



IEC 60060-1

Edition 4.0 2025-04
REDLINE VERSION

INTERNATIONAL STANDARD

High-voltage test techniques –
Part 1: General ~~definitions~~ terminology and test requirements

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

ICS 17.220.20

ISBN 978-2-8327-0386-1

Warning! Make sure that you obtained this publication from an authorized distributor.

CONTENTS

FOREWORD	6
1 Scope	8
2 Normative references	8
3 Terms and definitions	9
3.1 Terms related to characteristics of discharges	9
3.2 Terms related to characteristics of the test voltage	10
3.3 Terms related to tolerance and uncertainty	11
3.4 Terms related to statistical characteristics of disruptive discharge voltage values	11
3.5 Terms related to classification of insulation in test objects	12
3.6 Definitions for direct voltage tests	13
3.7 Terms for alternating voltage tests	14
3.8 Terms for lightning impulse voltage tests	14
3.9 Terms for switching impulse voltage tests	23
3.10 Terms for combined and composite voltage tests	26
3.11 Terms for composite voltage tests	32
4 General requirements	35
4.1 General requirements for test procedures	35
4.2 Arrangement of the test object in dry tests	35
4.3 Atmospheric corrections in dry tests	36
4.3.1 Standard reference atmosphere	36
4.3.2 Atmospheric correction factors for air gaps	36
4.3.3 Application of correction factors	37
4.3.4 Correction factor components	38
4.3.5 Measurement of atmospheric parameters	41
4.3.6 Conflicting requirements for testing internal and external insulation	43
4.4 Wet tests	43
4.4.1 Wet test procedure	43
4.4.2 Atmospheric corrections for wet tests	45
4.5 Artificial pollution tests	45
5 Tests with direct voltage	45
5.1 Test voltage	45
5.1.1 Requirements for the test voltage	45
5.1.2 Generation of the test voltage	45
5.1.3 Measurement of the test voltage	46
5.1.4 Measurement of the test current	46
5.2 Test procedures	46
5.2.1 Withstand voltage tests	46
5.2.2 Disruptive discharge voltage tests	47
5.2.3 Assured disruptive discharge voltage tests	47
6 Tests with alternating voltage	47
6.1 Test voltage	47
6.1.1 Requirements for the test voltage	47
6.1.2 Generation of the test voltage	48
6.1.3 Measurement of the test voltage	50
6.1.4 Measurement of the test current	50
6.2 Test procedures	50

6.2.1	Withstand voltage tests.....	50
6.2.2	Disruptive discharge voltage tests	50
6.2.3	Assured disruptive discharge voltage tests	50
7	Tests with lightning impulse voltage.....	51
7.1	Test voltage	51
7.1.1	Requirements for test voltages	51
7.1.2	Generation of the test voltage.....	52
7.1.3	Measurement of the test voltage and determination of impulse shape.....	52
7.1.4	Measurement of current during tests with impulse voltages	52
7.2	Test procedures	53
7.2.1	Withstand voltage tests.....	53
7.2.2	Assured disruptive discharge voltage tests	54
8	Tests with switching impulse voltage	54
8.1	Test voltage	54
8.1.1	Requirements for test voltages	54
8.2.3	Time to peak evaluation	55
8.1.2	Generation of the test voltage.....	55
8.1.3	Measurement of test voltage and determination of impulse shape.....	56
8.1.4	Measurement of current during tests with impulse voltages	56
8.2	Test procedures	56
9	Tests with combined and composite voltages	56
9.1	General.....	58
9.2	Test voltage	58
9.2.1	Requirements for the test voltage	58
9.2.2	Generation of test voltages.....	59
9.2.3	Measurement of the test voltage	59
9.3	Test procedures	59
10	Tests with composite voltages	59
10.1	General.....	59
10.2	Test voltage	60
10.2.1	Requirements for the test voltage	60
10.2.2	Generation of test voltages.....	60
10.2.3	Measurement of the test voltage	60
10.3	Test procedures	60
Annex A (informative)	Statistical treatment of test results	61
A.1	Classification of tests	61
A.1.1	General	61
A.1.2	Class 1: Multiple-level tests (Figure A.1).....	61
A.1.3	Class 2: Up-and-down tests (Figure A.2)	61
A.1.4	Class 3: Progressive stress tests (Figure A.3)	62
A.2	Statistical behaviour of disruptive discharge.....	62
A.2.1	General	62
A.2.2	Confidence limits	62
A.3	Analysis of test results	63
A.3.1	General	63
A.3.2	Treatment of results from Class 1 tests.....	66
A.3.3	Treatment of results from Class 2 tests.....	67
A.3.4	Treatment of results from Class 3 tests.....	68

