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.

® Registered trademark of the International Electrotechnical Commission

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 ....~~
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 without or with superimposed overshoot or oscillations 71
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
Annex C (informative) Procedure for manual calculation from graphical waveforms 76
Annex D (informative) Guidance for implementing software for evaluation of lightning impulse voltage parameters 77
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 86
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
Annex F (informative) Front time and time to peak of switching impulse voltage 97
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 99

Figure 1 – Full lightning impulse voltage 15
Figure 2 – Test voltage function 17
Figure 3 – Full impulse voltage time parameters 19
Figure 4 – Voltage time interval 20
Figure 5 – Voltage integral 20
Figure 6 – Lightning impulse voltage chopped on the front 21
Figure 7 – Lightning impulse voltage chopped on the tail 22
Figure 8 – Linearly rising front-chopped impulse 22
Figure 9 – Voltage~~/~~ versus time curve for impulses of constant prospective shape 23
Figure 10 – Switching impulse voltage 25
Figure 11 – Circuit for a combined voltage test 30
Figure 12 – Schematic example for combined voltage (AC + positive impulse) between two HV terminals 31
Figure 13 – Examples of time delay Δt 32
Figure 14 – Circuit for a composite voltage test 33
Figure 15 – Schematic example for composite voltage (AC and positive impulse) between one HV terminal and earth 34
Figure 16 – Examples of time delay Δt 34

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 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*

IEC 60060-1

Edition 4.0 2025-04

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



IEC 60060-1:2025-04(en-fr)

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 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 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 µs) 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 µs.

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*