

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



**Insulation co-ordination –
Part 1: Definitions, principles and rules**

**Coordination de l'isolement –
Partie 1: Définitions, principes et règles**



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2011 IEC, Geneva, Switzerland

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

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

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

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

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

About the IEC

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

About IEC publications

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

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

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 It also gives information on projects, withdrawn and replaced publications.

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

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

- Electropedia: www.electropedia.org

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

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

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

Email: csc@iec.ch

Tel.: +41 22 919 02 11

Fax: +41 22 919 03 00

A propos de la CEI

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

A propos des publications CEI

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

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

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

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

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

- Electropedia: www.electropedia.org

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

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

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

Email: csc@iec.ch

Tél.: +41 22 919 02 11

Fax: +41 22 919 03 00



IEC 60071-1

Edition 8.1 2011-03

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



**Insulation co-ordination –
Part 1: Definitions, principles and rules**

**Coordination de l'isolement –
Partie 1: Définitions, principes et règles**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 29.080.30

ISBN 978-2-8891-4947-5

CONTENTS

FOREWORD.....	4
1 Scope.....	6
2 Normative references	6
3 Terms and definitions	7
4 Symbols and abbreviations.....	14
4.1 General.....	14
4.2 Subscripts	14
4.3 Letter symbols.....	14
4.4 Abbreviations	15
5 Procedure for insulation co-ordination	15
5.1 General outline of the procedure	15
5.2 Determination of the representative voltages and overvoltages (U_{rp})	17
5.3 Determination of the co-ordination withstand voltages (U_{ov})	18
5.4 Determination of the required withstand voltage (U_{rw})	18
5.5 Selection of the rated insulation level	19
5.6 List of standard rated short-duration power frequency withstand voltages	20
5.7 List of standard rated impulse withstand voltages	20
5.8 Ranges for highest voltage for equipment	20
5.9 Environmental conditions	20
5.10 Selection of the standard insulation level.....	21
5.11 Background of the standard insulation levels.....	25
6 Requirements for standard withstand voltage tests	27
6.1 General requirements.....	27
6.2 Standard short-duration power frequency withstand voltage tests	28
6.3 Standard impulse withstand voltage tests	28
6.4 Alternative test situation	29
6.5 Phase-to-phase and longitudinal insulation standard withstand voltage tests for equipment in range I	29
6.6 Phase-to-phase and longitudinal insulation standard withstand voltage tests for equipment in range II	30
Annex A (normative) Clearances in air to assure a specified impulse withstand voltage installation	31
Annex B (informative) Values of rated insulation levels for $1\text{ kV} < U_m \leq 245\text{ kV}$ for highest voltages for equipment U_m not standardized by IEC based on current practice in some countries	36
Bibliography.....	37
Figure 1 – Flow chart for the determination of rated or standard insulation level	16

Table 1 – Classes and shapes of overvoltages, Standard voltage shapes and Standard withstand voltage tests	17
Table 2 – Standard insulation levels for range I ($1\text{ kV} < U_m \leq 245\text{ kV}$).....	23
Table 3 – Standard insulation levels for range II ($U_m > 245\text{ kV}$)	24
Table A.1 – Correlation between standard rated lightning impulse withstand voltages and minimum air clearances	32
Table A.2 – Correlation between standard rated switching impulse withstand voltages and minimum phase-to-earth air clearances.....	34
Table A.3 – Correlation between standard rated switching impulse withstand voltages and minimum phase-to-phase air clearances	35
Table B.1- Values of rated insulation levels for $1\text{ kV} < U_m \leq 245\text{ kV}$ for highest voltages for equipment U_m not standardized by IEC based on current practice in some countries	36

IECNORM.COM

Click to view the full PDF of IEC 60071-1:2006+A1:2010

Without watermark

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

INSULATION CO-ORDINATION –

Part 1: Definitions, principles and rules

FOREWORD

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

This consolidated version of IEC 60071-1 consists of the eight edition (2006) [documents 28/176/FDIS and 28/177/RVC] and its amendment 1 (2010) [documents 28/198A/FDIS and 28/201/RVD]. It bears the edition number 8.1.

The technical content is therefore identical to the base edition and its amendment and has been prepared for user convenience. A vertical line in the margin shows where the base publication has been modified by amendment 1. Additions and deletions are displayed in red, with deletions being struck through.

International Standard IEC 60071-1 has been prepared by IEC technical committee 28: Insulation co-ordination.

The main changes from the previous edition are as follows:

- in the definitions (3.26, 3.28 and 3.29) and in the environmental conditions (5.9) taken into account clarification of the atmospheric and altitude corrections involved in the insulation co-ordination process;
- in the list of standard rated short-duration power frequency withstand voltages reported in 5.6 addition of 115 kV;
- in the list of standard rated impulse withstand voltages reported in 5.7, addition of 200 kV and 380 kV;
- in the standard insulation levels for range I ($1\text{ kV} < U_m \leq 245\text{ kV}$) (Table 2) addition of the highest voltage for equipment $U_m = 100\text{ kV}$;
- in the standard insulation levels for range II ($U_m > 245\text{ kV}$) (Table 3) replacement of 525 kV by 550 kV and of 765 kV by 800 kV;
- in order to remove that part in the next revision of IEC 60071-2, addition of Annex A dealing with clearances in air to assure a specified impulse withstand voltage in installation;
- in Annex B, limitation at two U_m values for the values of rated insulation levels for $1\text{ kV} < U_m \leq 245\text{ kV}$ for highest voltages for equipment U_m not standardized by IEC based on current practice in some countries.

This publication has been drafted in accordance with the ISO/IEC Directives, Part 2.

The IEC 60071 comprises the following parts under the general title *Insulation co-ordination*:

Part 1: Definitions, principles and rules

Part 2: Application guide

Part 4: Computational guide to insulation co-ordination and modelling of electrical networks

Part 5: Procedures for high-voltage direct current (HVDC) converter stations

The committee has decided that the contents of the base publication and its amendments will remain unchanged until the stability date indicated on the IEC web site under "<http://webstore.iec.ch>" in the data related to the specific publication. At this date, the publication will be

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

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

INSULATION CO-ORDINATION –

Part 1: Definitions, principles and rules

1 Scope

This part of IEC 60071 applies to three-phase a.c. systems having a highest voltage for equipment above 1 kV. It specifies the procedure for the selection of the rated withstand voltages for the phase-to-earth, phase-to-phase and longitudinal insulation of the equipment and the installations of these systems. It also gives the lists of the standard withstand voltages from which the rated withstand voltages should be selected.

This standard recommends that the selected withstand voltages should be associated with the highest voltage for equipment. This association is for insulation co-ordination purposes only. The requirements for human safety are not covered by this standard.

Although the principles of this standard also apply to transmission line insulation, the values of their withstand voltages may be different from the standard rated withstand voltages.

The apparatus committees are responsible for specifying the rated withstand voltages and the test procedures suitable for the relevant equipment taking into consideration the recommendations of this standard.

NOTE In IEC 60071-2, Application Guide, all rules for insulation co-ordination given in this standard are justified in detail, in particular the association of the standard rated withstand voltages with the highest voltage for equipment. When more than one set of standard rated withstand voltages is associated with the same highest voltage for equipment, guidance is provided for the selection of the most suitable set.

2 Normative references

The following referenced documents are indispensable for the application 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 60038:2002, *IEC standard voltages*

IEC 60060-1:1989, *High-voltage test techniques – Part 1: General definitions and test requirements*

IEC 60071-2, *Insulation co-ordination – Part 2: Application guide*

IEC 60099-4, *Surge arresters – Part 4: Metal-oxide surge arresters without gaps for a.c. systems*

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

IEC 60633, *Terminology for high-voltage direct current (HVDC) transmission*

3 Terms and definitions

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

3.1

insulation co-ordination

selection of the dielectric strength of equipment in relation to the operating voltages and overvoltages which can appear on the system for which the equipment is intended and taking into account the service environment and the characteristics of the available preventing and protective devices

[IEC 604-03-08:1987, modified]

NOTE By "dielectric strength" of the equipment, is meant here its rated or its standard insulation level as defined in 3.35 and 3.36 respectively.

3.2

external insulation

distances in atmospheric air, and the surfaces in contact with atmospheric air of solid insulation of the equipment which are subject to dielectric stresses and to the effects of atmospheric and other environmental conditions from the site, such as pollution, humidity, vermin, etc.

[IEC 604-03-02:1987, modified]

NOTE External insulation is either weather protected or non-weather protected, designed to operate inside or outside closed shelters respectively.

3.3

internal insulation

internal distances of the solid, liquid, or gaseous insulation of equipment which are protected from the effects of atmospheric and other external conditions

[IEC 604-03-03:1987]

3.4

self-restoring insulation

insulation which, after a short time, completely recovers its insulating properties after a disruptive discharge during test

[IEC 604-03-04:1987, modified]

NOTE Insulation of this kind is generally, but not necessary, external insulation

3.5

non self-restoring insulation

insulation which loses its insulating properties, or does not recover them completely, after a disruptive discharge during test

[IEC 604-03-05:1987, modified]

NOTE The definitions of 3.4 and 3.5 apply only when the discharge is caused by the application of a test voltage during a dielectric test. However, discharges occurring in service may cause a self-restoring insulation to lose partially or completely its original insulating properties.

3.6

insulation configuration terminal

any of the terminals between any two of which a voltage that stresses the insulation can be applied. The types of terminal are:

- (a) phase terminal, between which and the neutral is applied in service the phase-to-neutral voltage of the system;
- (b) neutral terminal, representing, or connected to, the neutral point of the system (neutral terminal of transformers, etc.);
- (c) earth terminal, always solidly connected to earth in service (tank of transformers, base of disconnectors, structures of towers, ground plane, etc.).

3.7

insulation configuration

complete geometric configuration of the insulation in service, consisting of the insulation and of all terminals. It includes all elements (insulating and conducting) which influence its dielectric behaviour. The following insulation configurations are identified:

3.7.1

three-phase insulation configuration

configuration having three phase terminals, one neutral terminal and one earth terminal

3.7.2

phase-to-earth (p-e) insulation configuration

three-phase insulation configuration where two phase terminals are disregarded and, except in particular cases, the neutral terminal is earthed

3.7.3

phase-to-phase(p-p) insulation configuration

three-phase insulation configuration where one phase terminal is disregarded. In particular cases, the neutral and the earth terminals are also disregarded

3.7.4

longitudinal(t-t) insulation configuration

insulation configuration having two phase terminals and one earth terminal. The phase terminals belong to the same phase of a three-phase system temporarily separated into two independently energized parts (e.g. open switching devices). The four terminals belonging to the other two phases are disregarded or earthed. In particular cases one of the two phase terminals considered is earthed

3.8

nominal voltage of a system

U_n

suitable approximate value of voltage used to designate or identify a system

[IEC 601-01-21:1985]

3.9

highest voltage of a system

U_s

highest value of the phase-to-phase operating voltage (r.m.s. value) which occurs under normal operating conditions at any time and at any point in the system

[IEC 601-01-23:1985, modified]

3.10

highest voltage for equipment

U_m

highest value of phase-to-phase voltage (r.m.s. value) for which the equipment is designed in respect of its insulation as well as other characteristics which relate to this voltage in the relevant equipment Standards. Under normal service conditions specified by the relevant apparatus committee this voltage can be applied continuously to the equipment

[IEC 604-03-01:1987, modified]

3.11

isolated neutral system

system where the neutral point is not intentionally connected to earth, except for high impedance connections for protection or measurement purposes

[IEC 601-02-24:1985]

3.12**solidly earthed neutral system**

system whose neutral point(s) is(are) earthed directly

[IEC 601-02-25:1985]

3.13**impedance earthed (neutral) system**

system whose neutral point(s) is(are) earthed through impedances to limit earth fault currents

[IEC 601-02-26:1985]

3.14**resonant earthed (neutral) system**

system in which one or more neutral points are connected to earth through reactances which approximately compensate the capacitive component of a single-phase-to-earth fault current

[IEC 601-02-27:1985]

NOTE With resonant earthing of a system, the residual current in the fault is limited to such an extent that an arcing fault in air is usually self-extinguishing.

3.15**earth fault factor**

k

at a given location of a three-phase system, and for a given system configuration, the ratio of the highest r.m.s. phase-to-earth power frequency voltage on a healthy phase during a fault to earth affecting one or more phases at any point on the system to the r.m.s. phase-to-earth power frequency voltage which would be obtained at the given location in the absence of any such fault

[IEC 604-03-06:1987]

3.16**overvoltage**

any voltage:

- between one phase conductor and earth or across a longitudinal insulation having a peak value exceeding the peak of the highest voltage of the system divided by $\sqrt{3}$;

[IEC 604-03-09, modified] or

- between phase conductors having a peak value exceeding the amplitude of the highest voltage of the system

[IEC 604-03-09:1987, modified]

NOTE Unless otherwise clearly indicated, such as for surge arresters, overvoltage values expressed in p.u. refer to $U_s \times \sqrt{2}/\sqrt{3}$

3.17**classification of voltages and overvoltages**

according to their shape and duration, voltages and overvoltages are divided in the following classes

NOTE More details on the following six first voltages and overvoltages are also given in Table 1.

3.17.1**continuous (power frequency) voltage**

power-frequency voltage, considered having constant r.m.s. value, continuously applied to any pair of terminals of an insulation configuration

3.17.2

temporary overvoltage

TOV

power frequency overvoltage of relatively long duration

[IEC 604-03-12:1987, modified]

NOTE The overvoltage may be undamped or weakly damped. In some cases its frequency may be several times smaller or higher than power frequency.

3.17.3

transient overvoltage

short-duration overvoltage of few milliseconds or less, oscillatory or non-oscillatory, usually highly damped

[IEC 604-03-13:1987]

NOTE Transient overvoltages may be immediately followed by temporary overvoltages. In such cases the two overvoltages are considered as separate events.

Transient overvoltages are divided into:

3.17.3.1

slow-front overvoltage

SFO

transient overvoltage, usually unidirectional, with time to peak $20 \mu\text{s} < T_p \leq 5\,000 \mu\text{s}$, and tail duration $T_2 \leq 20 \text{ ms}$

3.17.3.2

fast-front overvoltage

FFO

transient overvoltage, usually unidirectional, with time to peak $0,1 \mu\text{s} < T_1 \leq 20 \mu\text{s}$, and tail duration $T_2 < 300 \mu\text{s}$

3.17.3.3

very-fast-front overvoltage

VFFO

transient overvoltage, usually unidirectional with time to peak $T_f \leq 0,1 \mu\text{s}$, and with or without superimposed oscillations at frequency $30 \text{ kHz} < f < 100 \text{ MHz}$

3.17.4

combined overvoltage

consisting of two voltage components simultaneously applied between each of the two phase terminals of a phase-to-phase (or longitudinal) insulation and earth. It is classified by the component of higher peak value (temporary, slow-front, fast-front or very-fast-front)

3.18

standard voltage shapes for test

the following voltage shapes are standardized:

NOTE More details on the following three first standard voltage shapes are given in IEC 60060-1 and also in Table 1.

3.18.1

standard short-duration power-frequency voltage

sinusoidal voltage with frequency between 48 Hz and 62 Hz, and duration of 60 s

3.18.2

standard switching impulse

impulse voltage having a time to peak of 250 μs and a time to half-value of 2 500 μs

3.18.3**standard lightning impulse**

impulse voltage having a front time of 1,2 μ s and a time to half-value of 50 μ s

3.18.4**standard combined switching impulse**

for phase-to-phase insulation, a combined impulse voltage having two components of equal peak value and opposite polarity.