A.4	Application of maximum likelihood methods	69
Annex B (normative) Procedures for calculation of parameters of standard lightning impulse voltages <i>without or with superimposed overshoot or oscillations</i>		
B.1	General remarks	71
B.2	Basis of the procedures	71
B.3	Procedure for evaluation of parameters of full lightning impulses	71
B.4	Procedure for evaluation of parameters of tail chopped lightning impulses	74
<i>Annex C (informative) Procedure for manual calculation from graphical waveforms</i>		
Annex D (informative) Guidance for implementing software for evaluation of lightning impulse voltage parameters		
D.1	Guidance for implementing base curve fitting	77
D.2	Example of a digital filter for implementation of the test voltage function	78
Annex D (informative) Background to the introduction of the test voltage factor for evaluation of impulses with overshoot		
Annex E (informative) Iterative calculation method in the converse procedure for the determination of the atmospheric correction factor		
E.1	Introductory remarks	86
E.2	Change of atmospheric pressure with altitude	86
E.3	Sensitivity of K_t to U_{50}	87
E.4	Calculation with the iterative calculation procedure	88
E.5	Comment	95
<i>Annex F (informative) Front time and time to peak of switching impulse voltage</i>		
F.1	Front time of switching impulse	97
F.2	Time to peak for standard switching impulse voltage	97
F.3	Time to peak and front time for standard switching impulse voltage	97
F.4	Non-standard switching impulse voltage	98
Bibliography		
Figure 1 – Full lightning impulse voltage		
Figure 2 – Test voltage function		
Figure 3 – Full impulse voltage time parameters		
Figure 4 – Voltage time interval		
Figure 5 – Voltage integral		
Figure 6 – Lightning impulse voltage chopped on the front		
Figure 7 – Lightning impulse voltage chopped on the tail		
Figure 8 – Linearly rising front-chopped impulse		
Figure 9 – Voltage versus time curve for impulses of constant prospective shape		
Figure 10 – Switching impulse voltage		
Figure 11 – Circuit for a combined voltage test		
Figure 12 – Schematic example for combined voltage (AC + positive impulse) between two HV terminals		
Figure 13 – Examples of time delay Δt		
Figure 14 – Circuit for a composite voltage test		
Figure 15 – Schematic example for composite voltage (AC and positive impulse) between one HV terminal and earth		
Figure 16 – Examples of time delay Δt		

Figure 17 – Recommended minimum clearance D of extraneous live or earthed objects to the energized electrode of a test object, during an AC or positive switching impulse test at the maximum voltage U applied during the test	36
Figure 18 – k as a function of the ratio of the absolute humidity h to the relative air density δ (see 4.3.4.2 for limits of applicability)	39
Figure 19 – Values of exponents m (a) and w (b) for humidity correction as a function of parameter g	41
Figure 20 – Absolute humidity of air as a function of dry and wet-bulb thermometer readings	42
Figure A.1 – Example of a multiple-level (Class 1) test	64
Figure A.2 – Examples of decreasing and increasing up-and-down (Class 2) tests for determination of 10 % and 90 % disruptive discharge probabilities respectively	65
Figure A.3 – Examples of progressive stress (Class 3) tests	66
Figure B.1 – Recorded and base curves showing overshoot and residual curve	72
Figure B.2 – Test voltage curve (addition of base curve and filtered residual curve)	73
Figure B.3 – Recorded and test voltage curves	73
Figure E.1 – Atmospheric pressure as a function of altitude	87
Table 1 – Values of exponents, m for air density correction and w for humidity correction, as a function of the parameter g	40
Table 2 – Precipitation conditions for standard procedure	44
Table A.1 – Discharge probabilities in up-and-down testing	68
Table E.1 – Altitudes and air pressure of some locations	87
Table E.2 – Initial K_t and its sensitivity coefficients with respect to U_{50} for the example of the standard phase-to-earth AC test voltage of 395 kV	88
Table E.3 – Initial and converged K_t values for the example of the standard phase-to-earth AC test voltage of 395 kV	95

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

HIGH-VOLTAGE TEST TECHNIQUES –

Part 1: General **definitions** **terminology** and test requirements

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.

