



INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

High-voltage test techniques – Part 2: Measuring systems

Techniques des essais à haute tension – Partie 2: Systèmes de mesure

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 17.220.20, 19.080

ISBN 978-2-8322-4701-3

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

CONTENTS

FOREWORD.....	7
1 Scope.....	9
2 Normative references	9
3 Terms and definitions	10
3.1 Measuring systems	10
3.2 Components of a measuring system	10
3.3 Scale factors.....	11
3.4 Rated values.....	12
3.5 Terms related to dynamic behaviour	13
3.6 Terms related to uncertainty	17
3.7 Terms related to tests on measuring systems	20
4 Procedures for qualification and use of measuring systems	21
4.1 General principles.....	21
4.2 Schedule of performance tests.....	21
4.3 Schedule of performance checks	21
4.4 Requirements for the record of performance	22
4.4.1 Contents of the record of performance.....	22
4.4.2 Exceptions.....	22
4.5 Operating conditions	22
4.6 Uncertainty	23
5 Tests and test requirements for an approved measuring system and its components.....	23
5.1 General requirements	23
5.2 Calibration – Determination of the scale factor.....	24
5.2.1 Calibration of measuring systems by comparison with a reference measuring system (preferred method).....	24
5.2.2 Determination of the scale factor of a measuring system from the scale factors of its components (alternative method).....	27
5.3 Linearity test in addition to comparison over the limited voltage range	28
5.3.1 Application.....	28
5.3.2 Alternative methods in order of suitability	29
5.4 Dynamic behaviour	30
5.4.1 General	30
5.4.2 Determination of the amplitude-frequency response of AC measuring systems	30
5.4.3 Reference method for impulse voltage measuring systems	31
5.5 Short-term stability.....	31
5.6 Long-term stability	32
5.7 Ambient temperature effect.....	32
5.8 Proximity effect.....	33
5.9 Software effect.....	33
5.10 Uncertainty calculation of the scale factor	34
5.10.1 General	34
5.10.2 Uncertainty of the calibration	34
5.10.3 Uncertainty of measurement using an approved measuring system	35
5.11 Uncertainty calculation of time parameter measurement (impulse voltages only)	36
5.11.1 General	36

5.11.2	Uncertainty of the time parameter calibration	36
5.11.3	Uncertainty of time parameter measurement using an approved measuring system.....	38
5.12	Interference test (transmission system and instrument for impulse voltage measurements)	38
5.13	Withstand tests for converting device	39
6	Measurement of direct voltage	39
6.1	Requirements for an approved measuring system	39
6.1.1	General	39
6.1.2	Uncertainty contributions	40
6.1.3	Requirements for converting device	40
6.1.4	Dynamic behaviour for measuring voltage changes	40
6.2	Tests on an approved measuring system	40
6.3	Performance check	41
6.3.1	General	41
6.3.2	Comparison with an approved measuring system.....	41
6.3.3	Check of the scale factors of the components	42
6.4	Measurement of ripple amplitude	42
6.4.1	Requirements	42
6.4.2	Uncertainty contributions	42
6.4.3	Calibrations and tests on an approved ripple voltage measuring system	42
6.4.4	Measurement of the scale factor at the ripple frequency	42
6.4.5	Dynamic behaviour by amplitude-frequency response.....	43
6.4.6	Performance check for ripple measuring system	43
7	Measurement of alternating voltage	43
7.1	Requirements for an approved measuring system	43
7.1.1	General	43
7.1.2	Uncertainty contributions	43
7.1.3	Dynamic behaviour	43
7.2	Tests on an approved measuring system	46
7.3	Dynamic behaviour test.....	46
7.4	Performance check	46
7.4.1	General	46
7.4.2	Comparison with an approved measuring system.....	47
7.4.3	Check of the scale factors of the components	47
8	Measurement of lightning impulse voltage	48
8.1	Requirements for an approved measuring system	48
8.1.1	General	48
8.1.2	Uncertainty contributions	48
8.1.3	Requirements for measuring instrument.....	48
8.1.4	Dynamic behaviour	48
8.1.5	Connection to the test object	49
8.2	Tests on an approved measuring system	49
8.3	Performance test on measuring systems	50
8.3.1	Reference method (preferred).....	50
8.3.2	Alternative method supplemented by a measurement of the step response in accordance with Annex C	50
8.4	Dynamic behaviour test.....	51
8.4.1	Comparison with a reference measuring system (preferred).....	51