The positive component is a standard switching impulse and the negative one is a switching impulse whose times to peak and half value should not be less than those of the positive impulse. Both impulses should reach their peak value at the same instant. The peak value of the combined voltage is, therefore, the sum of the peak values of the components

3.18.5**standard combined voltage**

for longitudinal insulation, a combined voltage having a standard impulse on one terminal and a power frequency voltage on the other terminal. The impulse component is applied at the peak of the power frequency voltage of opposite polarity

3.19**representative overvoltages**

U_{rp}

overvoltages assumed to produce the same dielectric effect on the insulation as overvoltages of a given class occurring in service due to various origins.

They consist of voltages with the standard shape of the class, and may be defined by one value or a set of values or a frequency distribution of values that characterize the service conditions

NOTE This definition also applies to the continuous power frequency voltage representing the effect of the service voltage on the insulation.

3.20**overvoltage limiting device**

device which limits the peak values of the overvoltages or their durations or both. They are classified as preventing devices (e.g., a preinsertion resistor), or as protective devices (e.g., a surge arrester)

3.21**lightning [or switching] impulse protective level**

U_{pl} [or U_{ps}]

maximum permissible peak voltage value on the terminals of a protective device subjected to lightning [or switching] impulses under specific conditions

[IEC 604-03-56:1987 and IEC 604-03-57:1987]

3.22**performance criterion**

basis on which the insulation is selected so as to reduce to an economically and operationally acceptable level the probability that the resulting voltage stresses imposed on the equipment will cause damage to equipment insulation or affect continuity of service. This criterion is usually expressed in terms of an acceptable failure rate (number of failures per year, years between failures, risk of failure, etc.) of the insulation configuration

3.23

withstand voltage

value of the test voltage to be applied under specified conditions in a withstand voltage test, during which a specified number of disruptive discharges is tolerated. The withstand voltage is designated as:

- a) conventional assumed withstand voltage, when the number of disruptive discharges tolerated is zero. It is deemed to correspond to a withstand probability $P_w = 100\%$;
- b) statistical withstand voltage, when the number of disruptive discharges tolerated is related to a specified withstand probability. In this standard, the specified probability is $P_w = 90\%$.

NOTE In this standard, for non-self-restoring insulation are specified conventional assumed withstand voltages, and for self-restoring insulation are specified statistical withstand voltages.

3.24

co-ordination withstand voltage

U_{cw}

for each class of voltage, the value of the withstand voltage of the insulation configuration in actual service conditions, that meets the performance criterion

3.25

co-ordination factor

K_c

factor by which the value of the representative overvoltage must be multiplied in order to obtain the value of the co-ordination withstand voltage

3.26

standard reference atmospheric conditions

atmospheric conditions to which the standardized withstand voltages apply (see 5.9)

3.27

required withstand voltage

U_{rw}

test voltage that the insulation must withstand in a standard withstand voltage test to ensure that the insulation will meet the performance criterion when subjected to a given class of overvoltages in actual service conditions and for the whole service duration. The required withstand voltage has the shape of the co-ordination withstand voltage, and is specified with reference to all the conditions of the standard withstand voltage test selected to verify it

3.28

atmospheric correction factor

K_t

factor to be applied to the co-ordination withstand voltage to account for the difference in dielectric strength between the average atmospheric conditions in service and the standard reference atmospheric conditions

It applies to external insulation only, for all altitudes

NOTE 1 The factor K_t allows the correction of test voltages taking into account the difference between the actual atmospheric conditions during test and the standard reference atmospheric conditions. For the factor K_t , the atmospheric conditions taken into account are air pressure, temperature and humidity.

NOTE 2 For insulation co-ordination purposes usually only the air pressure correction needs to be taken into account.

3.29

altitude correction factor

K_a

factor to be applied to the co-ordination withstand voltage to account for the difference in dielectric strength between the average pressure corresponding to the altitude in service and the standard reference pressure

NOTE The altitude correction factor K_a is part of the atmospheric correction factor K_t .

3.30**safety factor** **K_s**

overall factor to be applied to the co-ordination withstand voltage, after the application of the atmospheric correction factor (if required), to obtain the required withstand voltage, accounting for all other differences in dielectric strength between the conditions in service during life time and those in the standard withstand voltage test

3.31**actual withstand voltage of an equipment or insulation configuration** **U_{aw}**

highest possible value of the test voltage that can be applied to an equipment or insulation configuration in a standard withstand voltage test

3.32**test conversion factor** **K_{tc}**

for a given equipment or insulation configuration, the factor to be applied to the required withstand voltage of a given overvoltage class, in the case where the standard withstand shape of the selected withstand voltage test is that of a different overvoltage class

NOTE For a given equipment or insulation configuration: the test conversion factor of the standard voltage shape (a) to the standard voltage shape (b) must be higher than or equal to the ratio between the actual withstand voltage for the standard voltage shape (a) and the actual withstand voltage of the standard voltage shape (b).

3.33**rated withstand voltage**

value of the test voltage, applied in a standard withstand voltage test that proves that the insulation complies with one or more required withstand voltages. It is a rated value of the insulation of an equipment

3.34**standard rated withstand voltage** **U_w**

standard value of the rated withstand voltage as specified in this standard (see 5.6 and 5.7)

3.35**rated insulation level**

set of rated withstand voltages which characterize the dielectric strength of the insulation

3.36**standard insulation level**

set of standard rated withstand voltages which are associated to U_m as specified in this standard (see Table 2 and Table 3)

3.37**standard withstand voltage test**

dielectric test performed in specified conditions to prove that the insulation complies with a standard rated withstand voltage

NOTE 1 This standard covers:

- short-duration power-frequency voltage tests;
- switching impulse tests;
- lightning impulse tests;
- combined switching impulse tests;
- combined voltage tests.

NOTE 2 More detailed information on the standard withstand voltage tests are given in IEC 60060-1 (see also Table 1 for the test voltage shapes).

NOTE 3 The very-fast-front impulse standard withstand voltage tests should be specified by the relevant apparatus committees, if required.

4 Symbols and abbreviations

4.1 General

The list covers only the most frequently used symbols and abbreviations which are useful for insulation co-ordination.

4.2 Subscripts

p-e	related to phase to earth
t-t	related to longitudinal
max	maximum (IEC 60633)
p-p	related to phase to phase

4.3 Letter symbols

f	frequency
k	earth fault factor
K_t	atmospheric correction factor
K_a	altitude correction factor
K_c	co-ordination factor
K_s	safety factor
K_{tc}	test conversion factor
P_w	withstand probability
T_1	front time
T_2	time to half value of a decreasing voltage
T_p	time to peak value
T_t	total overvoltage duration
U_{aw}	the actual withstand voltage of an equipment or insulation configuration
U_{cw}	co-ordination withstand voltage
U_m	highest voltage for equipment
U_n	nominal voltage of a system
U_{pl}	lightning impulse protective level of a surge arrester
U_{ps}	switching impulse protective level of a surge arrester
U_{rp}	representative overvoltage
U_{rw}	required withstand voltage
U_s	highest voltage of a system
U_w	standard rated withstand voltage

4.4 Abbreviations

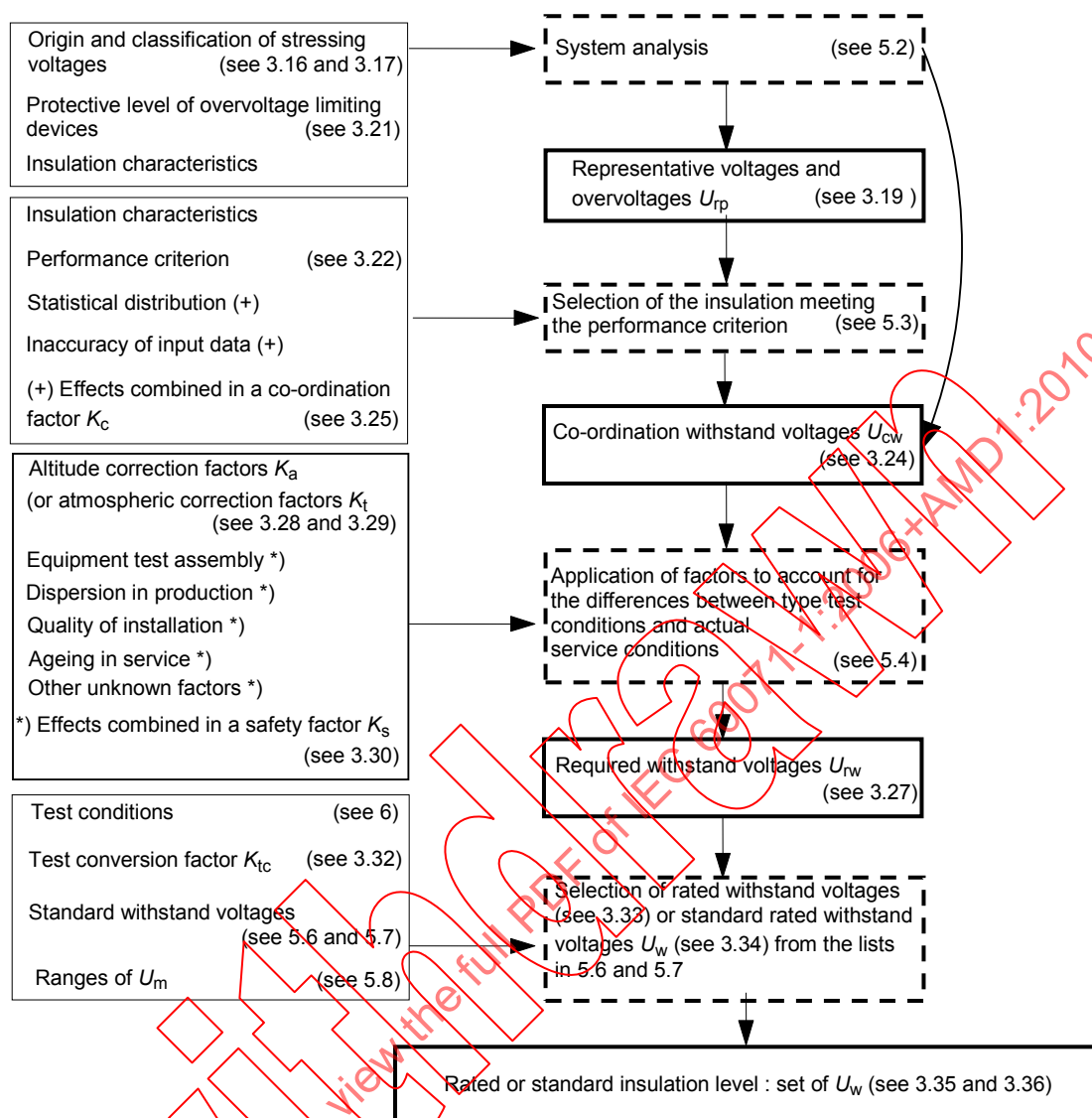
FFO	fast-front overvoltage
ACWV	standard rated short-duration power frequency withstand voltage of an equipment or insulation configuration
LIPL	lightning impulse protective level of a surge arrester
SIPL	switching impulse protective level of a surge arrester
LIWV	standard rated lightning impulse withstand voltage of an equipment or insulation configuration
SFO	slow-front overvoltage
SIWV	standard rated switching impulse withstand voltage of an equipment or insulation configuration
TOV	temporary overvoltage
VFFO	very-fast-front overvoltage

5 Procedure for insulation co-ordination

5.1 General outline of the procedure

The procedure for insulation co-ordination consists of the selection of the highest voltage for the equipment together with a corresponding set of standard rated withstand voltages which characterize the insulation of the equipment needed for the application. This procedure is outlined in Figure 1 and its steps are described in 5.1 to 5.5. The optimization of the selected set of U_w may require reconsideration of some input data and repetition of part of the procedure.

The rated withstand voltages shall be selected from the lists of standard rated withstand voltages given in 5.6 and 5.7. The set of selected standard voltages constitutes a rated insulation level. If the standard rated withstand voltages are also associated with the same U_m according to 5.10, this set constitutes a standard insulation level.



IEC 2781/05

NOTE In brackets the subclauses reporting the definition of the term or the description of the action.

- Sided boxes refer to required input
- Sided boxes refer to performed actions
- Sided boxes refer to obtained results

Figure 1 – Flow chart for the determination of rated or standard insulation level

5.2 Determination of the representative voltages and overvoltages (U_{rp})

The voltages and the overvoltages that stress the insulation shall be determined in amplitude, shape and duration by means of a system analysis which includes the selection and location of the overvoltage preventing and limiting devices.

For each class of voltages and overvoltages, this analysis shall then determine a representative voltage and overvoltage, taking into account the characteristics of the insulation with respect to the different behaviour at the voltage or overvoltage shapes in the system and at the standard voltage shapes applied in a standard withstand voltage test as outlined in Table 1.

Table 1 – Classes and shapes of overvoltages, Standard voltage shapes and Standard withstand voltage tests

Class	Low frequency		Transient		
	Continuous	Temporary	Slow-front	Fast-front	Very-fast-front
Voltage or over-voltage shapes					
Range of voltage or over-voltage shapes	$f = 50 \text{ Hz or } 60 \text{ Hz}$ $T_t \geq 3 \text{ 600 s}$	$10 \text{ Hz} < f < 500 \text{ Hz}$ $0,02 \text{ s} \leq T_t \leq 3 \text{ 600 s}$	$20 \text{ } \mu\text{s} < T_p \leq 5 \text{ 000 } \mu\text{s}$ $T_2 \leq 20 \text{ ms}$	$0,1 \text{ } \mu\text{s} < T_1 \leq 20 \text{ } \mu\text{s}$ $T_2 \leq 300 \text{ } \mu\text{s}$	$T_f \leq 100 \text{ ns}$ $0,3 \text{ MHz} < f_1 < 100 \text{ MHz}$ $30 \text{ kHz} < f_2 < 300 \text{ kHz}$
Standard voltage shapes	 $f = 50 \text{ Hz or } 60 \text{ Hz}$ T_t^a	 $48 \text{ Hz} \leq f \leq 62 \text{ Hz}$ $T_t = 60 \text{ s}$	 $T_p = 250 \text{ } \mu\text{s}$ $T_2 = 2 \text{ 500 } \mu\text{s}$	 $T_1 = 1,2 \text{ } \mu\text{s}$ $T_2 = 50 \text{ } \mu\text{s}$	a
Standard withstand voltage test	a	Short-duration power frequency test	Switching impulse test	Lightning impulse test	a

^a To be specified by the relevant apparatus committees.

The representative voltages and overvoltages may be characterized either by:

- an assumed maximum, or
- a set of peak values, or
- a complete statistical distribution of peak values.

NOTE In the last case additional characteristics of the overvoltage shapes may have to be considered.

When the adoption of an assumed maximum is considered adequate, the representative overvoltage of the various classes shall be:

- For the continuous power-frequency voltage: a power-frequency voltage with r.m.s. value equal to the highest voltage of the system, and with duration corresponding to the lifetime of the equipment.
 - For the temporary overvoltage: a standard power-frequency short-duration voltage with an r.m.s. value equal to the assumed maximum of the temporary overvoltages divided by $\sqrt{2}$.
 - For the slow-front overvoltage: a standard switching impulse with peak value equal to the peak value of the assumed maximum of the slow-front overvoltages.
 - For the fast-front overvoltage: a standard lightning impulse with peak value equal to the peak value of the assumed maximum of the fast-front overvoltages phase to earth.
- NOTE For GIS or GIL with three-phase enclosure and insulation levels chosen among the lowest ones for a given U_m , the phase-to-phase overvoltages may need consideration.
- For the very-fast-front overvoltage: the characteristics for this class of overvoltage are specified by the relevant apparatus committees.
 - For the slow-front phase-to-phase overvoltage: a standard combined switching impulse with peak value equal to the peak value of the assumed maximum of the slow-front phase-to-phase overvoltages.
 - For the slow-front [or fast-front] longitudinal overvoltage: a combined voltage consisting of a standard switching [or lightning] impulse and of a power-frequency voltage, each with peak value equal to the two relevant assumed maximum peak values, and with the instant of impulse peak coinciding with the peak of the power frequency of opposite polarity.