This redline version of the official IEC Standard allows the user to identify the changes made to the previous edition IEC 60060-1:2010. A vertical bar appears in the margin wherever a change has been made. Additions are in green text, deletions are in strikethrough red text.

IEC 60060-1 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 have been updated and improved to make the standard easier to use, particularly the clauses for combined and composite test voltages.
- b) The positive tolerance of the front time of lightning impulse voltage has been extended for $U_m > 800 \text{ kV}$ to 100 % (= 2,4 μs).
- c) For switching impulse voltage, a front time has been introduced, similar to lightning impulse voltage and with the new front time the standard switching impulse is defined as 170/2 500 μs .
- d) The requirements for precipitations in wet tests have been adjusted depending on U_m .
- e) A new Annex C, "Procedure for manual calculation from graphical waveforms" has been incorporated.
- f) Examples of software packages have been removed in Annex D, "Guidance for implementing software for evaluation of lightning impulse voltage parameters".
- g) The annex relating to the "Background to the introduction of the test voltage factor for evaluation of impulses with overshoot" has been deleted.
- h) A new informative Annex F, "New definition of the front time of switching impulse voltage" has been incorporated.

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

Draft	Report on voting
42/444/FDIS	42/454A/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 the 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 1: General ~~definitions~~ terminology and test requirements

1 Scope

This part of IEC 60060 is applicable to:

- dielectric tests with direct voltage;
- dielectric tests with alternating voltage;
- dielectric tests with impulse voltage;
- dielectric tests with combinations of the above.

This document is applicable to tests on equipment having its highest voltage for equipment U_m above 1,0 kV AC and 1,5 kV DC.

NOTE 1 Alternative test procedures ~~may~~ can be required to obtain reproducible and significant results. The choice of a suitable test procedure ~~should be made~~ is considered by the relevant Technical Committee.

NOTE 2 For voltages U_m above 800 kV ~~meeting~~ it is possible that some specified procedures, tolerances and uncertainties ~~may~~ will not be achievable.

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

~~IEC 60270, High-voltage test techniques – Partial discharge measurements~~

~~IEC 60507:1991, Artificial pollution tests on high-voltage insulators to be used on a.c. systems~~

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

IEC 61083-2, ~~Digital recorders for measurements in high-voltage impulse tests – Part 2: Evaluation of software used for the determination of the parameters of impulse waveforms~~
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

IEC 62475, *High-current test techniques – Definitions and requirements for test currents and measuring systems*

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

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

**Techniques d'essais à haute tension –
Partie 1: Terminologie générale et exigences d'essai**

CONTENTS

FOREWORD	6
1 Scope	8
2 Normative references	8
3 Terms and definitions	8
3.1 Terms related to characteristics of discharges	9
3.2 Terms related to characteristics of the test voltage	9
3.3 Terms related to tolerance and uncertainty	10
3.4 Terms related to statistical characteristics of disruptive discharge voltage values	10
3.5 Terms related to classification of insulation in test objects	12
3.6 Definitions for direct voltage tests	13
3.7 Terms for alternating voltage tests	13
3.8 Terms for lightning impulse voltage tests	14
3.9 Terms for switching impulse voltage tests	22
3.10 Terms for combined voltage tests	24
3.11 Terms for composite voltage tests	26
4 General requirements	29
4.1 General requirements for test procedures	29
4.2 Arrangement of the test object in dry tests	29
4.3 Atmospheric corrections in dry tests	30
4.3.1 Standard reference atmosphere	30
4.3.2 Atmospheric correction factors for air gaps	30
4.3.3 Application of correction factors	30
4.3.4 Correction factor components	31
4.3.5 Measurement of atmospheric parameters	35
4.3.6 Conflicting requirements for testing internal and external insulation	36
4.4 Wet tests	37
4.4.1 Wet test procedure	37
4.4.2 Atmospheric corrections for wet tests	38
4.5 Artificial pollution tests	38
5 Tests with direct voltage	39
5.1 Test voltage	39
5.1.1 Requirements for the test voltage	39
5.1.2 Generation of the test voltage	39
5.1.3 Measurement of the test voltage	39
5.1.4 Measurement of the test current	39
5.2 Test procedures	40
5.2.1 Withstand voltage tests	40
5.2.2 Disruptive discharge voltage tests	40
5.2.3 Assured disruptive discharge voltage tests	41
6 Tests with alternating voltage	41
6.1 Test voltage	41
6.1.1 Requirements for the test voltage	41
6.1.2 Generation of the test voltage	42
6.1.3 Measurement of the test voltage	43
6.1.4 Measurement of the test current	43
6.2 Test procedures	43