8.4.2	Alternative method based on step response parameters (Annex C) and convolution (Annex D)	51
8.5	Performance check	51
8.5.1	Comparison with an approved measuring system.....	51
8.5.2	Check of the scale factors of the components	51
8.5.3	Dynamic behaviour check by reference record at low voltage	52
8.5.4	Dynamic behaviour check by reference record of an impulse voltage.....	52
9	Measurement of switching impulse voltage	52
9.1	Requirements for an approved measuring system	52
9.1.1	General	52
9.1.2	Uncertainty contribution.....	52
9.1.3	Requirements for the measuring instrument.....	52
9.1.4	Dynamic behaviour	53
9.1.5	Connection to the test object	53
9.2	Tests on an approved measuring system	53
9.3	Performance test on measuring systems	53
9.3.1	Reference method (preferred).....	53
9.3.2	Alternative methods supplemented by a step-response measurement.....	53
9.4	Dynamic behaviour test by comparison	54
9.5	Performance check	54
9.5.1	Scale factor check by comparison with an approved measuring system	54
9.5.2	Check of the scale factors of the components	54
9.5.3	Dynamic behaviour check by reference record	54
10	Measurement of combined voltages.....	55
10.1	Requirements for an approved measuring system	55
10.1.1	General	55
10.1.2	Uncertainty contributions	56
10.1.3	Requirements for measuring systems	56
10.1.4	Connection to the test object	58
10.1.5	Requirements for an approved measuring system.....	58
10.2	Performance checks and tests on measuring systems.....	58
11	Measurement of composite voltages.....	58
11.1	Requirements for an approved measuring system	58
11.1.1	General	58
11.1.2	Uncertainty contributions	59
11.1.3	Requirements for measuring systems	59
11.1.4	Connection to the test object	60
11.1.5	Combining requirements for an approved measuring system	60
11.2	Performance checks and tests on measuring systems.....	60
12	Reference measuring systems.....	61
12.1	Requirements for reference measuring systems.....	61
12.1.1	Direct voltage	61
12.1.2	Alternating voltage.....	61
12.1.3	Full and chopped lightning and switching impulse voltages	61
12.2	Calibration of a reference measuring system.....	61
12.2.1	General	61
12.2.2	Reference method: Comparative measurement.....	61
12.2.3	Alternative method for impulse voltages: Measurement of scale factor and evaluation of step response parameters.....	61

12.3	Interval between successive calibrations of reference measuring systems	62
12.4	Use of reference measuring systems	62
Annex A	(informative) Uncertainty of measurement.....	63
A.1	General.....	63
A.2	Model function	63
A.3	Type A evaluation of standard uncertainty	64
A.4	Type B evaluation of standard uncertainty	65
A.5	Combined standard uncertainty.....	66
A.6	Expanded uncertainty	67
A.7	Effective degrees of freedom	68
A.8	Uncertainty budget.....	68
A.9	Statement of the measurement result.....	69
Annex B	(informative) Examples for the calculation of measuring uncertainties in high-voltage measurements	71
B.1	Example 1: Calibration of scale factor of an AC measuring system (comparison method)	71
B.1.1	Description	71
B.1.2	Determination of scale factor and uncertainty contributions	71
B.1.3	Uncertainty budget and expression of result	75
B.2	Example 2: Calibration of scale factor of an impulse voltage measuring system (component method)	75
B.3	Example 3: Calibration of front time of lightning impulse voltages	77
Annex C	(normative) Step-response measurements.....	81
C.1	General.....	81
C.2	Circuit for step- response measurements	81
C.3	Recommendations for the step response of a component.....	81
Annex D	(normative) Convolution method for the determination of dynamic behaviour from step-response measurements	84
D.1	General.....	84
D.2	Convolution method	84
D.3	Procedure for performing the convolution calculation	85
D.4	Uncertainty contributions	86
D.5	Discussion of the calculated errors of impulse parameters	86
D.5.1	Error in the peak amplitude.....	86
D.5.2	Error in the front time.....	86
D.5.3	Error in the time to half-value.....	87
Bibliography	88
Figure 1	– Amplitude-frequency response with examples for limit frequencies ($f_1; f_2$)	13
Figure 2	– Parameters for the unit step response $g(t)$	15
Figure 3	– Parameters for the step-response integral $T(t)$	16
Figure 4	– Calibration by comparison over the full voltage range, $h=5$	26
Figure 5	– Uncertainty contributions for calibration over five voltage levels	26
Figure 6	– Combining calibration and linearity test.....	27
Figure 7	– Linearity test in the extended voltage range	29
Figure 8	– Short-circuiting arrangement for the interference test	39
Figure 9	– Normalized amplitude-frequency response of a measuring system intended for a single fundamental frequency	45

