fois par an.

8.4 Utilisation des systèmes de mesure de référence

Il convient d'utiliser les systèmes de mesure de référence uniquement pour des mesurages comparatifs dans les essais de détermination des caractéristiques. Toutefois, un système de mesure de référence peut être utilisé comme système de mesure certifié à condition qu'il reste conforme aux exigences de la présente norme, et que cette utilisation n'affecte pas ses caractéristiques en tant que système de référence. Un système de mesure certifié peut ne pas être utilisé comme système de mesure de référence.

Annexe A
(informative)

Incertitude de mesure

A.1 Généralités

Une procédure simplifiée d'évaluation de l'incertitude de mesure dans des conditions généralement applicables et totalement suffisantes dans les mesurages de haute tension est décrite en 4.4. Toutefois dans certains cas, il peut être nécessaire ou souhaitable d'évaluer les incertitudes de façon plus complexe. L'Annexe A fournit une étude sur les modalités à suivre dans ces cas, et l'Annexe B décrit un exemple d'application.

Chaque mesurage d'une grandeur est à un certain degré imparfait, et le résultat d'un mesurage n'est qu'une approximation ("estimation") de la valeur "vraie" du mesurande. L'incertitude de mesure donne une indication claire sur la qualité d'un mesurage. Elle permet à l'utilisateur de comparer et pondérer les résultats de mesure, par exemple, obtenus de laboratoires différents, et elle donne des informations sur le fait de déterminer si un résultat de mesure s'inscrit ou non dans les limites spécifiées par une norme. Un Guide pour l'expression de l'Incertitude de Mesure (GUM) a été publié une première fois en 1993 par l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO) et a fait l'objet d'une nouvelle édition en 2008, avec des modifications mineures, en tant que Guide ISO/IEC 98-3:2008. Il constitue désormais le document accepté à l'échelle internationale pour l'estimation de l'incertitude de mesure.

Le GUM, en sa qualité de guide, fournit des règles générales pour l'évaluation et l'expression de l'incertitude dans un large spectre de mesures à divers niveaux d'incertitude. Il est donc nécessaire d'extraire du GUM un ensemble de règles spécifiques qui traitent du domaine spécifique des mesurages de haute tension et de son niveau d'exactitude et de complexité. Selon les principes fondamentaux du GUM, les incertitudes sont groupées en deux catégories en fonction de leurs méthodes d'évaluation. Ces deux méthodes sont basées sur des lois de probabilité des grandeurs qui influencent le mesurage et sur des incertitudes-types quantifiées par les variances ou les écarts-types. Cela permet un traitement uniforme des deux catégories d'incertitudes et une évaluation d'une incertitude-type composée du mesurande. Dans le domaine d'application de la présente Norme, une incertitude élargie correspondant à une probabilité de couverture de 95 % environ est exigée.

Les principes fondamentaux du GUM et des exemples de la façon de déterminer les incertitudes dans les mesurages de haute tension sont présentés dans les articles suivants. Les formules et les exemples donnés ici sont valides pour des grandeurs d'entrée non corrélées, ce qui est souvent le cas dans les mesurages de haute tension.

A.2 Termes et définitions en complément à celles de 3.7

A.2.1
grandeur mesurable
attribut d'un phénomène, d'un corps ou d'une substance qui peut être distingué qualitativement et déterminé quantitativement

A.2.2
valeur d'une grandeur
amplitude d'une grandeur particulière généralement exprimée sous la forme d'une unité de mesure multipliée par un nombre

A.2.3
mesurande
grandeur spécifique soumise à mesurage

A.2.4
variance
espérance mathématique du carré de l'écart d'une variable aléatoire autour de son espérance mathématique

A.2.5
corrélation
relation entre deux variables aléatoires ou plus dans une distribution de deux variables aléatoires ou plus

A.2.6
probabilité de couverture
fraction, habituellement grande, d'une distribution de valeurs qui, en tant que résultat d'un mesurage, pourrait être raisonnablement attribuée au mesurande

A.3 Fonction-modèle

Chaque mesurage peut être décrit par une relation fonctionnelle f :

$$Y = f\left(X_1, X_2, \ldots, X_i, \ldots, X_N\right) \tag{A.1}$$

où Y est le mesurande et X_i sont les différentes grandeurs d'entrée numérotées de 1 à N. Au sens du GUM, la fonction-modèle f comprend toutes les valeurs de mesure, toutes les grandeurs d'influence, toutes les corrections, tous les facteurs de correction, toutes les constantes physiques, et toutes autres données qui peuvent contribuer dans une large mesure à la valeur de Y et à son incertitude. Elle peut se présenter sous la forme d'une expression analytique ou numérique unique ou multiple, ou d'une combinaison des deux. En général, les grandeurs d'entrée X_i sont des variables aléatoires et sont décrites par des observations x_i (”estimations d'entrée”) ayant des lois de probabilité spécifiques et étant associées à des incertitudes-types $u(x_i)$ de Type A ou de Type B. La combinaison de ces deux types d'incertitudes selon les règles du GUM donne l'incertitude-type $u(y)$ de l'estimation de sortie y.

NOTE 1 La fonction-modèle f dans (A.1) est également valide pour les estimations d'entrée et de sortie x_i et $\mathbf{y}$, respectivement.

NOTE 2 Dans une série d'observations, la k'^{ème} valeur observée de la grandeur X_i est désignée par x_{ik}.