6.2.1	Withstand voltage tests.....	43
6.2.2	Disruptive discharge voltage tests	44
6.2.3	Assured disruptive discharge voltage tests	44
7	Tests with lightning impulse voltage.....	44
7.1	Test voltage	44
7.1.1	Requirements for test voltages	44
7.1.2	Generation of the test voltage.....	45
7.1.3	Measurement of the test voltage and determination of impulse shape.....	45
7.1.4	Measurement of current during tests with impulse voltages	46
7.2	Test procedures	46
7.2.1	Withstand voltage tests.....	46
7.2.2	Assured disruptive discharge voltage tests	47
8	Tests with switching impulse voltage	47
8.1	Test voltage	47
8.1.1	Requirements for test voltages	47
8.1.2	Generation of the test voltage.....	48
8.1.3	Measurement of test voltage and determination of impulse shape.....	48
8.1.4	Measurement of current during tests with impulse voltages	48
8.2	Test procedures	48
9	Tests with combined voltages	49
9.1	General.....	49
9.2	Test voltage	49
9.2.1	Requirements for the test voltage	49
9.2.2	Generation of test voltages	49
9.2.3	Measurement of the test voltage	50
9.3	Test procedures	50
10	Tests with composite voltages	50
10.1	General.....	50
10.2	Test voltage	50
10.2.1	Requirements for the test voltage	50
10.2.2	Generation of test voltages	51
10.2.3	Measurement of the test voltage	51
10.3	Test procedures	51
Annex A (informative)	Statistical treatment of test results	52
A.1	Classification of tests	52
A.1.1	General	52
A.1.2	Class 1: Multiple-level tests (Figure A.1).....	52
A.1.3	Class 2: Up-and-down tests (Figure A.2)	52
A.1.4	Class 3: Progressive stress tests (Figure A.3)	53
A.2	Statistical behaviour of disruptive discharge.....	53
A.2.1	General	53
A.2.2	Confidence limits	53
A.3	Analysis of test results	54
A.3.1	General	54
A.3.2	Treatment of results from Class 1 tests.....	57
A.3.3	Treatment of results from Class 2 tests.....	58
A.3.4	Treatment of results from Class 3 tests.....	59
A.4	Application of maximum likelihood methods	60

Annex B (normative) Procedures for calculation of parameters of standard lightning impulse voltages without or with superimposed overshoot or oscillations	62
B.1 General remarks	62
B.2 Basis of the procedures	62
B.3 Procedure for evaluation of parameters of full lightning impulses	62
B.4 Procedure for evaluation of parameters of tail chopped lightning impulses	65
Annex C (informative) Procedure for manual calculation from graphical waveforms	67
Annex D (informative) Guidance for implementing software for evaluation of lightning impulse voltage parameters	68
D.1 Guidance for implementing base curve fitting	68
D.2 Example of a digital filter for implementation of the test voltage function	68
Annex E (informative) Iterative calculation method in the converse procedure for the determination of the atmospheric correction factor	70
E.1 Introductory remarks	70
E.2 Change of atmospheric pressure with altitude	70
E.3 Sensitivity of K_t to U_{50}	71
E.4 Calculation with the iterative calculation procedure	72
E.5 Comment	77
Annex F (informative) Front time and time to peak of switching impulse voltage	78
F.1 Front time of switching impulse	78
F.2 Time to peak for standard switching impulse voltage	78
F.3 Time to peak and front time for standard switching impulse voltage	78
F.4 Non-standard switching impulse voltage	79
Bibliography	80
Figure 1 – Full lightning impulse voltage	14
Figure 2 – Test voltage function	16
Figure 3 – Full impulse voltage time parameters	17
Figure 4 – Voltage time interval	18
Figure 5 – Voltage integral	19
Figure 6 – Lightning impulse voltage chopped on the front	20
Figure 7 – Lightning impulse voltage chopped on the tail	20
Figure 8 – Linearly rising front-chopped impulse	21
Figure 9 – Voltage versus time curve for impulses of constant prospective shape	22
Figure 10 – Switching impulse voltage	23
Figure 11 – Circuit for a combined voltage test	24
Figure 12 – Schematic example for combined voltage (AC + positive impulse) between two HV terminals	25
Figure 13 – Examples of time delay Δt	26
Figure 14 – Circuit for a composite voltage test	27
Figure 15 – Schematic example for composite voltage (AC and positive impulse) between one HV terminal and earth	28
Figure 16 – Examples of time delay Δt	28
Figure 17 – Recommended minimum clearance D of extraneous live or earthed objects to the energized electrode of a test object, during an AC or positive switching impulse test at the maximum voltage U applied during the test	29