Figure 10 – Normalized amplitude-frequency response of measuring system intended for a range of fundamental frequencies	46
Figure 11 – Circuit for a combined voltage test	56
Figure 12 – Circuit for a composite voltage test	59
Figure A.1 – Normal probability distribution $p(x)$	69
Figure A.2 – Rectangular probability distribution $p(x)$	70
Figure B.1 – Comparison of measuring systems	71
Figure B.2 – Front time deviation of system X, related to the reference system N	79
Figure C.1 – Unit step response $g(t)$ showing an initial distortion	82
Figure C.2 – Suitable circuits for step response measurement	83
Table 1 – Tests required for an approved direct voltage measuring system.....	41
Table 2 – Tests required for estimation of uncertainty contributions in ripple measurement.....	43
Table 3 – Tests required for an approved alternating voltage measuring system.....	47
Table 4 – Tests required for an approved lightning impulse voltage measuring system	49
Table 5 – Tests required for a switching impulse voltage measuring system	55
Table 6 – Requirements for measuring systems for combined voltage tests	58
Table 7 – Requirements for measuring systems for composite tests	60
Table 8 – Recommended response parameter values for impulse voltage reference measuring systems	62
Table A.1 – Coverage factor k for effective degrees of freedom ν_{eff} ($p = 95\%$).....	68
Table A.2 – Schematic of an uncertainty budget	69
Table B.1 – Result of the comparison measurement at a single voltage level g	73
Table B.2 – Summary of results for $h = 5$ voltage levels ($V_{X_{\text{max}}} = 500 \text{ kV}$)	73
Table B.3 – Uncertainty budget of the assigned scale factor F_X	75
Table B.4 – Uncertainty budget of the assigned scale factor F	77
Table B.5 – Calibration result for front time T_1 and deviations.....	78
Table B.6 – Uncertainty budget of the front time deviation $\Delta T_{1\text{cal}}$	80

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

HIGH-VOLTAGE TEST TECHNIQUES –

Part 2: Measuring systems

FOREWORD

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

IEC 60060-2 has been prepared by IEC technical committee 42: High-voltage and high current test techniques. It is an International Standard.

This fourth edition cancels and replaces the third edition published in 2010. This edition constitutes a technical revision.

This edition includes the following significant technical changes with respect to the previous edition:

- a) The general layout and text has been updated and improved to make the standard easier to use.
- b) This document has been revised to align it with the fourth edition of IEC 60060-1.
- c) The treatment of measurement uncertainty estimation has been expanded.

- d) This document is now applicable to measuring systems used in testing at all standard insulation levels specified in IEC 60071-1.
- e) The measurement uncertainty requirement for the front time of the standard lighting impulse voltage has been changed from 10 % to 15 %, for testing at all standard insulation levels specified in IEC 60071-1.
- f) The parameter "time-to-peak" of the switching impulse defined in the third edition of IEC 60060-1:2010 has been replaced by "front time" in the fourth edition of IEC 60060-1. Necessary changes have been made in this document to accommodate this change in IEC 60060-1.
- g) Clause 10, Measurement of combined voltages and Clause 11, Measurement of composite voltages have been added.
- h) Clause B.1 has been significantly revised to align more closely with the provisions of Clause 5, including using the same nomenclature.

The text of this International Standard is based on the following documents:

Draft	Report on voting
42/443/FDIS	42/447/RVD

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

The language used for the development of this International Standard is English.