A.4 Évaluation de Type A de l'incertitude-type

La méthode d'évaluation de Type A est appliquée à des grandeurs qui varient de façon aléatoire et pour lesquelles n observations indépendantes ont été obtenues dans les mêmes conditions de mesure. En général, il est possible de considérer par hypothèse une loi normale (gaussienne) de probabilité des n observations x_{ik} (Figure A.1).

NOTE X_i peut être un coefficient de conversion, une valeur de tension d'essai ou un paramètre de temps avec les observations x_{ik}.

La valeur arithmétique moyenne $\bar{x}_i$ des observations x_{ik} est définie par:

$$\bar{x}_i = \frac{1}{n}\sum_{k=1}^{n} \bar{x}_{ik} \ , \tag{A.2}$$

qui est réputée être la meilleure estimation de X_i. Son incertitude-type de Type A est égale à l'écart-type expérimental de la moyenne:

$$u(\bar{x}_i) = s(\bar{x}_i) = \frac{s(x_i)}{\sqrt{n}} \tag{A.3}$$

où $s(x)$ est l'écart-type expérimental (des valeurs individuelles):

$$s(x_i) = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{k=1}^{n}(x_{ik} - \bar{x}_i)^2} \ . \tag{A.4}$$

Les valeurs quadratiques de $s^2(x_i)$ et $s^2(\bar{x}_i)$ sont respectivement appelées variances d'échantillons et variances de la moyenne. Il convient que le nombre d'observations soit $n \geq 10$, sinon la fiabilité d'une évaluation de Type A de l'incertitude-type doit être vérifiée au moyen des degrés de liberté réels (voir l'Article A.8).

Dans certains cas, une estimation cumulée de la variance sp2 peut être obtenue à partir d'un grand nombre d'observations antérieures dans des conditions bien définies. L'incertitude-type d'une mesure comparable avec un petit nombre n (n = 1, 2, 3, …) est alors mieux estimée par $u(\bar{x}_i) = s_p / \sqrt{n}$ que par la formule (A.3).

A.5 Évaluation de Type B de l'incertitude-type

La méthode d'évaluation de Type B s'applique à tous les cas autres que l'analyse statistique d'une série d'observations. L'incertitude-type de Type B est évaluée par une estimation scientifique basée sur toutes les informations disponibles concernant la variabilité possible d'une grandeur d'entrée X_i avec les observations x_i, telles que:

- la méthode d'évaluation des grandeurs,
- l'incertitude d'étalonnage du système de mesure et ses composants,
- la non-linéarité des diviseurs et instruments de mesure,
- le comportement dynamique, par exemple, la variation du coefficient de conversion avec la fréquence ou avec la forme des chocs,
- la stabilité à court terme, l'autoéchauffement,
- la stabilité à long terme, la dérive,
- les conditions ambiantes pendant le mesurage,
- l'effet de proximité des objets limitrophes,
- les effets dus au logiciel utilisé dans les instruments ou dans l'évaluation des résultats,
- la résolution limitée des instruments numériques, le relevé des instruments analogiques.

Les informations sur les grandeurs d'entrée et les incertitudes peuvent être obtenues à partir de mesurages réels et antérieurs, de certificats d'étalonnage, de données contenues dans des manuels et des normes, de spécifications du constructeur ou de la connaissance des caractéristiques des matériaux ou instruments pertinents. Les cas suivants d'évaluation de Type B des incertitudes peuvent être identifiés:

a) Souvent une seule valeur d'entrée x_i et son incertitude-type $u(x_i)$ sont connues, par exemple, une seule valeur mesurée, une valeur de correction ou une valeur de référence extraite des ouvrages de référence. Cette valeur et son incertitude seront adoptées dans la fonction-modèle (A.1). Dans le cas où $u(x_i)$ est inconnue, elle doit être calculée à partir d'autres données d'incertitude pertinentes ou estimée sur la base de l'expérience.

b) L'incertitude d'un dispositif est indiquée comme une incertitude-type multipliée par le facteur d'élargissement k, par exemple, l'incertitude-type élargie U d'un voltmètre

numérique dans un certificat d'étalonnage (Article A.7). Lorsque le voltmètre est utilisé dans un système de mesure complexe, sa contribution à l'incertitude est:

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

où k est le facteur d'élargissement. Au lieu d'exprimer l'incertitude élargie et le facteur d'élargissement, une expression sur le niveau de confiance peut être déterminée, par exemple, 68,3 %, 95,45 % ou 99,7 %. En général, il est possible de considérer par hypothèse une loi normale selon la Figure A.1 et l'expression sur le niveau de confiance équivaut au facteur d'élargissement k = 1, 2 ou 3, respectivement.

c) La valeur x_i d'une grandeur d'entrée X_i est estimée comprise dans l'intervalle a_- à a_+ avec une certaine loi de probabilité $p(x_i)$. Il n'y a souvent pas de connaissance spécifique de $p(x_i)$ et il est alors considéré par hypothèse une loi rectangulaire des valeurs probables (Figure A.2). La valeur attendue de X_i est alors le point milieu $\overline{x_i}$ de l'intervalle:

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

et l'incertitude-type associée:

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

où $a = (a_+ - a_-)/2$.

Dans certains cas, d'autres lois de probabilité peuvent être plus appropriées, telles que des lois trapézoïdales, triangulaires ou normales.