5.3 Determination of the co-ordination withstand voltages (U_{cw})

The determination of the co-ordination withstand voltages consists of determining the lowest values of the withstand voltages of the insulation meeting the performance criterion when subjected to the representative overvoltages under service conditions.

The co-ordination withstand voltages of the insulation have the shape of the representative overvoltages of the relevant class and their values are obtained by multiplying the values of the representative overvoltages by a co-ordination factor. The value of the co-ordination factor depends on the accuracy of the evaluation of the representative overvoltages and on an empirical, or on a statistical appraisal of the distribution of the overvoltages and of the insulation characteristics.

The co-ordination withstand voltages can be determined as either conventional assumed withstand voltages or statistical withstand voltages. This affects the determination procedure and the values of the co-ordination factor.

Simulations of overvoltage events combined with the simultaneous evaluation of the risk of failure, using the relevant insulation characteristics, permit the direct determination of the statistical co-ordination withstand voltages without the intermediate step of determining the representative overvoltages.

5.4 Determination of the required withstand voltage (U_{rw})

The determination of the required withstand voltages of the insulation consists of converting the co-ordination withstand voltages to appropriate standard test conditions. This is accomplished by multiplying the co-ordination withstand voltages by factors which compensate the differences between the actual in-service conditions of the insulation and those in the standard withstand voltage tests.

The factors to be applied shall compensate atmospheric conditions by the atmospheric correction factor K_t and the effects listed below by a safety factor K_s .

Effects combined in a safety factor K_s :

- the differences in the equipment assembly;
- the dispersion in the product quality;
- the quality of installation;
- the ageing of the insulation during the expected lifetime;
- other unknown influences.

If, however, these effects cannot be evaluated individually, an overall safety factor, derived from experience, shall be adopted (see IEC 60071-2).

The atmospheric correction factor K_t is applicable for external insulation only. K_t shall be applied to account for the differences between the standard reference atmospheric conditions and those expected in service.

For altitude correction, the altitude correction factor K_a which considers only the average air pressure corresponding to the altitude has to be applied. The altitude correction factor K_a has to be applied whatever is the altitude.

5.5 Selection of the rated insulation level

The selection of the rated insulation level consists of the selection of the most economical set of standard rated withstand voltages (U_m) of the insulation sufficient to prove that all the required withstand voltages are met.

The highest voltage for equipment is then chosen as the next standard value of U_m equal to or higher than the highest voltage of the system where the equipment will be installed.

For equipment to be installed under normal environmental conditions relevant to insulation, U_m shall be at least equal to U_s .

For equipment to be installed outside of the normal environmental conditions relevant to insulation, U_m may be selected higher than the next standard value of U_m equal to or higher than U_s according to the special needs involved.

NOTE As an example, the selection of a U_m value higher than the next standard value of U_m equal to or higher than U_s may arise when the equipment has to be installed at an altitude higher than 1000 m in order to compensate the decrease of withstand voltage of the external insulation.

Standardization of tests, as well as the selection of the relevant test voltages, to prove the compliance with U_m , are performed by the relevant apparatus committees (e.g. pollution tests, partial discharge voltage tests...).

The withstand voltages to prove that the required temporary, slow-front and fast-front withstand voltages are met, for phase-to-earth, phase-to-phase and longitudinal insulation, may be selected with the same shape as the required withstand voltage, or with a different shape, exploiting, for this last selection, the intrinsic characteristics of the insulation.

The value of the rated withstand voltage is then selected in the list of the standard rated withstand voltages reported in 5.6 and 5.7, as the next value equal to or higher than:

- the required withstand voltage in the case of the same shape,
- the required withstand voltage multiplied by the relevant test conversion factor in the case of a different shape.

NOTE This may allow the adoption of a single standard rated withstand voltage to prove compliance with more than one required withstand voltage, thus giving the possibility of reducing the number of rated withstand voltages that would define a rated insulation level (e.g. see 5.10).

For equipment to be used in normal environmental conditions, the rated insulation level should then preferably be selected from Table 2 and Table 3 corresponding to the applicable highest voltage for equipment such that these rated withstand voltages are met.

The selection of the standard rated withstand voltage to prove the compliance with the very-fast-front required withstand voltage shall be considered by the relevant apparatus committees.

For surge arresters the required withstand voltages of the insulating housing are based on the protective levels U_{pl} and U_{ps} with suitable safety factors applied as per the apparatus standard IEC 60099-4. In general, therefore, the withstand voltages shall not be selected from the lists of 5.6 and 5.7

5.6 List of standard rated short-duration power frequency withstand voltages

~~The following r.m.s. values, expressed in kV, are standardized as withstand voltages: 10, 20, 28, 38, 50, 70, 95, 115, 140, 185, 230, 275, 325, 360, 395, 460.~~

~~The following r.m.s. values, expressed in kV, are recommended as withstand voltages: 510, 570, 630, 680, (710, 790, 830, 880, 960, 975: these last values are under consideration).~~

~~The following r.m.s. values, expressed in kV, are standardized as withstand voltages: 10, 20, 28, 38, 50, 70, 95, 115, 140, 185, 230, 275, 325, 360, 395, 460, 510, 570, 630, 680.~~

~~The following r.m.s. values, expressed in kV, are under consideration as withstand voltages: 710, 790, 830, 880, 960, 975, 1 050, 1 100, 1 200.~~

5.7 List of standard rated impulse withstand voltages

~~The following peak values, expressed in kV, are standardized as withstand voltages: 20, 40, 60, 75, 95, 125, 145, 170, 200, 250, 325, 380, 450, 550, 650, 750, 850, 950, 1 050, 1 175, 1 300, 1 425, 1 550, 1 675, 1 800, 1 950, 2 100, 2 250, 2 400.~~

~~The following peak values, expressed in kV, are standardized as withstand voltages: 20, 40, 60, 75, 95, 125, 145, 170, 200, 250, 325, 380, 450, 550, 650, 750, 850, 950, 1 050, 1 175, 1 300, 1 425, 1 550, 1 675, 1 800, 1 950, 2 100, 2 250, 2 400, 2 550, 2 700, 2 900, 3 100.~~

5.8 Ranges for highest voltage for equipment

The standard highest voltages for equipment are divided in two ranges:

- **range I:** Above 1 kV to 245 kV included (Table 2). This range covers both transmission and distribution systems. The different operational aspects, therefore, shall be taken into account in the selection of the rated insulation level of the equipment.
- **range II:** Above 245 kV (Table 3). This range covers mainly transmission systems.

5.9 Environmental conditions

5.9.1 Normal environmental conditions

The normal environmental conditions that are of concern for insulation coordination and for which withstand voltages can be usually selected from Table 2 or Table 3 are the following:

- a) The ambient air temperature does not exceed 40 °C and its average value, measured over a period of 24 h, does not exceed 35 °C. The minimum ambient air temperature is –10 °C for class “–10 outdoor”, –25 °C for class “–25 outdoor” and –40 °C for class “–40 outdoor”.
- b) The altitude does not exceed 1 000 m above sea level.

- c) The ambient air is not significantly polluted by dust, smoke, corrosive gases, vapours or salt. Pollution does not exceed pollution level II – Medium, according to Table 1 of IEC 60071-2.
- d) The presence of condensation or precipitation is usual. Precipitation in form of dew, condensation, fog, rain, snow, ice or hoar frost is considered.

NOTE Precipitation characteristics for insulation are described in IEC 60060-1. For other properties, precipitation characteristics are described in IEC 60721-2-2.

5.9.2 Standard reference atmospheric conditions

The standard reference atmospheric condition for which the standardized withstand voltages apply are:

- a) temperature: $t_0 = 20\text{ °C}$
- b) pressure: $b_0 = 101,3\text{ kPa}$ (1013 mbar)
- c) absolute humidity: $h_0 = 11\text{ g/m}^3$.

5.10 Selection of the standard insulation level

The association of standard rated withstand voltages with the highest voltage for equipment has been standardized to benefit from the experience gained from the operation of systems designed according to IEC standards and to enhance standardization.

The standard rated withstand voltages are associated with the highest voltage for equipment according to Table 2 for range I and Table 3 for range II. These standard rated withstand voltages are valid for the normal environmental conditions and are adjusted to the standard reference atmospheric conditions.

The associations obtained by connecting standard rated withstand voltages of all columns without crossing horizontal marked lines are defined as standard insulation levels.

Furthermore, the following associations are standardized for phase-to-phase and longitudinal insulation:

- For phase-to-phase insulation, range I, the standard rated short-duration power-frequency and lightning impulse phase-to-phase withstand voltages are equal to the relevant phase-to-earth withstand voltages (Table 2). The values in brackets, however, may be insufficient to prove that the required withstand voltages are met and additional phase-to-phase withstand voltage tests may be needed.
- For phase-to-phase insulation, range II, the standard lightning impulse withstand voltage phase-to-phase is equal to the lightning impulse phase-to-earth.
- For longitudinal insulation, range I, the standard rated short-duration power-frequency and lightning impulse withstand voltages are equal to the relevant phase-to-earth withstand voltages (Table 2).
- For longitudinal insulation, range II, the standard switching impulse component of the combined withstand voltage is given in Table 3, while the peak value of the power-frequency component of opposite polarity is $U_m \times \sqrt{2}/\sqrt{3}$,
- For longitudinal insulation range II, the standard lightning impulse component of the combined withstand voltage is equal to the relevant phase-to-earth withstand voltage (Table 3), while the peak value of the power-frequency component of opposite polarity is $0,7 \times U_m \times \sqrt{2}/\sqrt{3}$.

More than one preferred association is foreseen for most of the highest voltages for equipment to allow for the application of different performance criteria or overvoltage patterns.

For the preferred associations, only two standard rated withstand voltages are sufficient to define the rated insulation level of the equipment:

- For equipment in range I:
 - a) the standard rated lightning impulse withstand voltage and,
 - b) the standard rated short-duration power-frequency withstand voltage.
- For equipment in range II:
 - a) the standard rated switching impulse withstand voltage, and
 - b) the standard rated lightning impulse withstand voltage.

If technically and economically justified, other associations may be adopted. The recommendations of 5.1 to 5.8 shall be followed in every case. The resulting set of standard rated withstand voltages shall be termed, therefore, rated insulation level. Particular examples are:

- For external insulation, for the higher values of U_m in range I, it may be more economical to specify a standard rated switching impulse withstand voltage instead of a standard rated short-duration power-frequency withstand voltage.
- For internal insulation in range II, high temporary overvoltages may require the specification of a standard rated short-duration power-frequency withstand voltage.

Table 2 – Standard insulation levels for range I ($1\text{kV} < U_m \leq 245\text{ kV}$)

Highest voltage for equipment (U_m) kV (r.m.s. value)	Standard rated short-duration power-frequency withstand voltage kV (r.m.s. value)	Standard rated lightning impulse withstand voltage kV (peak value)
3,6	10	20 40
7,2	20	40 60
12	28	60 75 95
17,5 ^a	38	75 95
24	50	95 125 145
36	70	145 170
52 ^a	95	250
72,5	140	325
100 ^b	(150)	(380)
	185	450
123	(185)	(450)
	230	550
145	(185)	(450)
	230	550
	275	650
170 ^a	(230)	(550)
	275	650
	325	750
245	(275)	(650)
	(325)	(750)
	360	850
	395	950
	460	1050

NOTE If values in brackets are considered insufficient to prove that the required phase-to-phase withstand voltages are met, additional phase-to-phase withstand voltage tests are needed.

^a These U_m are non preferred values in IEC 60038 and thus no most frequently combinations standardized in apparatus standards are given.

^b This U_m value is not mentioned in IEC 60038 but it has been introduced in range I in some apparatus standards.

Table 3 – Standard insulation levels for range II ($U_m > 245$ kV)

Highest voltage for equipment U_m kV (r.m.s. value)	Standard rated switching impulse withstand voltage			Standard rated lightning impulse withstand voltage ^b kV (peak value)
	Longitudinal insulation ^a kV (peak value)	Phase-to-earth kV (peak value)	Phase-to-phase (ratio to the phase-to-earth peak value)	
300 ^{ca}	750	750	1,50	850
				950
	750	850	1,50	950
				1050
362	850	850	1,50	950
				1050
	850	950	1,50	1050
				1175
420	850	850	1,60	1050
				1175
	950	950	1,50	1175
				1300
	950	1050	1,50	1300
				1425
550	950	950	1,70	1175
				1300
	950	1050	1,60	1300
				1425
	950	1175	1,50	1425
	1050			1550
800	1175	1300	1,70	1675
				1800
	1175	1425	1,70	1800
				1950
	1175 1300	1550	1,60	1950
				2100

NOTE The introduction of U_m above 800 kV is under consideration, and 1050 kV, 1100 kV and 1200 kV are listed as U_m in IEC 60038 Amendment 2, 1997.

- ^a Value of the impulse component of the relevant combined test while the peak value of the power-frequency component of opposite polarity is $U_m \times \sqrt{2} / \sqrt{3}$.
- ^b These values apply as for phase-to-earth and phase-to-phase insulation as well; for longitudinal insulation they apply as the standard rated lightning impulse component of the combined standard rated withstand voltage, while the peak value of the power-frequency component of opposite polarity is $0,7 \times U_m \times \sqrt{2} / \sqrt{3}$.
- ^{ca} This U_m is a non-preferred value in IEC 60038.

Highest voltage for equipment U_m kV (r.m.s. value)	Standard rated switching impulse withstand voltage			Standard rated lightning impulse withstand voltage ^b kV (peak value)
	Longitudinal insulation ^a kV (peak value)	Phase-to-earth kV (peak value)	Phase-to-phase (ratio to the phase-to-earth peak value)	
300 ^c	750	750	1,50	850
				950
	750	850	1,50	950
				1 050
362	850	850	1,50	950
				1 050
	850	950	1,50	1 050
				1 175
420	850	850	1,60	1 050
				1 175
	950	950	1,50	1 175
				1 300
	950	1 050	1,50	1 300
				1 425
550	950	950	1,70	1 175
				1 300
	950	1 050	1,60	1 300
				1 425
	950	1 175	1,50	1 425
				1 550
800	1 050	1 175	1,50	1 675
				1 800
	1 175	1 300	1,70	1 800
				1 950
	1 175	1 425	1,70	1 950
				2 100
1 100	1 300	1 550	1,60	2 100
				2 250
	1 425	1 550	1,70	2 250
				2 400
	1 550	1 675	1,65	2 400
				2 550
	1 675	1 800	1,6	2 550
				2 550

Table (continued)

Highest voltage for equipment U_m kV (r.m.s. value)	Standard rated switching impulse withstand voltage			Standard rated lightning impulse withstand voltage ^b kV (peak value)
	Longitudinal insulation ^a kV (peak value)	Phase-to-earth kV (peak value)	Phase-to-phase (ratio to the phase-to-earth peak value)	
1 200	1 550	1 675	1,70	2 100
				2 250
	1 675	1 800	1,65	2 250
				2 400
	1 800	1 950	1,60	2 550
				2 700
^a Value of the impulse voltage component of the relevant combined test while the peak value of the power-frequency component of opposite polarity is $U_m \times \sqrt{2} / \sqrt{3}$. ^b These values apply as for phase-to-earth and phase-to-phase insulation as well; for longitudinal insulation they apply as the standard rated lightning impulse component of the combined standard rated withstand voltage, while the peak value of the power-frequency component of opposite polarity is $0,7 \times U_m \times \sqrt{2} / \sqrt{3}$. ^c This U_m is a non-preferred value in IEC 60038. ^d This value is only applicable to the phase-to-earth insulation of single phase equipment not exposed to air.				