This document was drafted in accordance with ISO/IEC Directives, Part 2, and developed in accordance with ISO/IEC Directives, Part 1 and ISO/IEC Directives, IEC Supplement, available at www.iec.ch/members_experts/refdocs. The main document types developed by IEC are described in greater detail at www.iec.ch/publications.

A list of all parts in the IEC 60060 series, published under the general title *High-voltage test techniques*, can be found on the IEC website.

The committee has decided that the contents of this document will remain unchanged until the stability date indicated on the IEC website under webstore.iec.ch in the data related to the specific document. At this date, the document will be

- reconfirmed,
- withdrawn, or
- revised.

HIGH-VOLTAGE TEST TECHNIQUES –

Part 2: Measuring systems

1 Scope

This part of IEC 60060 is applicable to complete measuring systems and to their components, used for the measurement of high voltages during laboratory and factory tests with direct voltage, alternating voltage and lightning and switching impulse voltages and combined and composite voltages as specified in IEC 60060-1. For measurements during on-site tests, see IEC 60060-3.

The limits on uncertainties of measurements stated in this document apply to test levels stated in IEC 60071-1. The principles of this document apply also to higher levels but the uncertainty can be greater.

This document:

- defines the terms used;
- describes methods to estimate the uncertainties of high-voltage measurements;
- states the requirements that apply to measuring systems;
- describes the methods for approving a measuring system and checking its components;
- describes the procedures by which the user demonstrates that a measuring system meets the requirements of this document, including the limits set for the uncertainty of measurement.

2 Normative references

The following documents are referred to in the text in such a way that some or all of their content constitutes requirements of this document. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

IEC 60052, *Voltage measurement by means of standard air gaps*

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

IEC 61083 (all parts), *Instruments and software used for measurements in high-voltage and high-current tests*

IEC 61083-1, *Instruments and software used for measurements in high-voltage and high-current tests – Part 1: Requirements for instruments for impulse tests*

IEC 61083-2, *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 measurement (GUM: 1995)*

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	96
1 Domaine d'application	98
2 Références normatives	98
3 Termes et définitions	99
3.1 Systèmes de mesure	99
3.2 Constituants d'un système de mesure	99
3.3 Coefficients de conversion	100
3.4 Caractéristiques assignées	101
3.5 Termes relatifs au comportement dynamique	102
3.6 Termes relatifs à l'incertitude	106
3.7 Termes relatifs aux essais sur des systèmes de mesure	109
4 Procédures de qualification et d'utilisation des systèmes de mesure.....	110
4.1 Principes généraux	110
4.2 Calendrier des essais de détermination des caractéristiques	110
4.3 Calendrier des contrôles des caractéristiques	111
4.4 Exigences pour le recueil de caractéristiques.....	111
4.4.1 Contenu du recueil de caractéristiques	111
4.4.2 Exceptions.....	112
4.5 Conditions de fonctionnement.....	112
4.6 Incertitude.....	112
5 Essais et exigences d'essai pour un système de mesure approuvé et ses constituants	113
5.1 Exigences générales.....	113
5.2 Étalonnage – Détermination du coefficient de conversion.....	114
5.2.1 Étalonnage des systèmes de mesure par comparaison à un système de mesure de référence (méthode préférentielle).....	114
5.2.2 Détermination du coefficient de conversion d'un système de mesure à partir des coefficients de conversion de ses constituants (méthode alternative)	118
5.3 Essai de linéarité en plus de la comparaison sur une plage limitée de tensions	118
5.3.1 Application.....	118
5.3.2 Autres méthodes dans l'ordre de pertinence	119
5.4 Comportement dynamique	120
5.4.1 Généralités	120
5.4.2 Détermination de la réponse amplitude-fréquence des systèmes de mesure en courant alternatif	121
5.4.3 Méthode de référence pour les systèmes de mesure des tensions de choc	121
5.5 Stabilité à court terme	121
5.6 Stabilité à long terme	122
5.7 Effet de la température ambiante	123
5.8 Effet de proximité.....	123
5.9 Effet de logiciel	124
5.10 Calcul d'incertitude du coefficient de conversion	124
5.10.1 Généralités	124
5.10.2 Incertitude de l'étalonnage.....	124
5.10.3 Incertitude de mesure en utilisant un système de mesure approuvé.....	125