NOTE L'incertitude-type est $u(x_i) = a/\sqrt{6}$ pour la loi triangulaire et $u(x_i) = \sigma$ pour la loi normale. Cela signifie que la loi rectangulaire donne une plus grande incertitude-type que les autres lois.

Le Guide ISO/IEC 98-3:2008 indique qu'il convient de ne pas compter deux fois une incertitude-type de Type B si l'effet particulier a déjà contribué à une incertitude de Type A. En outre, il convient que l'évaluation de l'incertitude soit réaliste et basée sur les incertitudes-types, en évitant d'utiliser des coefficients de sécurité personnels ou autres pour obtenir des incertitudes plus élevées que celles qui sont évaluées selon le GUM. Une grandeur d'entrée X_i doit souvent être ajustée ou corrigée pour éliminer des effets systématiques d'amplitude significative, par exemple, sur la base d'une dépendance à la température ou à la tension. Cependant, l'incertitude $u(x_i)$ associée à cette correction doit toujours être prise en compte.

Le double comptage des contributions à l'incertitude peut se produire lorsqu'un enregistreur numérique est utilisé pour des mesurages de chocs répétitifs, par exemple, lors de l'étalonnage du coefficient de conversion. La dispersion des n valeurs de mesure produisant une incertitude-type de Type A peut être due partiellement à la résolution limitée de l'enregistreur et à son bruit interne. Il est inutile de reprendre en considération la résolution dans sa totalité, mais il est en revanche utile de tenir compte d'une petite partie de celle-ci comme incertitude de Type B résiduelle. Toutefois, si l'enregistreur numérique est utilisé ensuite au cours d'un essai de tension de choc pour obtenir une seule valeur de mesure, la résolution limitée doit être prise en considération dans une incertitude de Type B.

L'évaluation des incertitudes de Type B exige une connaissance approfondie et une vaste expérience des relations physiques, grandeurs d'influence et techniques de mesure concernées. Étant donné que l'évaluation proprement dite n'est pas une science exacte qui conduit à une solution unique, il n'est pas rare que des techniciens d'essai expérimentés puissent estimer le processus de mesure d'une manière différente et obtenir des valeurs d'incertitudes de Type B différentes.

A.6 Incertitude-type composée

Chaque incertitude-type $u(x_i)$ de l'estimation x_i de chaque grandeur d'entrée X_i évaluée par la méthode de Type A ou de Type B contribue à l'incertitude-type de la grandeur de sortie par:

$$u_{\mathrm{i}}(y) = c_{\mathrm{i}}\, u(x_{\mathrm{i}}) \tag{A.8}$$

où c_{i} est le coefficient de sensibilité. Il décrit comment l'estimation de sortie y est influencée par de faibles variations de l'estimation d'entrée x_i. Il peut être évalué directement comme la dérivée partielle de la fonction-modèle f:

$$c_{\mathrm{i}} = \frac{\partial f}{\partial X_{\mathrm{i}}}\Big|_{X_{\mathrm{i}}=x_{\mathrm{i}}} = \frac{\partial f}{\partial x_{\mathrm{i}}}, \tag{A.9}$$

ou à l'aide de méthodes numériques et expérimentales équivalentes. Le signe de c_i peut être positif ou négatif. Lorsque les grandeurs d'entrée ne sont pas corrélées, il est inutile de tenir davantage compte du signe, car seule la valeur quadratique des incertitudes-types est utilisée dans les étapes suivantes.

Les N incertitudes-types $u_i(y)$ définies par la formule (A.8) contribuent à une incertitude-type composée $u_{\mathrm{c}}(y)$ de la grandeur de sortie selon la “loi de propagation de l'incertitude”:

$$u_{\mathrm{c}}^{\,2}(y) = u_{1}^{\,2}(y) + u_{2}^{\,2}(y) + \ldots + u_{\mathrm{N}}^{2}(y) = \sum_{i=1}^{N} u_{\mathrm{i}}^{\,2}(y) \tag{A.10}$$

à partir de laquelle $u_{\mathrm{c}}(y)$ est évaluée comme la racine carrée positive:

$$u_{\mathrm{c}}(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^{N} u_{\mathrm{i}}^{\,2}(y)} = \sqrt{\sum_{i=1}^{N} [c_{\mathrm{i}}\, u(x_{\mathrm{i}})]^2}\ . \tag{A.11}$$

Si la grandeur de sortie Y est un produit ou un quotient des grandeurs d'entrée X_i une relation similaire telle que présentée en (A.10) et (A.11) peut être obtenue pour les incertitudes relatives $u_{\mathrm{c}}(y)/|y|$ et $u(x_i)/|x_i|$. La loi de propagation de l'incertitude s'applique ainsi aux deux types de la fonction-modèle pour des grandeurs d'entrée non corrélées.

En présence d’une corrélation, la loi de propagation de l'incertitude comporte des termes linéaires et le signe des coefficients de sensibilité devient pertinent. Il y a corrélation lorsque, par exemple, le même instrument est utilisé pour mesurer deux grandeurs d'entrée ou plus. Pour éviter de compliquer le calcul, la corrélation peut être éliminée en ajoutant des grandeurs d'entrée supplémentaires dans la fonction-modèle f avec les corrections et incertitudes appropriées. Dans certains cas, la présence de grandeurs d'entrée corrélées peut même réduire l'incertitude composée. La prise en compte de la corrélation constitue ainsi le principe essentiel applicable à une analyse élaborée des incertitudes pour obtenir une estimation très exacte de l'incertitude. La corrélation n'est pas davantage expliquée dans la présente norme.