5.11 Background of the standard insulation levels

5.11.1 General

The standard insulation levels given in Table 2 and Table 3 reflect the experience of the world, taking into account modern protective devices and methods of overvoltage limitation. The selection of a particular standard insulation level should be based on the insulation co-ordination procedure in accordance with the insulation co-ordination procedure described in IEC 60071-2 (third edition) and should take into account the insulation characteristics of the particular equipment being considered.

In range I, the standard rated short-duration power-frequency or the standard rated lightning impulse withstand voltage should cover the required switching impulse withstand voltages phase-to-earth and phase-to-phase as well as the required longitudinal withstand voltage.

In range II, the standard rated switching impulse withstand voltage should cover the required short-duration power-frequency withstand voltage if no value is required by the relevant apparatus committee.

In order to meet these general requirements, the required withstand voltages should be converted to those voltage shapes for which standard rated withstand voltages are specified using test conversion factors. The test conversion factors are determined from existing results to provide a conservative value for the rated withstand voltages.

IEC 60071-1 leaves it to the relevant apparatus committee to prescribe a long-duration power-frequency test intended to demonstrate the response of the equipment with respect to ageing of internal insulation or to external pollution (see also IEC 60507).

5.11.2 Standard rated switching impulse withstand voltage

In Table 3, standard rated switching impulse withstand voltages associated with each highest voltage for equipment have been chosen in consideration of the following:

- a) for equipment protected against switching overvoltages by surge arresters:
 - the expected values of temporary overvoltages;
 - the characteristics of presently available surge arresters;
 - the co-ordination and safety factors between the protective level of the surge arrester and the switching impulse withstand voltage of the equipment;
- b) for equipment not protected against switching overvoltages by surge arresters:
 - the acceptable risk of disruptive discharge considering the probable range of overvoltages occurring at the equipment location;
 - the degree of overvoltage control generally deemed economical, and obtainable by careful selection of the switching devices and in the system design.

5.11.3 Standard rated lightning impulse withstand voltage

In Table 3, standard rated lightning impulse withstand voltages associated with each standard rated switching impulse withstand voltage have been chosen in consideration of the following:

- a) for equipment protected by close surge arresters, the low values of lightning impulse withstand level are applicable. They are chosen by taking into account the ratio of lightning impulse protective level to switching impulse protective level likely to be achieved with surge arresters, and by adding appropriate margins;
- b) for equipment not protected by surge arresters (or not effectively protected), only the higher values of lightning impulse withstand voltages shall be used. These higher values are based on the typical ratio of the lightning and switching impulse withstand voltages of the external insulation of apparatus (e.g. circuit-breakers, disconnectors, instrument transformers, etc.) They are chosen in such a way that the insulation design will be determined mainly by the ability of the external insulation to withstand the switching impulse test voltages;
- c) in a few extreme cases, provision should be made for a higher value of lightning impulse withstand voltage. This higher value shall be chosen from the series of standard values given in 5.6 and 5.7.

6 Requirements for standard withstand voltage tests

6.1 General requirements

Standard withstand voltage tests are performed to demonstrate, with suitable confidence, that the actual withstand voltage of the insulation is not lower than the corresponding specified withstand voltage. The voltages applied in withstand voltage tests are standard rated withstand voltages unless otherwise specified by the relevant apparatus committees.

In general, withstand voltage tests consist of dry tests performed in a standard situation (test arrangement specified by the relevant Apparatus Committees and the standard reference atmospheric conditions). However, for non-weather protected external insulation, the standard short-duration power-frequency and switching impulse withstand voltage tests consist of wet tests performed under the conditions specified in IEC 60060-1.

During wet tests, the rain shall be applied simultaneously on all air and surface insulation under voltage.

If the atmospheric conditions in the test laboratory differ from the standard reference atmospheric conditions, the test voltages shall be corrected according to IEC 60060-1.

All impulse withstand voltages shall be verified for both polarities, unless the relevant apparatus committees specify one polarity only.

When it has been demonstrated that one condition (dry or wet) or one polarity or a combination of these produces the lowest withstand voltage, then it is sufficient to verify the withstand voltage for this particular condition.

The insulation failures that occur during the test are the basis for the acceptance or rejection of the test specimen. The relevant apparatus committees or technical committee 42 shall define the occurrence of a failure and the method to detect it.

When the standard rated withstand voltage of phase-to-phase (or longitudinal) insulation is equal to that of phase-to-earth insulation, it is recommended that phase-to-phase (or longitudinal) insulation tests and phase-to-earth tests be performed together by connecting one of the two phase terminals to earth.

6.2 Standard short-duration power-frequency withstand voltage tests

A standard short-duration power-frequency withstand voltage test consists of one application of the relevant standard rated withstand voltage to the terminals of the insulation configuration.

Unless otherwise specified by the relevant apparatus committees, the insulation is considered to have passed the test if no disruptive discharge occurs. However, if one disruptive discharge occurs on the self-restoring insulation during a wet test, the test may be repeated once and the equipment is considered to have passed the test if no further disruptive discharge occurs.

When the test cannot be performed (such as for transformers with non-uniform insulation), the relevant apparatus committees may specify frequencies up to few hundred hertz and durations shorter than 1 min. Unless otherwise justified, the test voltages shall be the same.

6.3 Standard impulse withstand voltage tests

A standard impulse withstand voltage test consists of a specified number of applications of the relevant standard rated withstand voltage to the terminals of the insulation configuration. Different test procedures may be selected to demonstrate that the withstand voltages are met with a degree of confidence that experience has shown to be acceptable.

The test procedure shall be selected by the apparatus committees from the following test procedures which are standardized and fully described in IEC 60060-1:

- Three-impulse withstand voltage test in which no disruptive discharge is tolerated.
- Fifteen-impulse withstand voltage test in which up to two disruptive discharges on the self-restoring insulation are tolerated.
- Three-impulse withstand voltage test in which one disruptive discharge on the self-restoring insulation is tolerated. If this occurs, nine additional impulses are applied during which no disruptive discharge is tolerated.
- The up-and-down withstand voltage test with seven impulses per level in which disruptive discharges on self-restoring insulation are tolerated.
- The up-and-down test with one impulse per level, which is recommended only if the conventional deviation, z , defined in IEC 60060-1 is known. The values suggested there, $z = 6\%$ for switching and $z = 3\%$ for lightning impulses, shall be used if, and only if, is known that $z \leq 6\%$ and $z \leq 3\%$ respectively. Otherwise other methods shall be used.

In all the test procedures described above no disruptive discharge is tolerated on the non-self-restoring insulation. In the case of a fifteen-impulse withstand voltage test performed on equipment where both self-restoring and non self-restoring insulations are involved, the

IEC 60060-1 fifteen-impulse withstand voltage test procedure is adapted and used to verify that no disruptive discharge occurs in the non-self-restoring insulation. This two out of fifteen-impulse withstand voltage test adapted procedure is the following for each polarity:

- the impulse number is at least 15;
- no disruptive discharges on non-self-restoring insulation shall occur; this is confirmed by five consecutive impulse withstands following the last disruptive discharge;
- the number of disruptive discharges shall not exceed two.

This two out of fifteen-impulse withstand voltage test adapted procedure may finally lead to a maximum possible number of 25 impulses for each polarity.

No statistical meaning can be given to the three-impulse withstand voltage test in which no disruptive discharge is tolerated (P_w is assumed to be 100 %). Its use is limited to cases in which the non-self-restoring insulation may be damaged by a large number of voltage applications.

When selecting a test for equipment in which non-self-restoring insulation is in parallel with self-restoring insulation, serious consideration should be given to the fact that in some test procedures voltages higher than the rated withstand voltage may be applied and many disruptive discharges may occur.

6.4 Alternative test situation

When it is too expensive or too difficult or even impossible, to perform the withstand voltage tests in standard test situations, the apparatus committees, or technical committee 42, shall specify the best solution to prove the relevant standard rated withstand voltages. One possibility is to perform the test in an alternative test situation.

An alternative test situation consists of one or more different test conditions (test arrangements, values or types of test voltages, etc.). It is necessary, therefore, to demonstrate that the physical conditions for the disruptive discharge development, relevant to the standard situation, are not changed.

NOTE A typical example is the use of a single voltage source for the tests of longitudinal insulation, while insulating the base, instead of a combined voltage test. In this case, the demonstration mentioned above concerning the disruptive discharge development is a very stringent condition for the acceptance of the alternative.

6.5 Phase-to-phase and longitudinal insulation standard withstand voltage tests for equipment in range I

6.5.1 Power-frequency tests

For some equipment with $123 \text{ kV} \leq U_m \leq 245 \text{ kV}$, the phase-to-phase (or longitudinal) insulation may require a power-frequency withstand voltage higher than the phase-to-earth power-frequency withstand voltage as shown in Table 2. In such cases the test shall be preferably performed with two voltage sources. One terminal shall be energized with the phase-to-earth power-frequency withstand voltage and the other with the difference between the phase-to-phase (or longitudinal) and the phase-to-earth power-frequency withstand voltages. The earth terminal shall be earthed.

Alternatively the test may be performed:

- with two equal power-frequency voltage sources in phase opposition, each energizing one phase terminal with half of the phase-to-phase (or longitudinal) insulation power-frequency withstand voltage. The earth terminal shall be earthed;
- with one power-frequency voltage source. The earth terminal may be allowed to assume a voltage to earth sufficient to avoid disruptive discharges to earth or to the earth terminal.

NOTE If, during the test, the terminal earthed in service is carried to a voltage which influences the electrical stresses on the phase terminal (as occurs in compressed gas longitudinal insulation having $U_m \geq 72,5$ kV), means should be adopted to maintain this voltage as close as possible to the difference between the test voltage of the phase-to-phase (or longitudinal) insulation and that of the phase-to-earth insulation.

6.5.2 Phase-to-phase (or longitudinal) insulation lightning impulse tests

The phase-to-phase (or longitudinal) insulation may require a lightning impulse withstand voltage higher than the standard phase-to-earth withstand voltage as shown in Table 2. In such cases, the relevant tests shall be performed immediately after the phase-to-earth insulation tests increasing the voltage without changing the test arrangement. In evaluating the test results, the impulses leading to disruptive discharge to earth are considered as non-events.

When the number of discharges to earth does not allow the test to be performed, a combined test shall be adopted with an impulse component equal to the phase-to-earth lightning impulse withstand voltage and a power-frequency component with the peak value of opposite polarity equal to the difference between the phase-to-phase (or longitudinal) and the phase-to-earth lightning impulse withstand voltages. Alternatively, for external insulation, the relevant apparatus committees may specify that the phase-to-earth insulation be increased.

6.6 Phase-to-phase and longitudinal insulation standard withstand voltage tests for equipment in range II

The combined voltage withstand voltage test shall be performed meeting the following requirements:

- the test configuration shall suitably duplicate the service configuration, especially with reference to the influence of the earth plane;
- each component of the test voltage shall have the value specified in 5.10;
- the earth terminal shall be connected to earth;
- in phase-to-phase tests the terminal of the third phase shall be either removed or earthed;
- in longitudinal insulation tests the terminals of the other two phases shall be either removed or earthed.

The test shall be repeated for all possible combinations of the phase terminals, unless proved unnecessary by considerations of electrical symmetry.

In the evaluation of the test results, any disruptive discharge is counted. More detailed recommendations for the tests are given by apparatus committees and IEC 60060-1.

For special applications, the relevant apparatus committees may extend to longitudinal insulation lightning impulse withstand voltage tests of range II the same test procedure applicable to equipment of range I.

Annex A (normative)

Clearances in air to assure a specified impulse withstand voltage installation

A.1 General

In complete installations (e.g. substations) which cannot be tested as a whole, it is necessary to ensure that the dielectric strength is adequate.

The switching and lightning impulse withstand voltages in air, at standard reference atmospheric conditions shall be equal to, or greater than, the standard rated switching and lightning impulse withstand voltages as specified in this standard. Following this principle, minimum clearances have been determined for different electrode configurations. The minimum clearances specified are determined with a conservative approach, taking into account practical experience.

These clearances are intended solely to address insulation co-ordination requirements. Safety requirements may result in substantially larger clearances.

Tables A.1, A.2 and A.3 are suitable for general application, as they provide minimum clearances ensuring the specified insulation level.

These clearances may be lower if it has been proven by tests on actual or similar configurations that the standard impulse withstand voltages are met, taking into account all relevant environmental conditions which can create irregularities on the surface of electrodes, for example rain, pollution. These distances are therefore not applicable to equipment which has an mandatory impulse type test included in the specification, since a mandatory minimal clearance might hamper the design of equipment, increase its cost and impede progress.

The clearances may also be lower, where it has been confirmed by operating experience that the overvoltages are lower than those expected in the selection of the standard rated withstand voltages or that the gap configuration is more favourable than that assumed for the recommended clearances.

Table A.1 correlates the minimum air clearances with the standard rated lightning impulse withstand voltage for electrode configurations of the rod-structure type and, in addition for range II, of the conductor-structure type. They are applicable for phase-to-earth clearances as well as for clearances between phases (see note under Table A.1).

Table A.2 correlates the minimum air clearances for electrode configurations of the conductor-structure type and the rod-structure type with the standard rated switching impulse withstand voltage phase-to-earth. The conductor-structure configuration covers a large range for normally used configurations.

Table A.3 correlates the minimum air clearances for electrode configurations of the conductor-conductor type and the rod-conductor type with the standard rated switching impulse withstand voltage phase-to-phase. The unsymmetrical rod-conductor configuration is the worst electrode configuration normally encountered in service. The conductor-conductor configuration covers all symmetrical configurations with similar electrode shapes on the two phases.

The air clearances applicable in service are determined according to the following rules.

A.2 Range I

The air clearance phase-to-earth and phase-to-phase is determined from Table A.1 for the rated lightning impulse withstand voltage. The standard rated short-duration power-frequency withstand voltage can be disregarded when the ratio of the standard rated lightning impulse withstand voltage to the standard rated short-duration power-frequency withstand voltage is higher than 1,7.

Table A.1 – Correlation between standard rated lightning impulse withstand voltages and minimum air clearances

Standard rated lightning impulse withstand voltage kV	Minimum clearance mm	
	Rod-structure	Conductor-structure
–20	–60	
–40	–60	
–60	–90	
–75	–120	
–95	–160	
–125	–220	
–145	–270	
–170	–320	
200	380	
250	480	
325	630	
380	750	
450	900	
550	1 100	
650	1 300	
750	1 500	
850	1 700	1 600
950	1 900	1 700
1 050	2 100	1 900
1 175	2 350	2 200
1 300	2 600	2 400
1 425	2 850	2 600
1 550	3 100	2 900
1 675	3 350	3 100
1 800	3 600	3 300
1 950	3 900	3 600
2 100	4 200	3 900

NOTE – The standard rated lightning impulse withstand voltages are applicable phase-to-phase and phase-to-earth.

For phase-to-earth, the minimum clearance for conductor-structure and rod-structure is applicable.

For phase-to-phase, the minimum clearance for rod-structure is applicable.