5.11	Calcul d'incertitude de la mesure des paramètres de temps (tensions de choc uniquement)	126
5.11.1	Généralités	126
5.11.2	Incertaince de l'étalonnage des paramètres de temps	126
5.11.3	Incertaince de mesure des paramètres de temps en utilisant un système de mesure approuvé	128
5.12	Essai de perturbations (système de transmission et instrument de mesure des tensions de choc)	129
5.13	Essais de tenue du dispositif de conversion	130
6	Mesure de tension continue	130
6.1	Exigences pour un système de mesure approuvé	130
6.1.1	Généralités	130
6.1.2	Contributions d'incertitude	130
6.1.3	Exigences relatives au dispositif de conversion	130
6.1.4	Comportement dynamique pour mesurer les variations de tension	131
6.2	Essais sur un système de mesure approuvé	131
6.3	Contrôle des caractéristiques	132
6.3.1	Généralités	132
6.3.2	Comparaison à un système de mesure approuvé	132
6.3.3	Contrôle des coefficients de conversion des constituants	132
6.4	Mesure de l'amplitude de l'ondulation	133
6.4.1	Exigences	133
6.4.2	Contributions d'incertitude	133
6.4.3	Étalonnages et essais sur un système de mesure approuvé de tension d'ondulation	133
6.4.4	Mesure du coefficient de conversion à la fréquence d'ondulation	133
6.4.5	Comportement dynamique par la réponse amplitude-fréquence	133
6.4.6	Contrôle des caractéristiques pour le système de mesure d'ondulation	134
7	Mesure de tension alternative	134
7.1	Exigences pour un système de mesure approuvé	134
7.1.1	Généralités	134
7.1.2	Contributions d'incertitude	134
7.1.3	Comportement dynamique	134
7.2	Essais sur un système de mesure approuvé	137
7.3	Essai de comportement dynamique	137
7.4	Contrôle des caractéristiques	138
7.4.1	Généralités	138
7.4.2	Comparaison à un système de mesure approuvé	138
7.4.3	Contrôle des coefficients de conversion des constituants	138
8	Mesure de tension de choc de foudre	139
8.1	Exigences pour un système de mesure approuvé	139
8.1.1	Généralités	139
8.1.2	Contributions d'incertitude	139
8.1.3	Exigences relatives à l'instrument de mesure	139
8.1.4	Comportement dynamique	140
8.1.5	Connexion à l'objet en essai	140
8.2	Essais sur un système de mesure approuvé	140
8.3	Essais de détermination des caractéristiques sur des systèmes de mesure	142
8.3.1	Méthode de référence (préférentielle)	142

8.3.2	Méthode alternative complétée par une mesure de la réponse indicielle conformément à l'Annexe C	142
8.4	Essai de comportement dynamique.....	143
8.4.1	Comparaison à un système de mesure de référence (méthode préférentielle)	143
8.4.2	Méthode alternative fondée sur les paramètres de réponse indicielle (Annexe C) et la convolution (Annexe D)	143
8.5	Contrôle des caractéristiques.....	143
8.5.1	Comparaison à un système de mesure approuvé	143
8.5.2	Contrôle des coefficients de conversion des constituants	143
8.5.3	Contrôle du comportement dynamique par enregistrement de référence à basse tension	144
8.5.4	Contrôle du comportement dynamique par enregistrement de référence d'une tension de choc	144
9	Mesure de tension de choc de manœuvre	144
9.1	Exigences pour un système de mesure approuvé.....	144
9.1.1	Généralités	144
9.1.2	Contribution d'incertitude	144
9.1.3	Exigences relatives à l'instrument de mesure	145
9.1.4	Comportement dynamique	145
9.1.5	Connexion à l'objet en essai	145
9.2	Essais sur un système de mesure approuvé	145
9.3	Essais de détermination des caractéristiques sur des systèmes de mesure	145
9.3.1	Méthode de référence (préférentielle)	145
9.3.2	Méthodes alternatives complétées par une mesure de réponse indicielle	145
9.4	Essai du comportement dynamique par comparaison	146
9.5	Contrôle des caractéristiques.....	146
9.5.1	Contrôle du coefficient de conversion par comparaison à un système de mesure approuvé.....	146
9.5.2	Contrôle des coefficients de conversion des constituants	146
9.5.3	Contrôle du comportement dynamique par enregistrement de référence	146
10	Mesure de tensions combinées.....	148
10.1	Exigences pour un système de mesure approuvé.....	148
10.1.1	Généralités	148
10.1.2	Contributions d'incertitude	149
10.1.3	Exigences relatives aux systèmes de mesure	149
10.1.4	Connexion à l'objet en essai	150
10.1.5	Exigences pour un système de mesure approuvé	150
10.2	Essais de détermination des caractéristiques et contrôles des caractéristiques sur des systèmes de mesure	151
11	Mesure de tensions composites.....	151
11.1	Exigences pour un système de mesure approuvé.....	151
11.1.1	Généralités	151
11.1.2	Contributions d'incertitude	152
11.1.3	Exigences relatives aux systèmes de mesure	152
11.1.4	Connexion à l'objet en essai	153
11.1.5	Combinaison d'exigences pour un système de mesure approuvé	153
11.2	Essais de détermination des caractéristiques et contrôles des caractéristiques sur des systèmes de mesure	154
12	Systèmes de mesure de référence.....	154