A.7 Incertitude élargie

Dans le domaine des mesurages de haute tension et de courant élevé, comme dans la plupart des autres applications industrielles, une déclaration d'incertitude correspondant à une probabilité de couverture de p = 95 % environ est exigée. Cela s'obtient en multipliant l'incertitude-type composée $u_{\mathrm{c}}(y)$ dans (A.11) par un facteur d'élargissement k:

$$U = ku_c(y), \tag{A.12}$$

où U est l'incertitude élargie. Le facteur d'élargissement k = 2 est utilisé dans les cas où une loi normale peut être attribuée à y et où $u_c(y)$ a une fiabilité suffisante, c'est-à-dire que les degrés de liberté réels de $u_c(y)$ sont suffisamment élevés (voir l'Article A.8). Sinon, une valeur $k > 2$ doit être déterminée pour obtenir p = 95 %.

NOTE 1 Certaines normes plus anciennes utilisent le terme “incertitude globale”. Dans la majorité des cas, ce terme est interprété comme une incertitude élargie U avec le facteur d'élargissement égal à 2.

NOTE 2 Dans la mesure où les incertitudes sont définies comme des nombres positifs, le signe de U est toujours positif. Naturellement, dans les cas où U est utilisé au sens d'intervalle d'incertitude, il est désigné par k comme $\pm U$.

A.8 Degrés de liberté réels

L'hypothèse d'une loi normale de l'incertitude élargie est, en général, valide lorsque plusieurs (c'est-à-dire $N \geq 3$) composantes d'incertitude de valeur comparable et de loi de probabilité bien définie (gaussienne, rectangulaire, etc.) contribuent à l'incertitude-type composée et lorsque l'incertitude de Type A est basée sur $n \geq 10$ observations répétées. Ces conditions sont remplies dans de nombreux étalonnages de systèmes de mesure de tension. Lorsque l'hypothèse d'une loi normale n'est pas justifiée, une valeur de $k > 2$ doit être évaluée pour obtenir une probabilité de couverture de 95 % environ. Le facteur d'élargissement approprié peut être évalué sur la base des degrés de liberté réels v_{eff} de l'incertitude-type $u_c(y)$:

$$v_{\text{eff}} = \frac{u_c^4(y)}{\sum_{i=1}^{N} \frac{u_i^4(y)}{v_i}}, \tag{A.13}$$

où $u_i(y)$ est donné par l'équation (A.8) pour i = 1, 2, ..., N et v_i sont les degrés de liberté correspondants. Les valeurs fiables de v_i sont les suivantes:

- $v_i = n - 1$ pour une incertitude de Type A basée sur n observations indépendantes,
- $v_i \geq 50$ pour une incertitude de Type B prise dans un certificat d'étalonnage, et lorsque la probabilité de couverture est déclarée ne pas être inférieure à 95 %,
- $v_i = \infty$ pour une incertitude de Type B en prenant pour hypothèse une loi rectangulaire (Figure A.2) entre a_- et a_+

Les degrés de liberté réels peuvent alors être calculés par la formule (A.13) et le facteur d'élargissement peut être pris dans le Tableau A.1 qui est basé sur une loi de t évaluée pour une probabilité de couverture de p = 95,45 %. Si v_{eff} n'est pas un nombre entier, interpoler ou tronquer la valeur de v_{eff} au nombre entier immédiatement inférieur.

Tableau A.1 – Facteur d'élargissement k pour les degrés de liberté réels v_{eff} (p = 95,45 %)

v_{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

A.9 Bilan d'incertitude

Le bilan d'incertitude de mesure est une analyse détaillée de toutes les sources et valeurs d'incertitude selon la fonction-modèle f. Il convient de conserver les données pertinentes en vue d'un examen sous la forme d'un tableau identique ou comparable au Tableau A.2. La

dernière ligne indique les valeurs du résultat de mesure y, l'incertitude composée $u_c(y)$ et les degrés de liberté réels v_{eff}.

Tableau A.2 – Représentation schématique d'un bilan d'incertitude

Grandeur	Valeur	Contribution à l'incertitude-type	Degrés de liberté	Coefficient de sensibilité	Contribution à l'incertitude-type composée
X_i	x_i	$u(x_i)$	v_i / v_{eff}	c_i	$u_i(y)$
X_1	x_1	$u(x_1)$	v_1	c_1	$u_1(y)$
X_2	x_2	$u(x_2)$	v_2	c_2	$u_2(y)$
:	:	:	:	:	:
X_N	x_N	$u(x_N)$	v_N	c_N	$u_N(y)$
Y	y		v_{eff}		$u_c(y)$

NOTE Des logiciels validés sont disponibles dans le commerce ou peuvent être développés par l'utilisateur à partir de logiciels généraux qui permettent de calculer automatiquement les grandeurs du Tableau A.2 à partir de l'équation-modèle f.