Standard rated lightning impulse withstand voltage	Minimum clearance mm	
	Rod-structure	Conductor-structure
kV		
20	60	
40	60	
60	90	
75	120	
95	160	
125	220	
145	270	
170	320	
200	380	
250	480	
325	630	
380	750	
450	900	
550	1 100	
650	1 300	
750	1 500	
850	1 700	1 600
950	1 900	1 700
1 050	2 100	1 900
1 175	2 350	2 200
1 300	2 600	2 400
1 425	2 850	2 600
1 550	3 100	2 900
1 675	3 350	3 100
1 800	3 600	3 300
1 950	3 900	3 600
2 100	4 200	3 900
2 250	4 500	4 150
2 400	4 800	4 450
2 550	5 100	4 700
2 700	5 400	5 000

NOTE The standard rated lightning impulse withstand voltages are applicable phase-to-phase and phase-to-earth.

For phase-to-earth, the minimum clearance for conductor-structure and rod-structure is applicable.

For phase-to-phase, the minimum clearance for rod-structure is applicable.

A.3 Range II

The phase-to-earth clearance is the higher value of the clearances determined for the rod-structure configuration from Table A.1 for the standard rated lightning impulse withstand voltages, and from Table A.2 for the standard rated switching impulse withstand voltages respectively.

The phase-to-phase clearance is the higher value of the clearances determined for the rod-structure configuration from Table A.1 for the standard rated lightning impulse withstand voltages and from Table A.3 for the standard switching impulse withstand voltages respectively.

The values are valid for altitudes which have been taken into account in the determination of the required withstand voltages.

The clearances necessary to withstand the standard rated lightning impulse withstand voltage for the longitudinal insulation in range II can be obtained by adding 0,7 times the highest voltage of a system (U_s) phase-to-earth peak to the value of the standard rated lightning impulse withstand voltage and by dividing the sum by 500 kV/m.

The clearances necessary for the longitudinal standard rated switching impulse withstand voltage in range II are smaller than the corresponding phase-to-phase value. Such clearances usually exist only in type tested apparatus and minimum values are therefore not given in this standard.

Table A.2 – Correlation between standard rated switching impulse withstand voltages and minimum phase-to-earth air clearances

Standard rated switching impulse withstand voltage	Minimum phase-to-earth mm	
	Rod-structure	Conductor-structure
kV		
750	1 900	1 600
850	2 400	1 800
950	2 900	2 200
1 050	3 400	2 600
1 175	4 100	3 100
1 300	4 800	3 600
1 425	5 600	4 200
1 550	6 400	4 900
750	1 900	1 600
850	2 400	1 800
950	2 900	2 200
1 050	3 400	2 600
1 175	4 100	3 100
1 300	4 800	3 600
1 425	5 600	4 200
1 550	6 400	4 900
1 675	7 400 ^a	5 600 ^a
1 800	8 300 ^a	6 300 ^a
1 950	9 500 ^a	7 200 ^a
^a Tentative values still under consideration.		

Table A.3 – Correlation between standard rated switching impulse withstand voltages and minimum phase-to-phase air clearances

Standard rated switching impulse withstand voltage			Minimum phase-to-phase clearance mm	
Phase-to-earth kV	Phase-to-phase value	Phase-to-phase kV	Conductor-conductor parallel	Rod-conductor
	Phase-to-earth value			
750	1,5	1 125	2 300	2 600
850	1,5	1 275	2 600	3 100
850	1,6	1 360	2 900	3 400
950	1,5	1 425	3 100	3 600
950	1,7	1 615	3 700	4 300
1 050	1,5	1 575	3 600	4 200
1 050	1,6	1 680	3 900	4 600
1 175	1,5	1 763	4 200	5 000
1 300	1,7	2 210	6 100	7 400
1 425	1,7	2 423	7 200	9 000
1 550	1,6	2 480	7 600	9 400
750	1,50	1 125	2 300	2 600
850	1,50	1 275	2 600	3 100
850	1,60	1 360	2 900	3 400
950	1,50	1 425	3 100	3 600
950	1,70	1 615	3 700	4 300
1 050	1,50	1 575	3 600	4 200
1 050	1,60	1 680	3 900	4 600
1 175	1,50	1 763	4 200	5 000
1 300	1,70	2 210	6 100	7 400
1 425	1,70	2 423	7 200	9 000
1 550	1,60	2 480	7 600	9 400
1 550	1,70	2 635	8 400 ^a	10 000 ^a
1 675	1,65	2 764	9 100 ^a	10 900 ^a
1 675	1,70	2 848	9 600 ^a	11 400 ^a
1 800	1,60	2 880	9 800 ^a	11 600 ^a
1 800	1,65	2 970	10 300 ^a	12 300 ^a
1 950	1,60	3 120	11 200 ^a	13 300 ^a

^a Tentative values still under consideration.

Annex B

(informative)

Values of rated insulation levels for $1\text{ kV} < U_m \leq 245\text{ kV}$ for highest voltages for equipment U_m not standardized by IEC based on current practice in some countries

Table B.1 – Values of rated insulation levels for $1\text{ kV} < U_m \leq 245\text{ kV}$ for highest voltages for equipment U_m not standardized by IEC based on current practice in some countries

Highest voltage for equipment (U_m) kV (r.m.s. value)	Standard rated short-duration power-frequency withstand voltage kV (r.m.s. value)	Standard rated lightning impulse withstand voltage kV (peak value)
40,5	80	185
	80	190
	85	200
82,5	140	325
	150	380

Bibliography

IEC 60050(601), *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Chapter 601: Generation, transmission and distribution of electricity – General*

IEC 60050(604), *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Chapter 604: Generation, transmission and distribution of electricity – Operation*

IEC 60721-2-2, *Classification of environmental conditions – Part 2: Environmental conditions appearing in nature – Precipitation and wind*

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	40
1 Domaine d'application	42
2 Références normatives	42
3 Termes et définitions	43
4 Symboles et abréviations	50
4.1 Généralités	50
4.2 Indices	50
4.3 Symboles littéraux	50
4.4 Abréviations	51
5 Procédure pour la coordination de l'isolement	51
5.1 Généralités sur la procédure	51
5.2 Détermination des tensions et surtensions représentatives (U_{rp})	53
5.3 Détermination des tensions de tenue de coordination (U_{cw})	54
5.4 Détermination des tensions de tenue requises (U_{rw})	55
5.5 Choix du niveau d'isolement assigné	55
5.6 Liste des tensions de tenue assignées normalisées de courte durée à fréquence industrielle	56
5.7 Liste des tensions de tenue assignées normalisées aux chocs	56
5.8 Gammes de la tension la plus élevée pour le matériel	57
5.9 Conditions environnementales	57
5.10 Choix du niveau d'isolement normalisé	57
5.11 Origine des niveaux d'isolement normalisés	62
6 Exigences pour les essais de tension de tenue normalisée	63
6.1 Exigences générales	63
6.2 Essais de tension de tenue normalisée de courte durée à fréquence industrielle	64
6.3 Essais de tension de tenue normalisée aux chocs	64
6.4 Situation d'essai alternative	65
6.5 Essais de tension de tenue normalisée de l'isolation entre phases et de l'isolation longitudinale pour le matériel de la gamme I	66
6.6 Essais de tension de tenue normalisée de l'isolation entre phases et de l'isolation longitudinale pour le matériel de la gamme II	66
Annexe A (normative) Distances dans l'air pour installation garantissant une tension de tenue aux chocs spécifiée	68
Annexe B (informative) Valeurs de niveaux d'isolement assignés pour $1 \text{ kV} < U_m \leq 245 \text{ kV}$ pour des tensions les plus élevées pour le matériel U_m normalisées par la CEI, fondées sur la pratique existant dans certains pays	73
Bibliographie	74
Figure 1 – Organigramme de détermination du niveau d'isolement assigné ou normalisé	52

Table 1 – Classes et formes des surtensions, des formes de tension normalisées et des essais de tension de tenue normalisée.....	53
Tableau 2 – Niveaux d'isolement normalisés pour la gamme I ($1 \text{ kV} < U_m \leq 245 \text{ kV}$).....	59
Tableau 3 – Niveaux d'isolement normalisés pour la gamme II ($U_m > 245 \text{ kV}$).....	60
Tableau A.1 – Correspondance entre les tensions de tenue assignées normalisées au choc de foudre et les distances dans l'air minimales	69
Tableau A.2 – Correspondance entre les tensions de tenue assignées normalisées au choc de manœuvre et les distances dans l'air minimales phase-terre.....	71
Tableau A.3 – Correspondance entre les tensions de tenue assignées normalisées au choc de manœuvre et les distances dans l'air minimales entre phases-phase.....	72
Tableau B.1 – Valeurs de niveaux d'isolement assignés pour $1 \text{ kV} < U_m \leq 245 \text{ kV}$ pour des tensions les plus élevées pour le matériel U_m non normalisées par la CEI, fondées sur la pratique existant dans certains pays	73

IECNORM.COM

Click to view the full PDF of IEC 60071-1:2006+A1:2010

Without watermark

2010 CSV

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

COORDINATION DE L'ISOLEMENT –

Partie 1: Définitions, principes et règles

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, la CEI – entre autres activités – publie des Normes internationales, des Spécifications techniques, des Rapports techniques, des Spécifications accessibles au public (PAS) et des Guides (ci-après dénommés "Publication(s) de la CEI"). Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec la CEI, participent également aux travaux. La CEI collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de la CEI concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de la CEI intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de la CEI se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de la CEI. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que la CEI s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications, la CEI ne peut pas être tenue responsable de l'éventuelle mauvaise utilisation ou interprétation qui en est faite par un quelconque utilisateur final.
- 4) Dans le but d'encourager l'uniformité internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de la CEI dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de la CEI et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) La CEI elle-même ne fournit aucune attestation de conformité. Des organismes de certification indépendants fournissent des services d'évaluation de conformité et, dans certains secteurs, accèdent aux marques de conformité de la CEI. La CEI n'est responsable d'aucun des services effectués par les organismes de certification indépendants.
- 6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.
- 7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à la CEI, à ses administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris ses experts particuliers et les membres de ses comités d'études et des Comités nationaux de la CEI, pour tout préjudice causé en cas de dommages corporels et matériels, ou de tout autre dommage de quelque nature que ce soit, directe ou indirecte, ou pour supporter les coûts (y compris les frais de justice) et les dépenses découlant de la publication ou de l'utilisation de cette Publication de la CEI ou de toute autre Publication de la CEI, ou au crédit qui lui est accordé.
- 8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.
- 9) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Publication de la CEI peuvent faire l'objet de droits de brevet. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de brevets et de ne pas avoir signalé leur existence.

Cette version consolidée de la CEI 60071-1 comprend la huitième édition (2006) [documents 28/176/FDIS et 28/177/RVC] et son amendement 1 (2010) [documents 28/198A/FDIS et 28/201/RVD]. Elle porte le numéro d'édition 8.1.

Le contenu technique de cette version consolidée est donc identique à celui de l'édition de base et à son amendement; cette version a été préparée par commodité pour l'utilisateur. Une ligne verticale dans la marge indique où la publication de base a été modifiée par l'amendement 1. Les ajouts et les suppressions apparaissent en rouge, les suppressions sont barrées.

La Norme internationale CEI 60071-1 a été établie par le comité d'études 28 de la CEI: Coordination de l'isolement.

Les principaux changements par rapport à l'édition précédente sont ceux qui suivent:

- dans les définitions (3.26, 3.28 et 3.29) et dans les conditions environnementales (5.9) prises en compte, clarification des corrections atmosphérique et d'altitude impliquées dans le processus de coordination de l'isolement;
- dans la liste des tensions de tenue assignées normalisées de courte durée à fréquence industrielle mentionnées en 5.6, introduction de 115 kV;
- dans la liste des tensions de tenue assignées normalisées aux chocs indiquées en 5.7, introduction de 200 kV et 380 kV;
- dans les niveaux de tenue normalisés pour la gamme I ($1\text{ kV} < U_m \leq 245\text{ kV}$) (Tableau 2), introduction de la tension la plus élevée pour le matériel $U_m = 100\text{ kV}$;
- dans les niveaux de tenue normalisés pour la gamme II ($U_m > 245\text{ kV}$) (Tableau 3) remplacement de 525 kV par 550 kV et de 765 kV par 800 kV;
- afin de supprimer cette partie dans la révision prochaine de la CEI 60071-2, introduction de l'Annexe A relative aux distances dans l'air pour installation avec tension de tenue aux chocs spécifiée;
- dans l'Annexe B, limitation à deux valeurs de U_m pour les valeurs de niveaux d'isolement assignés pour $1\text{ kV} < U_m \leq 245\text{ kV}$ pour des tensions les plus élevées pour le matériel U_m non normalisées par la CEI, fondées sur la pratique existant dans certains pays.

Cette publication a été rédigée selon les Directives ISO/CEI, Partie 2.

La CEI 60071 comprend les parties suivantes, sous le titre général *Coordination de l'isolement*:

Partie 1: Définitions, principes et règles

Partie 2: Guide d'application

Partie 4: Guide de calcul de coordination de l'isolement et de modélisations des réseaux électriques

Partie 5: Procédures pour les stations de conversion à courant continu haute tension (CCHT)

Le comité a décidé que le contenu de la publication de base et de ses amendements ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site web de la CEI sous "<http://webstore.iec.ch>" dans les données relatives à la publication recherchée. A cette date, la publication sera

- reconduite,
- supprimée,
- remplacée par une édition révisée, ou
- amendée.

IMPORTANT – Le logo "colour inside" qui se trouve sur la page de couverture de cette publication indique qu'elle contient des couleurs qui sont considérées comme utiles à une bonne compréhension de son contenu. Les utilisateurs devraient, par conséquent, imprimer cette publication en utilisant une imprimante couleur.

COORDINATION DE L'ISOLEMENT –

Partie 1: Définitions, principes et règles

1 Domaine d'application

La présente partie de la CEI 60071 s'applique aux réseaux à tension alternative triphasée dont la tension la plus élevée pour le matériel est supérieure à 1 kV. Elle spécifie la procédure pour le choix des tensions de tenue assignées normalisées pour l'isolation phase-terre, l'isolation entre phases et l'isolation longitudinale du matériel et des installations de ces réseaux. Elle donne également les listes des valeurs normalisées parmi lesquelles il convient de choisir les tensions de tenue assignées normalisées.

Cette norme recommande que les tensions de tenue choisies soient associées aux tensions les plus élevées pour le matériel. Cette association est destinée aux seules fins de la coordination de l'isolement. Les exigences concernant la sécurité des personnes ne sont pas couvertes par cette norme.

Bien que les principes de cette norme s'appliquent également à l'isolation des lignes de transport d'énergie, les valeurs des tensions de tenue peuvent être différentes des tensions de tenue assignées normalisées.

Il appartient aux comités de produits de spécifier les tensions de tenue et les procédures d'essai appropriées aux matériels correspondants, en prenant les recommandations de cette norme en considération.

NOTE Toutes les règles pour la coordination de l'isolement données dans cette norme sont justifiées en détail dans la CEI 60071-2, en particulier en ce qui concerne l'association des tensions de tenue assignées normalisées avec les tensions les plus élevées pour le matériel. Lorsque plusieurs séries de tensions de tenue assignées normalisées sont associées à la même valeur de la tension la plus élevée pour le matériel, une ligne directrice est donnée pour le choix de la série la plus appropriée.

2 Références normatives

Les documents de référence suivants sont indispensables pour l'application 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).