12.1	Exigences pour les systèmes de mesure de référence	154
12.1.1	Tension continue	154
12.1.2	Tension alternative	154
12.1.3	Tensions de chocs de foudre pleins et coupés et de chocs de manœuvre	154
12.2	Étalonnage d'un système de mesure de référence	155
12.2.1	Généralités	155
12.2.2	Méthode de référence: Mesure comparative	155
12.2.3	Méthode alternative pour les tensions de choc: Mesure du coefficient de conversion et évaluation des paramètres de réponse indicielle	155
12.3	Intervalle entre les étalonnages successifs des systèmes de mesure de référence	155
12.4	Utilisation des systèmes de mesure de référence.....	155
Annexe A (informative) Incertitude de mesure.....		156
A.1	Généralités	156
A.2	Fonction modèle	156
A.3	Évaluation de type A de l'incertitude type.....	157
A.4	Évaluation de type B de l'incertitude type.....	158
A.5	Incetitude type composée	160
A.6	Incetitude élargie	161
A.7	Degrés de liberté réels.....	161
A.8	Bilan d'incertitude	162
A.9	Expression du résultat de mesure	162
Annexe B (informative) Exemples de calculs d'incertitudes de mesure dans les mesures à haute tension.....		164
B.1	Exemple 1: Étalonnage du coefficient de conversion d'un système de mesure en courant alternatif (méthode de comparaison)	164
B.1.1	Description	164
B.1.2	Détermination du coefficient de conversion et des contributions d'incertitude.....	164
B.1.3	Bilan d'incertitude et expression du résultat.....	168
B.2	Exemple 2: Étalonnage du coefficient de conversion d'un système de mesure de tension de choc (méthode du constituant).....	169
B.3	Exemple 3: Étalonnage du temps de montée des tensions de choc de foudre	171
Annexe C (normative) Mesures de réponse indicielle		174
C.1	Généralités	174
C.2	Circuit pour les mesures de réponse indicielle	174
C.3	Recommandations pour la réponse indicielle d'un constituant	175
Annexe D (normative) Méthode de convolution pour déterminer le comportement dynamique à partir des mesures de réponse indicielle		177
D.1	Généralités	177
D.2	Méthode de convolution	177
D.3	Procédure pour effectuer le calcul de convolution	178
D.4	Contributions d'incertitude	179
D.5	Explication des erreurs calculées des paramètres de choc.....	179
D.5.1	Erreur sur l'amplitude de crête.....	179
D.5.2	Erreur sur le temps de montée.....	180
D.5.3	Erreur sur la durée jusqu'à mi-valeur	180
Bibliographie.....		181