Figure 18 – k as a function of the ratio of the absolute humidity h to the relative air density δ (see 4.3.4.2 for limits of applicability)	33
Figure 19 – Values of exponents m (a) and w (b) for humidity correction as a function of parameter g	34
Figure 20 – Absolute humidity of air as a function of dry and wet-bulb thermometer readings.....	36
Figure A.1 – Example of a multiple-level (Class 1) test	55
Figure A.2 – Examples of decreasing and increasing up-and-down (Class 2) tests for determination of 10 % and 90 % disruptive discharge probabilities respectively	56
Figure A.3 – Examples of progressive stress (Class 3) tests	57
Figure B.1 – Recorded and base curves showing overshoot and residual curve	63
Figure B.2 – Test voltage curve (addition of base curve and filtered residual curve).....	63
Figure B.3 – Recorded and test voltage curves	64
Figure E.1 – Atmospheric pressure as a function of altitude	71
Table 1 – Values of exponents, m for air density correction and w for humidity correction, as a function of the parameter g	34
Table 2 – Precipitation conditions for standard procedure	38
Table A.1 – Discharge probabilities in up-and-down testing	59
Table E.1 – Altitudes and air pressure of some locations	71
Table E.2 – Initial K_t and its sensitivity coefficients with respect to U_{50} for the example of the standard phase-to-earth AC test voltage of 395 kV	72
Table E.3 – Initial and converged K_t values for the example of the standard phase-to-earth AC test voltage of 395 kV.....	77

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

HIGH-VOLTAGE TEST TECHNIQUES –

Part 1: General terminology and test requirements

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 60060-1 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 have been updated and improved to make the standard easier to use, particularly the clauses for combined and composite test voltages.
- b) The positive tolerance of the front time of lightning impulse voltage has been extended for $U_m > 800 \text{ kV}$ to 100 % (= 2,4 μs).

- c) For switching impulse voltage, a front time has been introduced, similar to lightning impulse voltage and with the new front time the standard switching impulse is defined as 170/2 500 μ s.
- d) The requirements for precipitations in wet tests have been adjusted depending on U_m .
- e) A new Annex C, "Procedure for manual calculation from graphical waveforms" has been incorporated.
- f) Examples of software packages have been removed in Annex D, "Guidance for implementing software for evaluation of lightning impulse voltage parameters".
- g) The annex relating to the "Background to the introduction of the test voltage factor for evaluation of impulses with overshoot" has been deleted.
- h) A new informative Annex F, "New definition of the front time of switching impulse voltage" has been incorporated.

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

Draft	Report on voting
42/444/FDIS	42/454A/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 the 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 1: General terminology and test requirements

1 Scope

This part of IEC 60060 is applicable to:

- dielectric tests with direct voltage;
- dielectric tests with alternating voltage;
- dielectric tests with impulse voltage;
- dielectric tests with combinations of the above.

This document is applicable to tests on equipment having its highest voltage for equipment U_m above 1,0 kV AC and 1,5 kV DC.

NOTE 1 Alternative test procedures can be required to obtain reproducible and significant results. The choice of a suitable test procedure is considered by the relevant Technical Committee.

NOTE 2 For voltages U_m above 800 kV it is possible that some specified procedures, tolerances and uncertainties will not be achievable.