A.10 Expression du résultat de mesure

Dans les certificats d'étalonnage et d'essai, le mesurande Y doit être exprimé sous la forme $y \pm U$ pour une probabilité de couverture (ou niveau de confiance) de p = 95 % environ. La valeur numérique de l'incertitude élargie U doit être arrondie pour donner deux chiffres significatifs au maximum. Si l'arrondi par défaut réduit la valeur de plus de 0,05 U, la valeur arrondie par excès doit être utilisée. La valeur numérique de y doit être arrondie au chiffre le moins significatif qui serait susceptible d'être affecté par l'incertitude élargie.

EXEMPLE 1 Le résultat de mesure de tension est exprimé de l'une des façons suivantes:

(227,2 ± 2,4) kV,

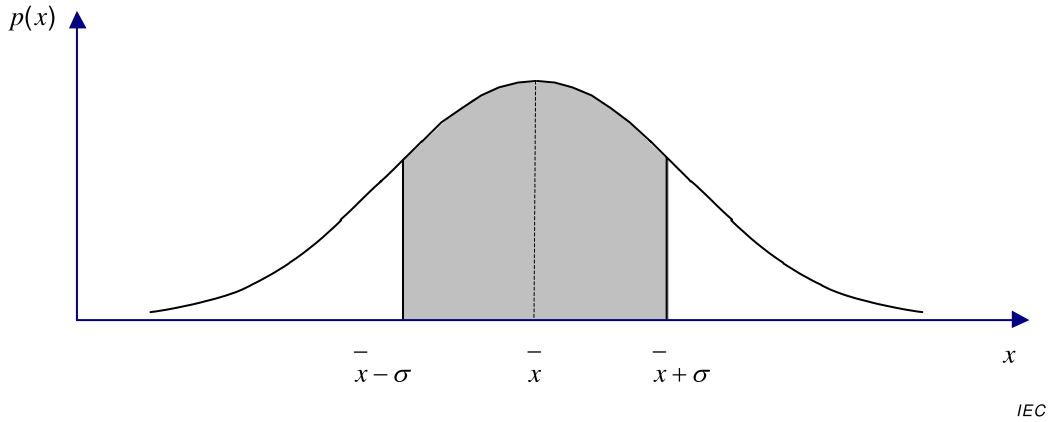
227,2 × (1 ± 0,011) kV, ou

227,2 × (1 ± 1,1·10^{-2}) kV.

Il convient d'ajouter une note explicative pour indiquer la probabilité de couverture p et le facteur d'élargissement k.

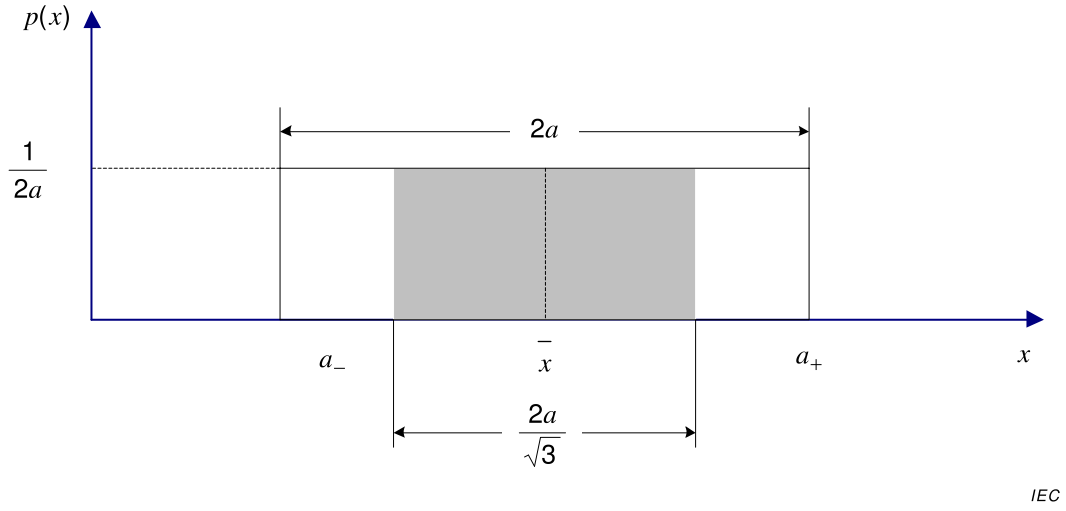
EXEMPLE 2 Le libellé complet suivant est recommandé (les termes entre parenthèses s'appliquent dans les cas où $v_{eff} < 50$, c'est-à-dire $k > 2,05$ selon le Tableau A.1):

"L'incertitude élargie de mesure indiquée correspond à l'incertitude de mesure multipliée par le facteur d'élargissement k = 2 ($k = XX$), lequel pour une loi normale (une loi de t présentant v_{eff} = YY degrés de liberté réels) correspond à une probabilité de couverture de 95 % environ. L'incertitude-type de mesure a été déterminée conformément à l'IEC 60060-2."



La zone ombrée représente l'incertitude-type au-dessus et au-dessous de $\overline{x}_{ii}$.

Figure A.1 – Loi normale de probabilité $p(x)$



La zone ombrée représente l'incertitude-type au-dessus et au-dessous de $\overline{x}_{ii}$.