CEI 60038:2002, *Tensions normales de la CEI*

CEI 60060-1:1989, *Techniques des essais à haute tension – Partie 1: Définitions et prescriptions générales relatives aux essais*

CEI 60071-2, *Coordination de l'isolement – Partie 2: Guide d'application*

CEI 60099-4, *Parafoudres – Partie 4: Parafoudres à oxyde métallique sans éclateurs pour réseaux à courant alternatif*

CEI 60507, *Essais sous pollution artificielle des isolateurs pour haute tension destinés aux réseaux à courant alternatif*

CEI 60633, *Terminologie pour le transport d'énergie en courant continu à haute tension (CCHT)*

3 Termes et définitions

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

3.1

coordination de l'isolement

sélection de la rigidité diélectrique des matériels, en fonction des tensions de service et des surtensions qui peuvent apparaître dans le réseau auquel ces matériels sont destinés et compte tenu de l'environnement en service et des caractéristiques des dispositifs de prévention et de protection disponibles

[VEI 604-03-08:1987, modifiée]

NOTE La «rigidité diélectrique» des matériels est prise ici au sens de niveau d'isolement assigné ou de niveau d'isolement normalisé tels que définis respectivement en 3.35 et en 3.36.

3.2

isolation externe

distances dans l'air atmosphérique et sur les surfaces des isolations solides d'un matériel en contact avec l'air atmosphérique, qui sont soumises aux contraintes diélectriques et à l'influence des conditions atmosphériques ou d'autres conditions environnementales provenant du site comme la pollution, l'humidité, les animaux, etc.

[VEI 604-03-02:1987, modifiée]

NOTE L'isolation externe est soit protégée, soit exposée, selon qu'elle est conçue pour être utilisée à l'intérieur ou à l'extérieur d'abris fermés.

3.3

isolation interne

distances internes dans l'isolation solide, liquide ou gazeuse des matériels qui sont à l'abri de l'influence des conditions atmosphériques ou d'autres agents externes

[VEI 604-03-03:1987]

3.4

isolation autorégénératrice

isolation qui, en peu de temps, retrouve intégralement ses propriétés isolantes après une décharge disruptive au cours d'un essai

[VEI 604-03-04:1987, modifiée]

NOTE Une isolation de ce type est généralement, mais pas nécessairement, une isolation externe.

3.5

isolation non autorégénératrice

isolation qui perd ses propriétés isolantes, ou ne les retrouve pas intégralement, après une décharge disruptive au cours d'un essai

[VEI 604-03-05:1987, modifiée]

NOTE Les définitions 3.4 et 3.5 s'appliquent uniquement quand la décharge est provoquée par l'application d'une tension d'essai lors d'un essai diélectrique. Cependant, des décharges apparaissant en service peuvent conduire une isolation autorégénératrice à perdre partiellement ou complètement ses propriétés isolantes d'origine.

3.6

borne de la configuration de l'isolation

l'une ou l'autre des deux bornes entre lesquelles peut être appliquée une tension qui soumet l'isolation à une contrainte. Les types de borne sont:

- (a) borne de phase, en service, la tension phase-neutre du réseau est appliquée entre cette borne et le neutre;
- (b) borne de neutre, représentant le point neutre du réseau, ou y étant connectée (borne de neutre de transformateur, etc.);
- (c) borne de terre, toujours mise directement à la terre en service (cuve de transformateur, socle de sectionneur, structure de pylône, plaque de mise à la terre, etc.)

3.7

configuration de l'isolation

configuration géométrique complète de l'isolation en service comprenant l'isolation et toutes ses bornes. Elle inclut tous les éléments (isolants et conducteurs) qui influencent son comportement diélectrique. On distingue les configurations de l'isolation suivantes:

3.7.1

configuration de l'isolation triphasée

configuration ayant trois bornes de phase, une borne de neutre et une borne de terre

3.7.2

configuration de l'isolation phase-terre

p-e

configuration d'isolation triphasée dans laquelle on ne tient pas compte des bornes de deux phases et, sauf cas particuliers, dans laquelle la borne de neutre est mise à la terre

3.7.3

configuration de l'isolation phase-phase

p-p

configuration d'isolation triphasée dans laquelle on ne tient pas compte d'une borne de phase. Dans des cas particuliers, les bornes de neutre et de terre ne sont également pas prises en compte

3.7.4

configuration de l'isolation longitudinale

t-t

configuration de l'isolation ayant deux bornes de phase et une borne de terre. Les bornes de phase appartiennent à la même phase d'un réseau triphasé, séparée temporairement en deux parties indépendantes sous tension (par exemple, appareils de connexion ouverts). Les quatre bornes appartenant aux deux autres phases ne sont pas prises en compte ou sont mises à la terre. Dans des cas particuliers, l'une des deux bornes de phase considérées est mise à la terre

3.8

tension nominale d'un réseau

U_n

valeur arrondie appropriée de la tension utilisée pour dénommer ou identifier un réseau

[VEI 601-01-21:1985]

3.9

tension la plus élevée d'un réseau

U_s

valeur la plus élevée de la tension de service entre phases (valeur efficace) qui se présente à un instant et en un point quelconque du réseau dans des conditions d'exploitation normales

[VEI 601-01-23:1985, modifiée]

3.10

tension la plus élevée pour le matériel

U_m

valeur la plus élevée de la tension entre phases (valeur efficace) pour laquelle le matériel est spécifié en ce qui concerne son isolement ainsi que certaines autres caractéristiques qui sont rattachées à cette tension dans les normes proposées pour chaque matériel. Dans les conditions normales de service spécifiées par le comité de produit correspondant, cette tension peut être appliquée au matériel en permanence

[VEI 604-03-01:1987, modifiée]

3.11**réseau à neutre isolé**

réseau dont aucun point neutre n'a de connexion intentionnelle avec la terre, à l'exception des liaisons à haute impédance destinées à des dispositifs de protection ou de mesure

[VEI 601-02-24:1985]

3.12**réseau à neutre directement à la terre**

réseau dont le ou les points neutres sont reliés directement à la terre

[VEI 601-02-25:1985]

3.13**réseau à neutre non directement à la terre**

réseau dont le ou les points neutres sont reliés à la terre par l'intermédiaire d'impédances destinées à limiter les courants de défaut à la terre

[VEI 601-02-26:1985]

3.14**réseau compensé par bobine d'extinction**

réseau dont un ou plusieurs points neutres sont reliés à la terre par des réactances compensant approximativement la composante capacitive du courant de défaut monophasé à la terre

[VEI 601-02-27:1985]

NOTE Pour un réseau compensé par bobine d'extinction, le courant résiduel dans le défaut est limité à tel point qu'un arc de défaut dans l'air est généralement auto-extinguible.

3.15**facteur de défaut à la terre**

k

en un emplacement donné d'un réseau triphasé, et pour un schéma d'exploitation donné de ce réseau, rapport entre, d'une part, la tension efficace la plus élevée, à la fréquence du réseau, entre une phase saine et la terre pendant un défaut à la terre affectant une phase quelconque ou plusieurs phases en un point quelconque du réseau, et d'autre part la valeur efficace de la tension entre phase et terre à la fréquence du réseau qui serait obtenue à l'emplacement considéré en l'absence du défaut

[VEI 604-03-06:1987]

3.16**surtension**

toute tension:

- entre un conducteur de phase et la terre ou à travers une isolation longitudinale dont la valeur de crête dépasse la valeur de crête correspondant à la tension la plus élevée du réseau divisée par $\sqrt{3}$

[VEI 604-03-09:1987, modifiée] ou

- entre conducteurs de phase dont la valeur de crête dépasse l'amplitude de la tension la plus élevée du réseau

[VEI 604-03-09:1987, modifiée]

NOTE Sauf indication contraire clairement stipulée, comme pour les parafoudres, les valeurs de surtension exprimées en p.u. renvoient à $U_s \times \sqrt{2}/\sqrt{3}$.

3.17

classification des tensions et des surtensions

tensions et surtensions réparties selon les catégories suivantes d'après leur forme et leur durée

NOTE Plus de détails sur les six premières tensions et surtensions suivantes sont aussi donnés au Tableau 1.

3.17.1

tension permanente (à fréquence industrielle)

tension à la fréquence du réseau, considérée comme ayant une valeur efficace constante, appliquée en permanence à toute paire de bornes d'une configuration d'isolation

3.17.2

surtension temporaire

TOV

surtension à fréquence industrielle de durée relativement longue

[VEI 604-03-12:1987, modifiée]

NOTE La surtension peut être non amortie ou faiblement amortie. Dans certains cas, sa fréquence peut être inférieure ou supérieure à la fréquence industrielle dans un rapport de plusieurs unités.

3.17.3

surtension transitoire

surtension de courte durée, ne dépassant pas quelques millisecondes, oscillatoire ou non, généralement fortement amortie

[VEI 604-03-13:1987]

NOTE Les surtensions transitoires peuvent être immédiatement suivies par des surtensions temporaires. S'il en est ainsi, les deux types de surtensions sont considérés comme des événements séparés.

Les surtensions transitoires sont divisées en:

3.17.3.1

surtension à front lent

SFO

surtension transitoire, généralement unidirectionnelle, de durée T_p jusqu'à la valeur de crête telle que $20 \mu s < T_p \leq 5\,000 \mu s$ et de durée de queue $T_2 \leq 20 ms$

3.17.3.2

surtension à front rapide

SFO

surtension transitoire, généralement unidirectionnelle, de durée T_p jusqu'à la valeur de crête telle que $0,1 \mu s < T_p \leq 20 \mu s$ et de durée de queue $T_2 < 300 \mu s$

3.17.3.3

surtension à front très rapide

VFFO

surtension transitoire, généralement unidirectionnelle, de durée jusqu'à la valeur de crête $T_f \leq 0,1 \mu s$ et avec ou sans oscillations superposées de fréquence $30 kHz < f < 100 MHz$

3.17.4

surtension combinée

consistant en deux composantes de tension appliquées simultanément entre chacune des deux bornes de phase d'une isolation entre phases (ou longitudinale) et la terre. Elle est classée selon la composante de la valeur de crête la plus élevée (temporaire, à front lent, à front rapide ou à front très rapide)

3.18

formes de tension normalisées pour essai

les formes de tension suivantes sont normalisées:

NOTE Plus de détails sur les trois premières formes de tension normalisées suivantes sont donnés dans la CEI 60060-1 ainsi qu'au Tableau 1.

3.18.1

tension normalisée de courte durée à fréquence industrielle

tension sinusoïdale de fréquence comprise entre 48 Hz et 62 Hz et de durée égale à 60 s

3.18.2

tension normalisée de choc de manœuvre

tension de choc ayant une durée jusqu'à la crête de 250 μ s et une durée jusqu'à la mi-valeur de 2 500 μ s

3.18.3

tension normalisée de choc de foudre

tension de choc ayant une durée de front de 1,2 μ s et une durée jusqu'à la mi-valeur de 50 μ s

3.18.4

tension normalisée de choc de manœuvre combinée

pour l'isolation entre phases, une tension de choc combinée ayant deux composantes de valeurs de crête égales et de polarités opposées.

La composante positive est une tension de choc de manœuvre normalisée et la composante négative est une tension de choc de manœuvre dont les durées jusqu'à la crête et jusqu'à la mi-valeur ne sont pas inférieures à celles de la composante positive. Il convient que les deux tensions de choc atteignent leur valeur de crête au même instant. Par conséquent, la valeur de crête de la tension combinée est la somme des valeurs de crête de leurs composantes

3.18.5

tension normalisée combinée

pour l'isolation longitudinale, une tension combinée ayant un choc normalisé sur une borne et une tension à fréquence industrielle sur l'autre borne. La composante de choc est appliquée à la valeur de crête de la tension à fréquence industrielle de polarité opposée

3.19

surtensions représentatives

U_{rp}

surtensions supposées produire le même effet diélectrique sur l'isolation que les surtensions d'une catégorie donnée apparaissant en service dues à diverses origines.

Elles sont constituées de tensions ayant la forme normalisée de la catégorie en question et peuvent être définies par une valeur, un ensemble de valeurs ou une distribution statistique des valeurs qui caractérisent les conditions de service

NOTE Cette définition s'applique également à la tension permanente à fréquence industrielle qui représente l'effet de la tension de service sur l'isolation.

3.20

dispositif de limitation des surtensions

dispositif qui limite les valeurs de crête des surtensions ou leurs durées ou les deux. Ces dispositifs sont classés en dispositifs de prévention (tel que résistance de préinsertion) ou en dispositifs de protection (tel que parafoudre)

3.21

niveau de protection au choc de foudre [ou de manœuvre]

U_{pl} [ou U_{ps}]

valeur de crête maximale de la tension admissible aux bornes d'un dispositif de protection soumis, dans des conditions spécifiées, à des chocs de foudre [ou de manœuvre]

[VEI 604-03-56:1987 et VEI 604-03-57:1987]

3.22

critère de performance

base sur laquelle est choisie l'isolation de façon à réduire à un niveau acceptable, du point de vue de l'économie et de celui de l'exploitation, la probabilité que les contraintes diélectriques résultantes imposées aux matériels causent des dommages aux isolations des matériels ou affectent la continuité du service. Ce critère est habituellement exprimé en termes d'un taux de défaillance acceptable (nombre de défaillances par année, nombre d'années entre défaillances, risque de défaillance, etc.) de la configuration de l'isolation

3.23

tension de tenue

valeur de la tension d'essai à appliquer, dans des conditions spécifiées, lors d'un essai de tension de tenue pendant lequel un nombre spécifié de décharges disruptives est toléré. La tension de tenue est désignée par:

- tension de tenue présumée conventionnelle, lorsque le nombre de décharges disruptives toléré est nul. Cela est supposé correspondre à une probabilité de tenue $P_w = 100 \%$;
- tension de tenue statistique, lorsque le nombre de décharges disruptives toléré est relatif à une probabilité de tenue spécifiée. Dans cette norme, la probabilité spécifiée est $P_w = 90 \%$.

NOTE Dans cette norme, les tensions de tenue présumées conventionnelles sont spécifiées pour l'isolation non autorégénératrice et les tensions de tenue statistiques le sont pour l'isolation autorégénératrice.

3.24

tension de tenue de coordination

U_{cw}

pour chaque catégorie de tension, valeur de la tension de tenue de la configuration de l'isolation, dans les conditions réelles de service, qui satisfait au critère de performance

3.25

facteur de coordination

K_c

facteur par lequel il faut que la valeur de la surtension représentative soit multipliée pour obtenir la valeur de la tension de tenue de coordination

3.26

conditions atmosphériques normalisées de référence

conditions atmosphériques auxquelles les tensions de tenue assignées normalisées s'appliquent (voir 5.9)

3.27

tension de tenue requise

U_{rw}

tension d'essai qu'il faut que l'isolation tienne dans un essai de tension de tenue normalisée pour s'assurer que l'isolation satisfera au critère de performance lorsqu'elle sera soumise à une catégorie donnée de surtensions dans les conditions réelles de service et pendant toute la durée de service. La tension de tenue requise a la forme de la tension de tenue de coordination et elle est spécifiée en se référant à toutes les conditions de l'essai de tension de tenue normalisée choisi pour vérifier cette tenue

3.28**facteur de correction atmosphérique** **K_t**

facteur à appliquer à la tension de tenue de coordination pour tenir compte de la différence de tenue diélectrique entre les conditions atmosphériques moyennes en service et les conditions atmosphériques normalisées de référence.

Ce facteur ne s'applique qu'à l'isolation externe, pour toutes les altitudes

NOTE 1 Le facteur K_t permet de corriger les tensions d'essai en tenant compte de la différence entre les conditions atmosphériques réelles pendant les essais et les conditions atmosphériques normalisées de référence. Pour ce facteur, les conditions atmosphériques prises en compte sont la pression de l'air, la température et l'humidité.