Figure 1 – Réponse amplitude-fréquence pour des exemples de fréquences limites ($f_1; f_2$).....	102
Figure 2 – Paramètres de la réponse indicielle unitaire $g(t)$	104
Figure 3 – Paramètres de l'intégrale de réponse indicielle $T(t)$	105
Figure 4 – Étalonnage par comparaison sur toute la plage de tensions, $h = 5$	116
Figure 5 – Contributions d'incertitude de l'étalonnage sur cinq niveaux de tension.....	116
Figure 6 – Étalonnage par comparaison et essai de linéarité.....	117
Figure 7 – Essai de linéarité dans la plage de tensions étendue.....	119
Figure 8 – Configuration de court-circuit pour l'essai de perturbations.....	129
Figure 9 – Réponse amplitude-fréquence normalisée d'un système de mesure prévu pour une fréquence fondamentale unique.....	136
Figure 10 – Réponse amplitude-fréquence normalisée d'un système de mesure prévu pour une plage de fréquences fondamentales.....	137
Figure 11 – Circuit pour un essai sous des tensions combinées.....	148
Figure 12 – Circuit pour un essai sous des tensions composites.....	152
Figure A.1 – Distribution normale des probabilités $p(x)$	163
Figure A.2 – Distribution rectangulaire des probabilités $p(x)$	163
Figure B.1 – Comparaison de systèmes de mesure.....	164
Figure B.2 – Écart de temps de montée du système X, rapporté au système de référence N.....	172
Figure C.1 – Réponse indicielle unitaire $g(t)$ présentant une distorsion initiale.....	175
Figure C.2 – Circuits appropriés à la mesure de la réponse indicielle.....	176
Tableau 1 – Essais exigés pour un système de mesure approuvé de tension continue.....	131
Tableau 2 – Essais exigés pour l'estimation des contributions d'incertitude dans la mesure d'ondulation.....	134
Tableau 3 – Essais exigés pour un système approuvé de mesure de tension alternative.....	138
Tableau 4 – Essais exigés pour un système de mesure approuvé de tension de choc de foudre.....	141
Tableau 5 – Essais exigés pour un système de mesure de tension de choc de manœuvre.....	147
Tableau 6 – Exigences relatives aux systèmes de mesure pour les essais sous des tensions combinées.....	151
Tableau 7 – Exigences relatives aux systèmes de mesure pour les essais composites.....	154
Tableau 8 – Valeurs de paramètres de réponse recommandés pour les systèmes de mesure de référence de tension de choc.....	155
Tableau A.1 – Facteur d'élargissement k pour les degrés de liberté réels ν_{eff} ($p = 95\%$).....	162
Tableau A.2 – Schéma d'un bilan d'incertitude.....	162
Tableau B.1 – Résultat de la mesure de comparaison à un seul niveau de tension g	166
Tableau B.2 – Récapitulatif des résultats pour $h = 5$ niveaux de tension ($V_{X_{\text{max}}} = 500 \text{ kV}$).....	166
Tableau B.3 – Bilan d'incertitude du coefficient de conversion attribué F_X	168
Tableau B.4 – Bilan d'incertitude du coefficient de conversion attribué F	170
Tableau B.5 – Résultat d'étalonnage pour le temps de montée T_1 et les écarts.....	172

Tableau B.6 – Bilan d'incertitude de l'écart de temps de montée ΔT_{1cal} 173

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

TECHNIQUES DES ESSAIS À HAUTE TENSION –

Partie 2: Systèmes de mesure

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Électrotechnique 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. À 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'IEC attire l'attention sur le fait que la mise en œuvre du présent document peut impliquer l'utilisation d'un ou de plusieurs brevets. L'IEC ne prend pas position quant à la preuve, à la validité et à l'applicabilité de tout droit de propriété revendiqué à cet égard. À la date de publication du présent document, l'IEC n'avait pas reçu notification qu'un ou plusieurs brevets pouvaient être nécessaires à sa mise en application. Toutefois, il y a lieu d'avertir les responsables de la mise en application du présent document que des informations plus récentes sont susceptibles de figurer dans la base de données de brevets, disponible à l'adresse <https://patents.iec.ch>. L'IEC ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de brevets.

L'IEC 60060-2 a été établie par le comité d'études 42 de l'IEC: Techniques d'essais à haute tension et/ou à fort courant. Il s'agit d'une Norme internationale.

Cette quatrième édition annule et remplace la troisième édition parue en 2010. Cette édition constitue une révision technique.

Cette édition inclut les modifications techniques majeures suivantes par rapport à l'édition précédente:

- a) La présentation générale et le texte ont été mis à jour et améliorés pour faciliter l'utilisation de la norme.