Figure A.2 – Loi rectangulaire de probabilité $p(x)$

Annexe B
(informative)

Exemple de calcul d'incertitudes de mesure dans des mesurages de haute tension

Un système de mesure en courant alternatif d'une tension assignée de 500 V, désigné par X, est étalonné par un laboratoire d'étalonnage accrédité. L'étalonnage est réalisé jusqu'à V_{Xmax} = 500 V par comparaison avec un système de mesure de référence, désigné par N (Tableau B.1). Le coefficient de conversion et l'incertitude élargie relative du système de référence N à 20 °C sont respectivement F_N = 1,025 et U_N = 0,8 % (k = 2), y compris une contribution à l'incertitude estimée pour l'instabilité à long terme.

Lors de l'étalonnage, la température ambiante est de (15 ± 2) °C. Étant donné que le coefficient de conversion de N a été étalonné à 20 °C, il est corrigé de -0,3 % en fonction de son coefficient de température, ce qui donne la valeur réelle F_N = 1,022 à 15 °C. Cette correction n'est toutefois pas très exacte et, en outre, en raison de la variation de température à ± 2 °C près au cours de l'étalonnage, les valeurs probables de F_N sont censées s'inscrire dans un intervalle de ± 0,001 autour de F_N avec une loi rectangulaire. Les mesurages de comparaison sont effectués à h = 5 niveaux de tension d'environ 20 %, 40 % et 100 % de V_{Xmax}. À chaque niveau de tension, des relevés de lecture simultanés des tensions V_N et V_X sont effectués pour n = 10 applications de tension. Des études plus approfondies sur le comportement dynamique, la stabilité à court terme, l'intervalle de température et les perturbations indiquent une influence sur le coefficient de conversion de l'objet en essai, F_X, chacune ne dépassant pas ± 0,2 %. Sa stabilité à long terme est estimée sur la base des données du constructeur comme ne variant pas de plus de ± 0,3 % jusqu'à l'étalonnage suivant.

L'équation-modèle pour calculer la valeur de F_X et son incertitude-type composée peut être développée comme suit. Dans le cas idéal, les deux systèmes de mesure indiquent la même valeur de la tension d'essai alternative V (Tableau B.1):

$$V = F_N V_N = F_X V_X . \tag{B.1}$$

Ce qui conduit à la formule de base pour calculer le coefficient de conversion du système en essai:

$$F_X = \frac{V_N}{V_X} F_N . \tag{B.2}$$

Comme décrit ci-dessus, les coefficients de conversion des deux systèmes sont calculés en fonction de plusieurs grandeurs d'influence telles que la dérive, la température, etc. Ces grandeurs contribuent aux valeurs du coefficient de conversion et également à leurs incertitudes. Ces contributions sont désignées dans le cas présent par $\Delta F_{N,1}$, $\Delta F_{N,2}$, ... pour le système de référence et par $\Delta F_{X,1}$, $\Delta F_{X,2}$, ... pour le système en essai. En général, chaque contribution au coefficient de conversion F_N ou F_X se traduit par une erreur et une incertitude-type. L'erreur est prise pour corriger le coefficient de conversion, la correction étant de signe opposé. La contribution à l'incertitude est liée au coefficient de conversion concerné F_N ou F_X et est évaluée d'une manière similaire à celle décrite dans l'Article A.5, c'est-à-dire soit en considérant par hypothèse une loi rectangulaire de probabilité dans un intervalle $\pm a_i$, ce qui conduit à une incertitude-type $u_i = a_i/\sqrt{3}$, soit, dans le cas d'un composant étalonné, en divisant son incertitude élargie U par le facteur d'élargissement k. Il n'est pas nécessaire que la contribution $\Delta F_{N,m}$ ou $\Delta F_{X,i}$ comporte toujours une erreur (ou l'erreur est considérée par hypothèse suffisamment faible pour être négligée), elle est alors constituée uniquement de la contribution à l'incertitude u_i.

La formule de base (B.2) est complétée par les contributions $\Delta F_{N,m}$ et $\Delta F_{X,i}$ pour obtenir la fonction-modèle complète permettant de déterminer le coefficient de conversion F_X et son incertitude-type composée. Dans la mesure où la corrélation entre les grandeurs d'influence est négligée, (B.2) peut alors s'écrire dans la version générale:

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

NOTE 1 Par définition, les erreurs insérées dans les deux membres de l'équation ont un signe négatif. Elles sont définies comme étant ΔF = (valeur indiquée) – (valeur correcte).

Pour le cas d'espèce, le coefficient de conversion F_X du système de mesure en courant alternatif peut être exprimé par:

$$F_X = \frac{V_N}{V_X} \left(F_N - \Delta F_N \right) + \sum_{i=1}^{5} \Delta\, F_{X,i}\,, \quad \text{(B.4)}$$

où:

ΔF_N est la contribution due à la température plus basse du système de référence,

$\Delta F_{X,1}$ est la contribution due à la non-linéarité du quotient,

$\Delta F_{X,2}$ est la contribution due à l'instabilité à court terme du système en essai,

$\Delta F_{X,3}$ est la contribution due à l'instabilité à long terme du système en essai,

$\Delta F_{X,4}$ est la contribution due au comportement dynamique du système en essai,

$\Delta F_{X,5}$ est la contribution due à la variation de température du système en essai.

NOTE 2 Dans cet exemple, ΔF_N consiste à la fois en une correction et une contribution à l'incertitude du coefficient de conversion F_N, tandis que les termes ΔF_{X1} à ΔF_{X5} contribuent uniquement à l'incertitude du coefficient de conversion F_X. Par commodité, les contributions à l'incertitude ΔF_{X1} à ΔF_{X5} sont directement liées à F_X, c'est-à-dire que les coefficients de sensibilité de ces grandeurs d'entrée ont déjà été pris en considération.