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

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*

IEC 62475, *High-current test techniques – Definitions and requirements for test currents and measuring systems*

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	86
1 Domaine d'application	88
2 Références normatives	88
3 Termes et définitions	88
3.1 Termes relatifs aux caractéristiques des décharges	89
3.2 Termes relatifs aux caractéristiques de la tension d'essai	89
3.3 Termes relatifs à la tolérance et à l'incertitude	90
3.4 Termes relatifs aux caractéristiques des valeurs des tensions de décharge disruptive	90
3.5 Termes relatifs à la classification des isolations des objets en essai	92
3.6 Définitions relatives aux essais sous une tension continue	93
3.7 Termes relatifs aux essais sous une tension alternative	93
3.8 Termes relatifs aux essais sous une tension de choc de foudre	94
3.9 Termes relatifs aux essais sous une tension de choc de manœuvre	102
3.10 Termes relatifs aux essais sous des tensions combinées	104
3.11 Termes relatifs aux essais sous des tensions composites	106
4 Exigences générales	109
4.1 Exigences générales pour les procédures d'essai	109
4.2 Montage de l'objet en essai lors des essais à sec	109
4.3 Corrections atmosphériques lors des essais à sec	110
4.3.1 Atmosphère de référence normalisée	110
4.3.2 Facteurs de correction atmosphérique pour les intervalles d'air	110
4.3.3 Application des facteurs de correction	111
4.3.4 Composantes des facteurs de correction	112
4.3.5 Mesurage des paramètres atmosphériques	115
4.3.6 Exigences contradictoires entre les essais des isolations internes et externes	117
4.4 Essais sous pluie	117
4.4.1 Procédure d'essai sous pluie	117
4.4.2 Corrections atmosphériques lors des essais sous pluie	119
4.5 Essais sous pollution artificielle	119
5 Essais sous une tension continue	119
5.1 Tension d'essai	119
5.1.1 Exigences relatives à la tension d'essai	119
5.1.2 Génération de la tension d'essai	119
5.1.3 Mesurage de la tension d'essai	120
5.1.4 Mesurage du courant d'essai	121
5.2 Procédures d'essai	121
5.2.1 Essais de tenue en tension	121
5.2.2 Essais sous une tension de décharge disruptive	122
5.2.3 Essais sous une tension de décharge disruptive assurée	122
6 Essais sous une tension alternative	122
6.1 Tension d'essai	122
6.1.1 Exigences relatives à la tension d'essai	122
6.1.2 Génération de la tension d'essai	123
6.1.3 Mesurage de la tension d'essai	125
6.1.4 Mesurage du courant d'essai	125

6.2	Procédures d'essai	125
6.2.1	Essais de tenue en tension	125
6.2.2	Essais sous une tension de décharge disruptive	125
6.2.3	Essais sous une tension de décharge disruptive assurée.....	125
7	Essais sous une tension de choc de foudre	126
7.1	Tension d'essai	126
7.1.1	Exigences relatives aux tensions d'essai	126
7.1.2	Génération de la tension d'essai	127
7.1.3	Mesurage de la tension d'essai et détermination de la forme de la tension de choc	127
7.1.4	Mesurage du courant lors des essais sous des tensions de choc	128
7.2	Procédures d'essai	128
7.2.1	Essais de tenue en tension	128
7.2.2	Essais sous une tension de décharge disruptive assurée.....	129
8	Essais sous une tension de choc de manœuvre.....	129
8.1	Tension d'essai	129
8.1.1	Exigences relatives aux tensions d'essai	129
8.1.2	Génération de la tension d'essai	130
8.1.3	Mesurage de la tension d'essai et détermination de la forme de la tension de choc	130
8.1.4	Mesurage du courant lors des essais sous des tensions de choc	130
8.2	Procédures d'essai	131
9	Essais sous des tensions combinées	131
9.1	Généralités	131
9.2	Tension d'essai	131
9.2.1	Exigences relatives à la tension d'essai	131
9.2.2	Génération des tensions d'essai	132
9.2.3	Mesurage de la tension d'essai	132
9.3	Procédures d'essai	132
10	Essais sous des tensions composites	133
10.1	Généralités	133
10.2	Tension d'essai	133
10.2.1	Exigences relatives à la tension d'essai	133
10.2.2	Génération des tensions d'essai	133
10.2.3	Mesurage de la tension d'essai	133
10.3	Procédures d'essai	134
Annexe A	(informative) Traitement statistique des résultats d'essai	135
A.1	Classification des essais	135
A.1.1	Généralités	135
A.1.2	Classe 1: Essais par échelons multiples (Figure A.1).....	135
A.1.3	Classe 2: Essais de montée et de descente (Figure A.2)	135
A.1.4	Classe 3: Essais sous des contraintes progressives (Figure A.3).....	136
A.2	Comportement statistique d'une décharge disruptive	136
A.2.1	Généralités	136
A.2.2	Limites de confiance	137
A.3	Analyse des résultats d'essai	137
A.3.1	Généralités	137
A.3.2	Traitement des résultats à partir des essais de Classe 1	140
A.3.3	Traitement des résultats à partir des essais de Classe 2	141