- b) Le présent document a été révisé afin de s'aligner sur la quatrième édition de l'IEC 60060-1.
- c) Le traitement de l'estimation de l'incertitude de mesure a été élargi.
- d) Le présent document s'applique désormais aux systèmes de mesure utilisés pour les essais à tous les niveaux d'isolement normalisés spécifiés dans l'IEC 60071-1.
- e) L'exigence relative à l'incertitude de mesure du temps de montée de la tension de choc de foudre normalisée a été modifiée de 10 % à 15 % pour les essais à tous les niveaux d'isolement normalisés spécifiés dans l'IEC 60071-1.
- f) Le paramètre "durée jusqu'à la valeur de crête" du choc de manœuvre défini dans la troisième édition de l'IEC 60060-1:2010 a été remplacé par le "temps de montée" dans la quatrième édition de l'IEC 60060-1. Des modifications nécessaires ont été apportées dans le présent document pour tenir compte de cette modification de l'IEC 60060-1.
- g) L'Article 10, Mesure de tensions combinées et l'Article 11, Mesure de tensions composites ont été ajoutés.
- h) L'Article B.1 a été révisé de manière significative afin de mieux s'aligner sur les dispositions de l'Article 5, y compris en utilisant la même nomenclature.

Le texte de cette Norme internationale est issu des documents suivants:

Projet	Rapport de vote
42/443/FDIS	42/447/RVD

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

La langue employée pour l'élaboration de cette Norme internationale est l'anglais.

La version française de la norme n'a pas été soumise au vote.

Ce document a été rédigé selon les Directives ISO/IEC, Partie 2, il a été développé selon les Directives ISO/IEC, Partie 1 et les Directives ISO/IEC, Supplément IEC, disponibles sous www.iec.ch/members_experts/refdocs. Les principaux types de documents développés par l'IEC sont décrits plus en détail sous www.iec.ch/publications.

Une liste de toutes les parties de la série IEC 60060, publiées sous le titre général *Techniques des essais à haute tension*, se trouve sur le site web de l'IEC.

Le comité a décidé que le contenu de ce document ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site web de l'IEC sous webstore.iec.ch dans les données relatives au document recherché. À cette date, le document sera

- reconduit,
- supprimé, ou
- révisé.

TECHNIQUES DES ESSAIS À HAUTE TENSION –

Partie 2: Systèmes de mesure

1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 60060 s'applique aux systèmes de mesure complets et à leurs constituants lorsqu'ils sont utilisés pour le mesurage de hautes tensions réalisé lors d'essais en laboratoire et en usine en tension continue, tension alternative, tensions de choc de foudre et tensions de choc de manœuvre, et tensions combinées et composites, comme cela est spécifié dans l'IEC 60060-1. Pour les mesurages réalisés lors d'essais sur site, voir l'IEC 60060-3.

Les limites d'incertitudes de mesure établies dans le présent document s'appliquent aux niveaux d'essais définis dans l'IEC 60071-1. Les principes fournis dans le présent document s'appliquent aussi à des niveaux plus élevés, mais l'incertitude peut alors être plus élevée.

Le présent document:

- définit les termes utilisés;
- décrit des méthodes pour estimer les incertitudes des mesures à haute tension;
- détermine les exigences qui s'appliquent aux systèmes de mesure;
- décrit les méthodes à utiliser pour qualifier un système de mesure et pour en contrôler les différents constituants;
- décrit les procédures par lesquelles l'utilisateur démontre qu'un système de mesure satisfait aux exigences du présent document, y compris les limites fixées pour l'incertitude de mesure.

2 Références normatives

Les documents suivants cités dans le texte constituent, pour tout ou partie de leur contenu, des exigences du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

IEC 60052, *Mesure de tension au moyen des éclateurs à sphères normalisés*

IEC 60060-1, *Techniques des essais à haute tension – Partie 1: Terminologie générale et exigences d'essai*

IEC 61083 (toutes les parties), *Appareils et logiciels utilisés pour les mesurages pendant les essais à tension et à courant élevés*

IEC 61083-1, *Appareils et logiciels utilisés pour les mesurages pendant les essais à tension et courant élevés – Partie 1: Exigences pour les appareils utilisés pour les essais de choc*

IEC 61083-2, *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*

Guide 98-3:2008 de l'ISO/IEC, *Incertitude de mesure – Partie 3: Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure (GUM: 1995)*