NOTE 2 En général, pour les besoins de coordination de l'isolement, seule la correction de pression de l'air a besoin d'être prise en compte.

3.29**facteur de correction de l'altitude** **K_a**

facteur à appliquer à la tension de tenue de coordination pour tenir compte de la différence de tenue diélectrique entre la pression moyenne correspondant à l'altitude en service et la pression normalisée de référence

NOTE Le facteur de correction de l'altitude K_a fait partie du facteur de correction atmosphérique K_t .

3.30**facteur de sécurité** **K_s**

facteur global à appliquer à la tension de tenue de coordination, après application du facteur de correction atmosphérique (si nécessaire), pour obtenir la tension de tenue requise en tenant compte de toutes les autres différences de tenue diélectrique entre les conditions en service au cours de la durée de vie et celles de l'essai de tension de tenue normalisée

3.31**tension de tenue réelle d'un matériel ou d'une configuration de l'isolation** **U_{aw}**

valeur la plus élevée possible de la tension d'essai qui peut être appliquée à un matériel ou à une configuration d'isolation dans un essai de tension de tenue normalisée

3.32**facteur de conversion d'essai** **K_{tc}**

pour un matériel ou une configuration d'isolation donné, facteur à appliquer à la tension de tenue requise d'une catégorie de surtension donnée, dans le cas où la forme de la tension de tenue normalisée de l'essai de tension de tenue choisi est celle d'une catégorie de surtension différente

NOTE Pour une configuration de matériel ou d'isolation donnée: il faut que le facteur de conversion d'essai de la forme de la tension normalisée (a) en forme de tension normalisée (b) soit supérieur ou égal au rapport entre la tension de tenue réelle pour la forme de tension normalisée (a) et la tension de tenue réelle de la forme de tension normalisée (b).

3.33**tension de tenue assignée**

valeur de la tension d'essai, appliquée dans un essai de tension de tenue normalisée, qui permet de vérifier que l'isolation satisfait à une ou plusieurs des tensions de tenue requises. C'est une valeur assignée d'isolation d'un matériel

3.34**tension de tenue assignée normalisée** **U_w**

valeur normalisée de la tension de tenue assignée telle que recommandée dans cette norme (voir 5.6 et 5.7)

3.35

niveau d'isolement assigné

ensemble de tensions de tenue assignées qui caractérisent la rigidité diélectrique de l'isolation

3.36

niveau d'isolement normalisé

ensemble de tensions de tenue assignées normalisées associées à U_m comme il est recommandé dans cette norme (voir Tableau 2 et Tableau 3)

3.37

essai de tension de tenue normalisée

essai diélectrique effectué dans des conditions spécifiées pour démontrer que l'isolation satisfait à une tension de tenue assignée normalisée.

NOTE 1 Cette norme couvre:

- les essais à la tension de courte durée à fréquence industrielle;
- les essais au choc de manœuvre;
- les essais au choc de foudre;
- les essais au choc de manœuvre combinés;
- les essais à la tension combinée.

NOTE 2 Des informations détaillées complémentaires sur les essais de tension de tenue normalisée sont données dans la CEI 60060-1 (voir également le Tableau 1 pour les formes de la tension d'essai).

NOTE 3 Il convient que les essais de tension de tenue normalisée au choc à front très rapides soient spécifiés par les comités de produit concernés, si nécessaire.

4 Symboles et abréviations

4.1 Généralités

Cette liste ne couvre que les symboles et les abréviations utilisés le plus fréquemment et qui sont utiles pour la coordination de l'isolement.

4.2 Indices

p-e	phase à terre
t-t	longitudinal
max	maximum (CEI 60633)
p-p	entre phases

4.3 Symboles littéraux

f	fréquence
k	facteur de défaut à la terre
K_t	facteur de correction atmosphérique
K_a	facteur de correction d'altitude
K_c	facteur de coordination
K_s	facteur de sécurité
K_{tc}	facteur de conversion d'essai
P_w	probabilité de tenue
T_1	durée de front
T_2	durée jusqu'à la mi-valeur d'une tension décroissante

T_p	durée jusqu'à la valeur de crête
T_t	durée totale de surtension
U_{aw}	tension de tenue réelle d'un matériel ou d'une configuration de l'isolation
U_{cw}	tension de tenue de coordination
U_m	tension la plus élevée pour le matériel
U_n	tension nominale d'un réseau
U_{pl}	niveau de protection au choc de foudre d'un parafoudre
U_{ps}	niveau de protection au choc de manœuvre d'un parafoudre
U_{rp}	surtension représentative
U_{rw}	tension de tenue requise
U_s	tension la plus élevée d'un réseau
U_w	tension de tenue assignée normalisée

4.4 Abréviations

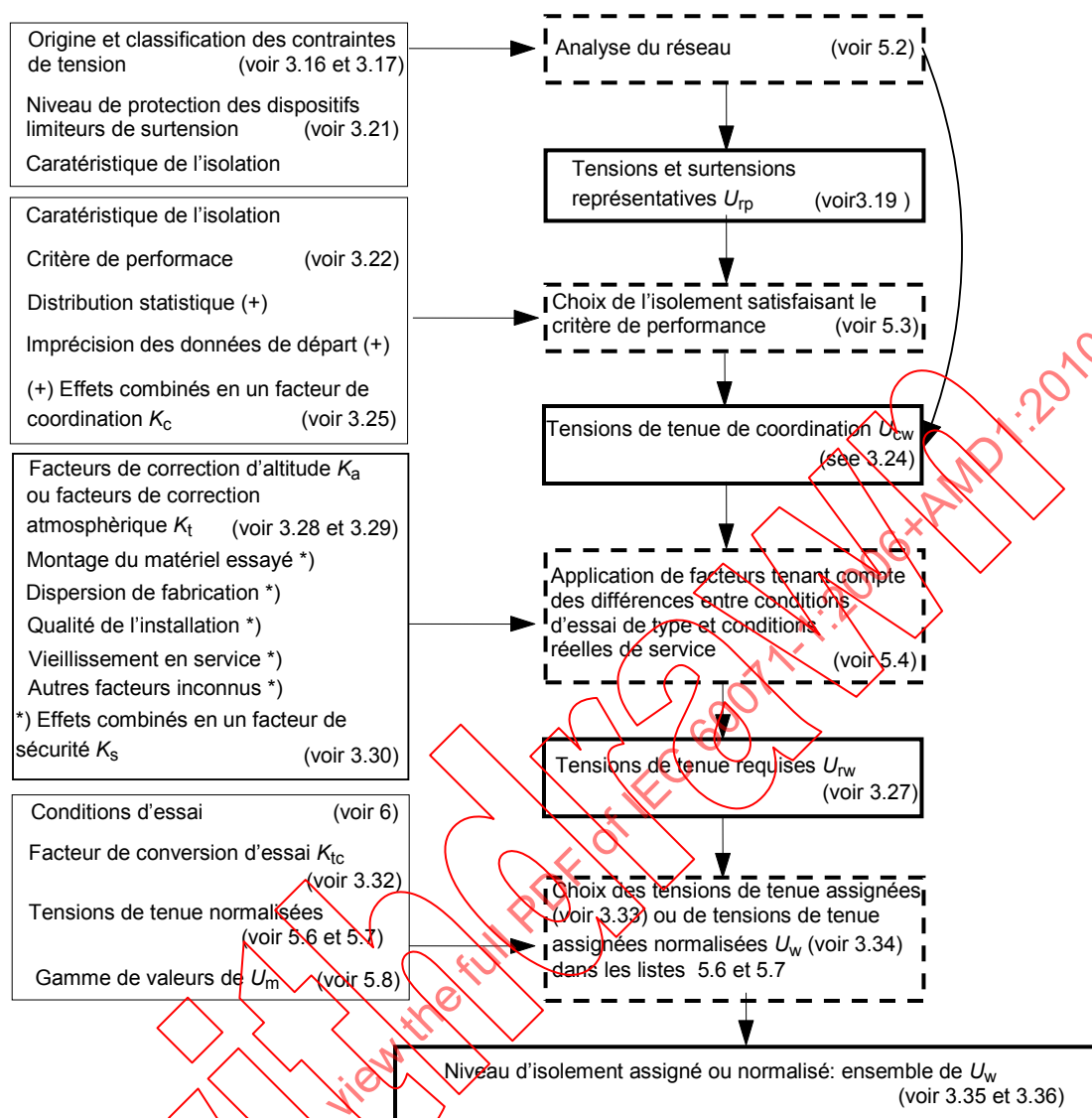
FFO	surtension à front rapide (fast-front overvoltage)
ACWV	tension de tenue assignée normalisée de courte durée à fréquence industrielle d'un matériel ou d'une configuration de l'isolation (power frequency withstand voltage)
LIPL	niveau de protection au choc de foudre d'un parafoudre (lightning impulse protective level)
SIPL	niveau de protection au choc de manœuvre d'un parafoudre (switching impulse protective level)
LIWV	tension de tenue assignée normalisée au choc de foudre d'un matériel ou d'une configuration de l'isolation (lightning impulse withstand voltage)
SFO	surtension à front lent (slow-front overvoltage)
SIWV	tension de tenue assignée normalisée au choc de manœuvre d'un matériel ou d'une configuration de l'isolation (switching impulse withstand voltage)
TOV	surtension temporaire (temporary overvoltage)
VFFO	surtension à front très rapide (very-fast-front overvoltage)

5 Procédure pour la coordination de l'isolement

5.1 Généralités sur la procédure

La procédure pour la coordination de l'isolement consiste à choisir la tension la plus élevée pour le matériel avec un ensemble de tensions de tenue assignées normalisées qui caractérisent l'isolation du matériel nécessaire à l'application. Cette procédure est représentée à la Figure 1 et ses étapes sont décrites de 5.1 à 5.5. L'optimisation de l'ensemble choisi de U_w peut nécessiter la reprise de quelques données d'entrée et la répétition d'une partie de cette procédure.

Les tensions de tenue assignées normalisées doivent être choisies dans les listes de 5.6 et de 5.7. L'ensemble des tensions normalisées choisies constitue un niveau d'isolement assigné. Si les tensions de tenue assignées normalisées sont également associées à la même valeur de U_m conformément à 5.10, cet ensemble constitue un niveau d'isolement normalisé.



IEC 2781/05

Figure 1 – Organigramme de détermination du niveau d'isolement assigné ou normalisé

5.2 Détermination des tensions et surtensions représentatives (U_{rp})

Les tensions et les surtensions qui contraignent l'isolation doivent être déterminées en amplitude, en forme et en durée, au moyen d'une analyse de réseau comprenant la sélection et le choix de l'emplacement des dispositifs de limitation et de prévention des surtensions.

Pour chaque catégorie de tensions et de surtensions, cette analyse doit donc permettre de déterminer une tension et une surtension représentative en prenant en compte le comportement de l'isolation qui diffère aux formes de tensions et surtensions du réseau et aux formes de tension normalisées appliquées lors d'un essai de tension de tenue normalisée tel que schématisé au Tableau 1.

Tableau 1 – Classes et formes des surtensions, des formes de tension normalisées et des essais de tension de tenue normalisée

Classe	Basse fréquence		Transitoire		
	Permanente	Temporaire	Front lent	Front rapide	Front très rapide
Formes de tension ou de surtension					
Gamme de formes de tension ou de surtension	$f = 50 \text{ Hz}$ ou 60 Hz $T_t \geq 3\,600 \text{ s}$	$10 \text{ Hz} < f < 500 \text{ Hz}$ $0,02 \text{ s} \leq T_t \leq 3\,600 \text{ s}$	$20 \mu\text{s} < T_p \leq 5\,000 \mu\text{s}$ $T_2 \leq 20 \text{ ms}$	$0,1 \mu\text{s} < T_1 \leq 20 \mu\text{s}$ $T_2 \leq 300 \mu\text{s}$	$T_f \leq 100 \text{ ns}$ $0,3 \text{ MHz} < f_1 < 100 \text{ MHz}$ $30 \text{ kHz} < f_2 < 300 \text{ kHz}$
Formes de tension normalisées					a
Essai de tension de tenue normalisée	a	Essais à la tension de courte durée à fréquence industrielle	Essai de choc de manœuvre	Essai au choc de foudre	a

a A spécifier par le comité de produit correspondant.

Les tensions et les surtensions représentatives peuvent être caractérisées par:

- une valeur maximale présumée, ou
- un ensemble de valeurs de crête, ou
- une distribution statistique complète de valeurs de crête.

NOTE Dans le dernier cas, des caractéristiques complémentaires concernant les formes de surtension peuvent devoir être prises en considération.

Lorsque l'adoption d'une valeur maximale présumée est jugée adéquate, la surtension représentative des différentes catégories doit être:

- Pour la tension permanente à fréquence industrielle: une tension à fréquence industrielle de valeur efficace égale à la tension la plus élevée du réseau et de durée correspondant à la durée de vie du matériel.
- Pour la surtension temporaire: une tension normalisée de courte durée à fréquence industrielle de valeur efficace égale à la valeur maximale présumée des surtensions temporaires, divisée par $\sqrt{2}$.
- Pour la surtension à front lent: une tension normalisée de choc de manœuvre de valeur de crête égale à la valeur de crête maximale présumée des surtensions à front lent.
- Pour la surtension à front rapide: une tension normalisée de choc de foudre de valeur de crête égale à la valeur de crête maximale présumée des surtensions à front rapide phase-terre.

NOTE Pour les GIS ou GIL à enveloppe triphasée et niveaux d'isolement normalisés choisis parmi les plus faibles pour une U_m donnée, il peut être nécessaire de prendre en compte les surtensions entre phases.

- Pour la surtension à front très rapide: les caractéristiques de cette catégorie de surtension sont spécifiées par les comités de produit concernés.
- Pour la surtension entre phases à front lent: une tension normalisée de choc de manœuvre combinée de valeur de crête égale à la valeur de crête maximale présumée des surtensions entre phases à front lent.
- Pour la surtension longitudinale à front lent [ou à front rapide]: une tension combinée composée d'une tension normalisée de choc de manœuvre [ou de choc de foudre] et d'une tension à fréquence industrielle, chacune de valeur de crête égale aux deux valeurs de crête maximales présumées correspondantes et dont l'instant correspondant à la crête de la tension de choc coïncide avec celui de la crête de la tension à fréquence industrielle de polarité opposée.

5.3 Détermination des tensions de tenue de coordination (U_{cw})

La détermination des tensions de tenue de coordination consiste à fixer les valeurs minimales des tensions de tenue de l'isolation qui satisfont au critère de performance quand l'isolation est soumise aux surtensions représentatives dans les conditions de service.

Les tensions de tenue de coordination de l'isolation ont la forme des surtensions représentatives de la catégorie considérée et leurs valeurs sont obtenues en multipliant les valeurs des surtensions représentatives par un facteur de coordination. La valeur du facteur de coordination dépend de la précision de l'évaluation des surtensions représentatives et d'une estimation empirique ou statistique de la distribution des surtensions et des caractéristiques de l'isolation.

Les tensions de tenue de coordination peuvent être déterminées soit comme des tensions de tenue présumées conventionnelles, soit comme des tensions de tenue statistiques. Cela influe sur la procédure de détermination et sur les valeurs du facteur de coordination.

La simulation des phénomènes de surtension, combinée à l'évaluation simultanée du risque de défaillance, en utilisant les caractéristiques adéquates de l'isolation, permet de déterminer directement les tensions de tenue de coordination statistiques sans les étapes intermédiaires de détermination des surtensions représentatives.

5.4 Détermination des tensions de tenue requises (U_{rw})

La détermination des tensions de tenue requises de l'isolation consiste à convertir les tensions de tenue de coordination en conditions d'essai normalisées appropriées. Cela est réalisé en multipliant les tensions de tenue de coordination par des facteurs qui compensent les différences entre les conditions réelles de service de l'isolation et celles des essais de tension de tenue normalisée.