A.3.4	Traitement des résultats à partir des essais de Classe 3	142
A.4	Application des méthodes de vraisemblance maximale	143
Annexe B (normative)	Procédures de calcul des paramètres des tensions de choc de foudre normalisées avec et sans oscillations ou dépassements superposés	145
B.1	Remarques générales	145
B.2	Principes fondamentaux des procédures	145
B.3	Procédure pour l'évaluation des paramètres des tensions de choc de foudre pleines	145
B.4	Procédure pour l'évaluation des paramètres des tensions de choc de foudre coupées sur la queue	148
Annexe C (informative)	Procédure de calcul manuel à partir de formes d'ondes graphiques	150
Annexe D (informative)	Recommandations pour la mise en œuvre d'un logiciel d'évaluation des paramètres des tensions de choc de foudre	151
D.1	Recommandations pour la mise en œuvre de l'ajustement à la courbe de référence	151
D.2	Exemple de filtre numérique pour la mise en œuvre de la fonction de tension d'essai	151
Annexe E (informative)	Méthode de calcul itératif de la procédure réciproque pour la détermination du facteur de correction atmosphérique	153
E.1	Remarques introductives	153
E.2	Variation de la pression atmosphérique avec l'altitude	153
E.3	Sensibilité de K_t à U_{50}	154
E.4	Calcul avec la procédure de calcul itératif	155
E.5	Commentaire	161
Annexe F (informative)	Durée du front et durée jusqu'à la valeur de crête pour les tensions de choc de manœuvre	162
F.1	Durée du front des tensions de choc de manœuvre	162
F.2	Durée jusqu'à la valeur de crête des tensions de choc de manœuvre normalisées	162
F.3	Durée jusqu'à la valeur de crête et durée du front des tensions de choc de manœuvre normalisées	163
F.4	Tension de choc de manœuvre non normalisée	163
Bibliographie		164
Figure 1	– Tension de choc de foudre pleine	94
Figure 2	– Fonction de tension d'essai	96
Figure 3	– Paramètres de temps de la tension de choc pleine	97
Figure 4	– Intervalle temps-tension	98
Figure 5	– Intégrale de tension	99
Figure 6	– Tension de choc de foudre coupée sur le front	100
Figure 7	– Tension de choc de foudre coupée sur la queue	100
Figure 8	– Tension de choc coupée sur le front caractérisée par une augmentation linéaire	101
Figure 9	– Courbe tension-temps pour des tensions de choc avec une forme présumée constante	102
Figure 10	– Tension de choc de manœuvre	103
Figure 11	– Circuit pour un essai sous des tensions combinées	104