Le mesurage de comparaison à un seul niveau de tension entre le système de mesure X et le système de référence N fournit n = 10 paires de valeurs mesurées V_N et V_X, à partir desquelles les quotients V_N/V_X, leur moyenne et l'écart-type expérimental $s(V_N/V_X)$ sont calculés. Un exemple pour les valeurs mesurées à un niveau de tension d'environ 40 % V_{Xmax} est donné dans le Tableau B.1. De même, les quotients V_N/V_X et les écarts-types $s(V_N/V_X)$ sont obtenus pour un total de h = 5 niveaux de tension jusqu'à 500 V (Tableau B.2).

Tableau B.1 – Résultat du mesurage de comparaison jusqu'à 500 V à un seul niveau de tension

Nombre de mesurages	Système de référence V_N V	Système en essai V_X V	Quotient V_N/V_X
1	191,4	190,8	1,0031
2	191,6	190,9	1,0037
3	190,7	189,9	1,0042
4	189,9	189,0	1,0048
5	190,9	189,9	1,0053
6	191,2	190,3	1,0047
7	191,3	190,4	1,0047
8	191,2	190,4	1,0042
9	190,6	189,9	1,0037
10	191,3	190,7	1,0031
Moyenne de V_N/V_X à environ 40 % V_{Xmax}			**1,0042**
Écart-type expérimental $s(V_N/V_X)$:			**0,73*10^{-3}**

Tableau B.2 – Résumé des résultats pour h = 5 niveaux de tension (V_{Xmax} = 500 V)

g No.	**Niveau de tension** % de V_{Xmax}	V_N/V_X	$s(V_N/V_X)$
1	18	1,0032	0,71*10^{-3}
2	38	1,0042	0,73*10^{-3}
3	63	1,0045	0,81*10^{-3}
4	83	1,0065	0,68*10^{-3}
5	100	1,0101	0,85*10^{-3} (= s_{max})
Moyenne		**1,0057**	

La moyenne des cinq quotients V_N/V_X dans le Tableau B.2 est de 1,0057. Du point de vue de la fiabilité de l'estimation d'incertitude, l'incertitude-type de Type A de V_N/V_X est évaluée à partir de l'écart-type maximum s_{max} = 0,85*10^{-3} selon (A.3):

$$u_A = \frac{s_{max}}{\sqrt{n}} = \frac{0{,}85 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{10}} = 0{,}27 \cdot 10^{-3}.$$

L'écart des quotients V_N/V_X par rapport à leur moyenne caractérise la non-linéarité du système X. L'écart maximum est a_1 = 4,4*10^{-3} à 100 % de V_{Xmax} (Tableau B.2). L'incertitude-type de Type B de V_N/V_X, due à la non-linéarité, est ainsi $a_1/\sqrt{3}$ = 2,54*10^{-3} selon (A.7). Cette valeur est multipliée par le coefficient de sensibilité concerné $c_1 = \partial F_X/\partial(V_N/V_X) = F_N - \Delta F_N$ = 1,025 – 0,003 * 1,025 = 1,022 pour obtenir la contribution à l'incertitude de Type B:

$$u_{B1} = \frac{a_1}{\sqrt{3}}\left(F_N - \Delta F_N\right) = \frac{4{,}4*10^{-3}}{\sqrt{3}}\,1{,}022 = 2{,}6*10^{-3}.$$

Les valeurs et les incertitudes-types de toutes les grandeurs d'entrée sont saisies dans le membre de droite de la formule-modèle (B.4). La formule-modèle peut être évaluée manuellement, à l'aide des équations données dans l'Annexe A, ou au moyen d'un logiciel spécial qu'il convient de valider pour le calcul des incertitudes. Le résultat de l'évaluation est résumé dans le Tableau B.3. La dernière ligne indique le coefficient de conversion affecté F_X, son incertitude-type composée et les degrés de liberté réels. La valeur élevée $v_{\text{eff}} = 180$ indique une loi normale des valeurs probables de F_X, et donc $k = 2$ est valide (voir l'Annexe A, Tableau A.1).

L'estimation de l'incertitude n'est pas très précise et une précision numérique importante n'est pas exigée.

Enfin, le résultat complet de l'étalonnage du système de mesure certifié est exprimé par le coefficient de conversion affecté et son incertitude élargie:

$F_X = 1{,}028 \pm 11*10^{-3} = 1{,}028(1 \pm 0{,}011)$ pour une probabilité de couverture supérieure ou égale à 95 % ($k = 2$).

L'incertitude élargie relative du coefficient de conversion affecté est $U = 1{,}1$ %. Étant donné qu'elle comprend une contribution à l'incertitude de la stabilité à long terme, elle peut être appliquée comme incertitude élargie de la tension d'essai jusqu'à l'étalonnage suivant du système de mesure certifié, à condition que la stabilité du coefficient de conversion soit contrôlée par des essais intermédiaires de détermination des caractéristiques (voir 4.4).

NOTE 3 La méthode simplifiée de l'Article 5 fournit une incertitude élargie relative identique du coefficient de conversion affecté.