Les facteurs à appliquer doivent compenser les conditions atmosphériques par le facteur de correction atmosphérique K_t et les effets de la liste ci-dessous par le facteur de sécurité K_s .

Effets combinés dans le facteur de sécurité K_s :

- les différences dans le montage du matériel;
- la dispersion dans la qualité de production;
- la qualité de l'installation;
- le vieillissement de l'isolation pendant la durée de vie attendue;
- d'autres influences inconnues.

Si, cependant, ces effets ne peuvent pas être évalués individuellement, un facteur de sécurité global, déduit de l'expérience, doit être adopté (voir CEI 60071-2).

Le facteur de correction atmosphérique K_t est uniquement applicable pour l'isolation externe. K_t doit être appliqué pour tenir compte des différences entre les conditions atmosphériques normalisées de référence et celles attendues en service.

Pour la correction d'altitude, le facteur de correction d'altitude K_a qui ne prend en compte que la pression d'air moyenne à l'altitude considérée doit être appliqué. Ce facteur K_a doit être appliqué quelle que soit l'altitude.

5.5 Choix du niveau d'isolement assigné

Le choix du niveau d'isolement assigné consiste à sélectionner l'ensemble de tensions de tenue assignées normalisées (U_w) de l'isolation la plus économique, suffisant pour démontrer que toutes les tensions de tenue requises sont satisfaites.

La tension la plus élevée pour le matériel, est alors choisie comme étant la plus proche valeur normalisée de U_m égale ou supérieure à la tension la plus élevée du réseau dans lequel le matériel sera installé.

Pour le matériel à installer dans des conditions environnementales normales, en ce qui concerne l'isolement, U_m doit au moins être égale à U_s .

Pour le matériel à installer hors des conditions environnementales normales en ce qui concerne l'isolement, U_m peut être choisie supérieure à la plus proche valeur normalisée de U_m égale ou supérieure à U_s selon les besoins spéciaux concernés.

NOTE Comme exemple, le choix d'une valeur U_m supérieure à la plus proche valeur normalisée égale ou supérieure à U_s peut intervenir lorsque le matériel est installé à une altitude supérieure à 1 000 m pour compenser la diminution de la tension de tenue de l'isolation externe.

La normalisation des essais, ainsi que le choix des tensions d'essai appropriées, pour démontrer la conformité à U_m , sont effectués par les comités de produit concernés (par exemple, essais de pollution, essais de la tension d'apparition de décharges partielles...).

Les tensions de tenue pour démontrer que sont satisfaites, les tensions de tenue requises temporaires, à front lent et à front rapide, pour l'isolation phase-terre, l'isolation entre phases et l'isolation longitudinale, peuvent être choisies de même forme que la tension de tenue requise, ou de forme différente en tenant compte, pour ce dernier choix, des caractéristiques intrinsèques de l'isolation.

La valeur de la tension de tenue assignée est alors choisie dans la liste des tensions de tenue assignées normalisées figurant en 5.6 et 5.7, comme la valeur la plus proche égale ou supérieure à :

- la tension de tenue requise, dans le cas où l'on choisit la même forme,
- la tension de tenue requise multipliée par le facteur de conversion d'essai adéquat, dans les cas où l'on choisit une forme différente.

NOTE Cela peut permettre l'adoption d'une seule tension de tenue assignée normalisée pour démontrer la conformité à plus d'une tension de tenue requise, donnant ainsi la possibilité de réduire le nombre des tensions de tenue assignées normalisées qui conduisent à définir un niveau d'isolement assigné (voir 5.10, par exemple).

Pour les matériels utilisés dans les conditions environnementales normales, il convient que le niveau d'isolement assigné soit alors préférentiellement choisi dans le Tableau 2 ou le Tableau 3 correspondant à la tension la plus élevée applicable de telle façon que les tensions de tenues assignées soient couvertes.

Le choix de la tension de tenue assignée normalisée pour démontrer la conformité à la tension de tenue requise à front très rapide doit être étudié par les comités de produit concernés.

Pour les parafoudres, les tensions de tenue requises de l'enveloppe isolante sont fondées sur les niveaux de protection U_p et U_{ps} avec les facteurs de sécurité adaptés appliqués comme prévu par la norme de produit CEI 60099-4. En général, les tensions de tenue ne doivent donc pas être choisies dans les listes des 5.6 et 5.7.

5.6 Liste des tensions de tenue assignées normalisées de courte durée à fréquence industrielle

~~Les valeurs efficaces suivantes, exprimées en kV, sont normalisées comme tensions de tenue: 10, 20, 28, 38, 50, 70, 95, 115, 140, 185, 230, 275, 325, 360, 395, 460.~~

~~Les valeurs efficaces suivantes, exprimées en kV, sont recommandées comme tensions de tenue: 510, 570, 630, 680, (710, 790, 830, 880, 960, 975: ces dernières valeurs sont à l'étude).~~

Les valeurs efficaces suivantes, exprimées en kV, sont normalisées comme tensions de tenue: 10, 20, 28, 38, 50, 70, 95, 115, 140, 185, 230, 275, 325, 360, 395, 460, 510, 570, 630, 680.

Les valeurs efficaces suivantes, exprimées en kV, sont à l'étude comme tensions de tenue: 710, 790, 830, 880, 960, 975, 1 050, 1 100, 1 200.

5.7 Liste des tensions de tenue assignées normalisées aux chocs

~~Les valeurs de crête suivantes, exprimées en kV, sont normalisées comme tensions de tenue: 20, 40, 60, 75, 95, 125, 145, 170, 200, 250, 325, 380, 450, 550, 650, 750, 850, 950, 1050, 1175, 1300, 1425, 1550, 1675, 1800, 1950, 2100, 2250, 2400.~~

Les valeurs de crête suivantes, exprimées en kV, sont normalisées comme tensions de tenue: 20, 40, 60, 75, 95, 125, 145, 170, 200, 250, 325, 380, 450, 550, 650, 750, 850, 950, 1 050, 1 175, 1 300, 1 425, 1 550, 1 675, 1 800, 1 950, 2 100, 2 250, 2 400, 2 550, 2 700, 2 900, 3 100.

5.8 Gammes de la tension la plus élevée pour le matériel

Les tensions normalisées les plus élevées pour le matériel sont divisées en deux gammes:

- **gamme I:** Au-dessus de 1 kV jusqu'à 245 kV inclus (Tableau 2). Cette gamme couvre à la fois les réseaux de transport et les réseaux de distribution. Les différents aspects concernant l'exploitation doivent, par conséquent, être pris en considération lors du choix du niveau d'isolement assigné du matériel.
- **gamme II:** Au-delà de 245 kV (Tableau 3). Cette gamme couvre essentiellement les réseaux de transport.

5.9 Conditions environnementales

5.9.1 Conditions environnementales normales

Les conditions environnementales normales qui interviennent pour la coordination de l'isolement et pour lesquelles les tensions de tenue peuvent être généralement choisies au Tableau 2 ou au Tableau 3 sont les suivantes:

- a) La température de l'air ambiant ne doit pas dépasser 40 °C et sa valeur moyenne, mesurée sur une période de 24 h, ne dépasse pas 35 °C. La température minimale de l'air ambiant est de –10 °C pour la catégorie “–10 à l'extérieur”, –25 °C pour la catégorie “–25 à l'extérieur” et –40 °C pour la catégorie “–40 à l'extérieur”.
- b) L'altitude ne dépasse pas 1 000 m au-dessus du niveau de la mer.
- c) L'air ambiant n'est pas pollué de manière significative par des poussières, des fumées, des gaz corrosifs, des vapeurs ou du sel. La pollution ne dépasse pas le niveau de pollution II – Moyen, d'après le Tableau 1 de la CEI 60071-2.
- d) La présence de condensation ou de précipitation est courante. La précipitation sous forme de rosée, de condensation, de brouillard, de pluie, de neige, de glace ou de givre est prise en compte.

NOTE Les caractéristiques de précipitation pour l'isolation sont décrites dans la CEI 60060-1. Pour d'autres propriétés, les caractéristiques de précipitation sont décrites dans la CEI 60721-2-2.

5.9.2 Conditions atmosphériques normalisées de référence

Les conditions atmosphériques normalisées de référence auxquelles les tensions de tenue assignées normalisées s'appliquent sont:

- a) température: $t_0 = 20\text{ °C}$
- b) pression: $p_0 = 101,3\text{ kPa}$ (1013 mbar)
- c) humidité absolue: $h_0 = 11\text{ g/m}^3$.

5.10 Choix du niveau d'isolement normalisé

L'association des tensions de tenue assignées normalisées à la tension la plus élevée pour le matériel a été normalisée pour bénéficier de l'expérience acquise à partir de l'exploitation des réseaux conçus selon les normes de la CEI et pour mettre en valeur la normalisation.

Les tensions de tenue assignées normalisées sont associées à la tension la plus élevée pour le matériel selon le Tableau 2 pour la gamme I et le Tableau 3 pour la gamme II. Ces tensions de tenue assignées normalisées sont valables pour les conditions environnementales normales et ajustées pour les conditions atmosphériques normalisées de référence.

Les associations obtenues en reliant les tensions de tenue assignées normalisées de toutes les colonnes sans croiser les lignes horizontales marquées sont définies comme étant les niveaux d'isolement normalisés.

Par ailleurs, les associations suivantes sont normalisées pour l'isolation entre phases et l'isolation longitudinale:

- Pour l'isolation entre phases, gamme I, les tensions de tenue assignées normalisées de courte durée à fréquence industrielle et au choc de foudre entre phases sont égales aux tensions de tenue phase-terre correspondantes (Tableau 2). Cependant, les valeurs entre parenthèses peuvent être insuffisantes pour démontrer que les tensions de tenue requises sont satisfaisantes et des essais complémentaires de tension de tenue entre phases peuvent être nécessaires.
- Pour l'isolation entre phases, gamme II, la tension de tenue assignée normalisée au choc de foudre entre phases est égale à la tension de tenue au choc de foudre phase-terre.
- Pour l'isolation longitudinale, gamme I, les tensions de tenue assignées normalisées de courte durée à fréquence industrielle et au choc de foudre sont égales aux tensions de tenue phase-terre correspondantes (Tableau 2).
- Pour l'isolation longitudinale, gamme II, la composante normalisée de choc de manœuvre de la tension de tenue combinée est donnée dans le Tableau 3, tandis que la valeur de crête de la composante à fréquence industrielle de polarité opposée est égale à $U_m \times \sqrt{2}/\sqrt{3}$,
- Pour l'isolation longitudinale, gamme II, la composante normalisée de choc de foudre de la tension de tenue combinée est égale à la tension de tenue phase-terre correspondante (Tableau 3), tandis que la valeur de crête de la composante à fréquence industrielle de polarité opposée est égale à $0,7 \times U_m \times \sqrt{2}/\sqrt{3}$.

Plus d'une association préférentielle est prévue pour la plupart des tensions les plus élevées pour le matériel afin de permettre d'appliquer différents critères de performance ou différentes valeurs de surtensions.

Pour les associations préférentielles, deux tensions de tenue assignées normalisées seulement sont suffisantes pour définir le niveau d'isolement normalisé du matériel:

- Pour les matériels de la gamme I:
 - a) la tension de tenue assignée normalisée au choc de foudre, et
 - b) la tension de tenue assignée normalisée de courte durée à fréquence industrielle.
- Pour les matériels de la gamme II:
 - a) la tension de tenue assignée normalisée au choc de manœuvre, et
 - b) la tension de tenue assignée normalisée au choc de foudre.

Si cela est justifié techniquement et économiquement, d'autres associations peuvent être adoptées. Les recommandations de 5.1 à 5.8 doivent être suivies dans chaque cas. L'ensemble résultant des tensions de tenue assignées normalisées doit être désigné, par conséquent, comme étant le niveau d'isolement assigné. Des exemples particuliers sont:

- Pour l'isolation externe, pour les valeurs de U_m situées dans le haut de la gamme I, il peut être plus économique de spécifier une tension de tenue assignée normalisée au choc de manœuvre au lieu d'une tension de tenue assignée normalisée de courte durée à fréquence industrielle.
- Pour l'isolation interne dans la gamme II, les surtensions temporaires élevées peuvent nécessiter la spécification d'une tension de tenue assignée normalisée de courte durée à fréquence industrielle.

Tableau 2 – Niveaux d'isolement normalisés pour la gamme I
(1 kV < $U_m \leq 245$ kV)

Tension la plus élevée pour le matériel (U_m) kV (valeur efficace)	Tension de tenue assignée normalisée de courte durée à fréquence industrielle kV (valeur efficace)	Tension de tenue assignée normalisée au choc de foudre kV (valeur crête)
3,6	10	20 40
7,2	20	40 60
12	28	60 75 95
17,5 ^a	38	75 95
24	50	95 125 145
36	70	145 170
52 ^a	95	250
72,5	140	325
100 ^b	(150)	(380)
	185	450
123	(185)	(450)
	230	550
	(185)	(450)
145	230	550
	275	650
	(230)	(550)
170 ^a	275	650
	325	750
	(275)	(650)
245	(325)	(750)
	360	850
	395	950
	460	1 050
NOTE Si les valeurs entre parenthèses sont considérées comme insuffisantes pour prouver que les tensions de tenue requises entre phases sont satisfaites, des essais de tension de tenue entre phases supplémentaires sont nécessaires.		
^a Ces U_m ne sont pas des valeurs préférentielles dans la CEI 60038 et par conséquent aucune combinaison normalisée n'est donnée dans les normes de produit.		
^b Cette valeur U_m n'est pas mentionnée dans la CEI 60038 mais elle a été introduite dans la gamme I dans certaines normes de produits.		

Tableau 3 – Niveaux d'isolement normalisés pour la gamme II
($U_m > 245$ kV)

Tension la plus élevée pour le matériel U_m kV (valeur efficace)	Tension de tenue assignée normalisée au choc de manœuvre			Tension de tenue assignée normalisée au choc de foudre ^b kV (valeur crête)
	Isolation longitudinale ^a kV (valeur crête)	Phase-terre kV (valeur crête)	Entre phases (rapport à la valeur de crête phase-terre)	
300 ^c	750	750	1,50	850
				950
	750	850	1,50	950
362				1050
	850	850	1,50	950
				1050
420	850	950	1,50	1050
				1175
	950	950	1,60	1175
550				1300
	950	1050	1,50	1300
				1425
800	950	1175	1,50	1425
				1550
	1175	1300	1,70	1675
				1800
	1175	1425	1,70	1800
				1950
	1175	1550	1,60	1950
				2100
	1300			

NOTE L'introduction de U_m au-delà de 800 kV est à l'étude et 1050 kV, 1100 kV et 1200 kV sont données comme U_m dans la CEI 60038 Amendement 2, 1997.

- ^a Valeur de la composante de choc de l'essai combiné correspondant lorsque la valeur de crête de la composante à fréquence industrielle de polarité opposée est $U_m \times \sqrt{2} / \sqrt{3}$.
- ^b Ces valeurs s'appliquent de la même manière pour l'isolation phase-terre et l'isolation entre phases; pour l'isolation longitudinale, elles s'appliquent comme la composante assignée normalisée au choc de foudre de la tension de tenue assignée normalisée combinée, lorsque la valeur de crête de la composante à fréquence industrielle de polarité opposée est de $0,7 \times U_m \times \sqrt{2} / \sqrt{3}$.
- ^c Cette U_m n'est pas une valeur préférentielle dans la CEI 60038.