Figure 12 – Exemple schématique pour une tension combinée (tension alternative et tension de choc positive) appliquée à deux bornes HT	105
Figure 13 – Exemples de retards de temps Δt	106
Figure 14 – Circuit pour un essai sous des tensions composites	107
Figure 15 – Exemple schématique pour une tension composite (tension alternative et tension de choc positive) appliquée à une borne HT et la terre	108
Figure 16 – Exemples de retards de temps Δt	108
Figure 17 – Distance d'isolement D minimale recommandée entre les objets externes sous tension ou mis à la terre et l'électrode sous tension d'un objet en essai, lors d'un essai effectué sous une tension alternative ou sous une tension de choc de manœuvre positive à la tension d'essai maximale U	110
Figure 18 – Paramètre k en fonction du rapport de l'humidité absolue h sur la masse volumique relative de l'air δ (voir le 4.3.4.2 pour les limites d'application)	113
Figure 19 – valeurs des exposants m (a) et w (b) pour la correction de l'humidité en fonction du paramètre g	115
Figure 20 – Humidité absolue de l'air en fonction des lectures de thermomètres à bulbes sec et humide	116
Figure A.1 – Exemple d'essai par échelons multiples (Classe 1)	138
Figure A.2 – Exemples d'essais de montée et de descente (Classe 2) pour la détermination des probabilités de décharges disruptives à 10 % et 90 %, respectivement	139
Figure A.3 – Exemples d'essais sous des contraintes progressives (Classe 3)	140
Figure B.1 – Courbe enregistrée et courbe de référence montrant un dépassement, et courbe résiduelle	146
Figure B.2 – Courbe de la tension d'essai (somme de la courbe de référence et de la courbe résiduelle filtrée)	146
Figure B.3 – Courbe enregistrée et courbe de la tension d'essai	147
Figure E.1 – Pression atmosphérique en fonction de l'altitude	154
Tableau 1 – Valeurs de l'exposant m pour la correction de la masse volumique de l'air et de l'exposant w pour la correction de l'humidité en fonction du paramètre g	114
Tableau 2 – Conditions d'aspersion pour la procédure normalisée	118
Tableau A.1 – Probabilités de décharges lors des essais de montée et de descente	142
Tableau E.1 – Altitudes et pression atmosphérique à des emplacements spécifiques	154
Tableau E.2 – Valeur initiale de K_t et ses coefficients de sensibilité à U_{50} pour l'exemple de la tension normale d'essai alternative phase-terre fixée à 395 kV	155
Tableau E.3 – Valeurs initiales et après convergence de K_t pour l'exemple de la tension normale d'essai alternative phase-terre fixée à 395 kV	160

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

TECHNIQUES DES ESSAIS À HAUTE TENSION –

Partie 1: Terminologie générale et exigences d'essai

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 60060-1 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, en particulier les articles et paragraphes relatifs aux tensions d'essai combinées et composites;
- b) La tolérance positive sur la durée du front des tensions de choc de foudre a été portée à 100 % (= 2,4 μ s) pour $U_m > 800$ kV.
- c) Pour les tensions de choc de manœuvre, une durée du front a été adoptée de manière analogue aux tensions de choc de foudre; avec la nouvelle durée du front, la tension de choc de manœuvre normalisée est fixée à 170/2 500 μ s.
- d) Les exigences d'aspersion dans les essais sous pluie ont été adaptées en fonction de U_m .
- e) Une nouvelle Annexe C, "Procédure de calcul manuel à partir de formes d'ondes graphiques" a été ajoutée.
- f) Les exemples d'ensembles logiciels ont été enlevés de l'Annexe D, "Recommandations pour la mise en œuvre d'un logiciel d'évaluation des paramètres des tensions de choc de foudre".
- g) L'annexe intitulée "Arrière-plan de l'introduction du facteur de tension d'essai pour l'évaluation des chocs avec dépassement" a été supprimée.
- h) Une nouvelle Annexe F informative, "Nouvelle définition de la durée du front des tensions de choc de manœuvre" a été ajoutée.

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

Projet	Rapport de vote
42/444/FDIS	42/454A/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.

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 1: Terminologie générale et exigences d'essai

1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 60060 s'applique aux:

- essais diélectriques sous une tension continue;
- essais diélectriques sous une tension alternative;
- essais diélectriques sous une tension de choc;
- essais diélectriques qui combinent les essais ci-dessus.

Le présent document s'applique aux essais de matériels dont la tension U_m du matériel la plus élevée est supérieure à 1,0 kV en tension alternative et à 1,5 kV en tension continue.

NOTE 1 Des variantes aux procédures d'essai peuvent être exigées pour obtenir des résultats reproductibles et pertinents. Il convient que le Comité d'études compétent choisisse la procédure d'essai appropriée.

NOTE 2 Pour les tensions U_m supérieures à 800 kV, il est possible que certaines des procédures, tolérances et incertitudes spécifiées ne soient pas réalisables.

2 Références normatives

Les documents suivants sont cités dans le texte de sorte qu'ils 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 60060-2, *Techniques des essais à haute tension – Partie 2: Systèmes de mesure*

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*

IEC 62475, *Techniques des essais à haute intensité – Définitions et exigences relatives aux courants d'essai et systèmes de mesure*