Tableau B.3 – Bilan d'incertitude du coefficient de conversion affecté F_X

Grandeur	Valeur	Contribution à l'incertitude-type	Degrés de liberté	Coefficient de sensibilité	Contribution à l'incertitude-type composée
F_N	1,025	0,004 [a]	50	1,0057	$4{,}0*10^{-3}$
ΔF_N	0,003	0,000577 [b]	∞	-1,0057	$-0{,}58*10^{-3}$
V_N/V_X	1,0057	$0{,}27*10^{-3}$ [a]	9	1,022	$0{,}28*10^{-3}$
$\Delta F_{X,1}$	0	$2{,}60*10^{-3}$ [b]	∞	1	$2{,}6*10^{-3}$
$\Delta F_{X,2}$	0	$1{,}19*10^{-3}$ [b]	∞	1	$1{,}2*10^{-3}$
$\Delta F_{X,3}$	0	$1{,}78*10^{-3}$ [b]	∞	1	$1{,}8*10^{-3}$
$\Delta F_{X,4}$	0	$1{,}19*10^{-3}$ [b]	∞	1	$1{,}2*10^{-3}$
$\Delta F_{X,5}$	0	$1{,}19*10^{-3}$ [b]	∞	1	$1{,}2*10^{-3}$
F_X	1,0278		180		$5{,}54*10^{-3}$

[a] Loi normale

[b] Loi rectangulaire.

Annexe C
(informative)

Correction atmosphérique

C.1 Atmosphère normalisée de référence

Température t_0 = 20 °C;

Pression absolue p_0 = 1013 hPa (1 013 mbar);

Humidité absolue h_0 = 11 g/m^3.

Une pression absolue de 1013 hPa correspond à une hauteur de 760 mm de la colonne de mercure d'un baromètre à mercure à 0 °C. Si la hauteur barométrique est H mm de mercure, la pression atmosphérique en hectopascals est approximativement:

$$p = 1{,}333\ H \quad hPa$$

La correction de la hauteur de la colonne de mercure en fonction de la température est réputée être négligeable.

Les instruments corrigeant automatiquement la pression au niveau de la mer ne sont pas adaptés et il convient de ne pas les utiliser.

C.2 Facteur de correction atmosphérique

C.2.1 Généralités

Les conditions de laboratoire normales sont spécifiées dans l'IEC 60068-1:

Température: 15 °C à 35 °C;

Pression atmosphérique: 860 hPa à 1 060 hPa au niveau de la mer;

Humidité relative 25 % à 75 %.

La tension d'essai appliquée peut être définie dans des conditions de laboratoire normales conformément à l'IEC 60060-1:

$$U = K_t * U_0$$

où

U est la tension d'essai appliquée;

U_0 est la tension d'essai spécifiée;

K_t est le facteur de correction atmosphérique.

La tension d'essai appliquée est proportionnelle au facteur de correction K_t issu du produit de deux facteurs de correction:

– le facteur de correction de la densité de l'air k_1

– le facteur de correction de l'humidité k_2

$$K_t = k_1 * k_2$$

C.2.2 Facteur de correction de l'humidité k_2

Aucune correction de l'humidité ne peut actuellement être spécifiée pour le matériel à basse tension.

Toutefois, lorsque l'humidité relative dépasse 80 % environ, la tension d'essai appliquée de décharge disruptive devient irrégulière, notamment lorsque la décharge disruptive se produit sur une surface isolante.

C.2.3 Facteur de correction de la densité de l'air k_1

Le facteur de correction de la densité de l'air k_1 dépend de la densité de l'air relative δ et peut être généralement exprimé sous la forme:

$$k_1 = \delta^m$$

L'exposant *m* est obtenu à partir de la courbe 1 de la Figure A.1 pour les plages spécifiées conformément à l'IEC 60664-1:

m = 0,9163 pour 0,001 < $d \leq$ 0,01 mm;

m = 0,3305 pour 0,01 < $d \leq$ 0,0625 mm;

m = 0,6361 pour 0,0625 < $d \leq$ 1 mm;

m = 0,8539 pour 1 < $d \leq$ 10 mm;

m = 0,9243 pour 10 < $d \leq$ 100 mm.

Lorsque les températures t et t_0 sont exprimées en degrés Celsius et lorsque les pressions atmosphériques p et p_0 sont exprimées dans les mêmes unités, la densité de l'air relative est la suivante:

$$\delta = \frac{p}{p_0} * \frac{273 + t_0}{273 + t}$$

La correction est réputée fiable pour 0,8 < k_1 < 1,05.

Dans l'IEC 60664-1, la tension d'essai appliquée est donnée à une altitude de 2 000 m. Pour le calcul du facteur de correction de la densité de l'air qui permet de définir la tension d'essai à toute altitude, la pression atmosphérique à une altitude de 2 000 m p_0 = 80 kPa doit être considérée comme une pression absolue.

Bibliographie

IEC 61000-4-5:2014, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 4-5: Techniques d'essai et de mesure – Essai d'immunité aux ondes de choc*

IEC 61010-1, *Règles de sécurité pour appareils électriques de mesurage, de régulation et de laboratoire – Partie 1: Exigences générales*

IEC 61010-2-030:2010, *Règles de sécurité pour appareils électriques de mesurage, de régulation et de laboratoire – Partie 2-030: Exigences particulières pour les circuits de test et de mesure*

_____

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

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

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