

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



BASIC SAFETY PUBLICATION

PUBLICATION FONDAMENTALE DE SÉCURITÉ

**Insulation coordination for equipment within low-voltage supply systems –
Part 1: Principles, requirements and tests**

**Coordination de l'isolement des matériels dans les réseaux d'énergie électrique
à basse tension –
Partie 1: Principes, exigences et essais**



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2020 IEC, Geneva, Switzerland

All rights reserved. Unless otherwise specified, no part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from either IEC or IEC's member National Committee in the country of the requester. If you have any questions about IEC copyright or have an enquiry about obtaining additional rights to this publication, please contact the address below or your local IEC member National Committee for further information.

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'IEC ou du Comité national de l'IEC du pays du demandeur. Si vous avez des questions sur le copyright de l'IEC ou si vous désirez obtenir des droits supplémentaires sur cette publication, utilisez les coordonnées ci-après ou contactez le Comité national de l'IEC de votre pays de résidence.

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

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

About the IEC

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

About IEC publications

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

IEC publications search - webstore.iec.ch/advsearchform

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 It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

Stay up to date on all new IEC publications. Just Published details all new publications released. Available online and once a month by email.

IEC Customer Service Centre - webstore.iec.ch/csc

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

Electropedia - www.electropedia.org

The world's leading online dictionary on electrotechnology, containing more than 22 000 terminological entries in English and French, with equivalent terms in 16 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

IEC Glossary - std.iec.ch/glossary

67 000 electrotechnical terminology entries in English and French extracted from the Terms and definitions clause of IEC publications issued between 2002 and 2015. Some entries have been collected from earlier publications of IEC TC 37, 77, 86 and CISPR.

A propos de l'IEC

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

A propos des publications IEC

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

Recherche de publications IEC -

webstore.iec.ch/advsearchform

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

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

Restez informé sur les nouvelles publications IEC. Just Published détaille les nouvelles publications parues. Disponible en ligne et une fois par mois par email.

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

Si vous désirez nous donner des commentaires sur cette publication ou si vous avez des questions contactez-nous: sales@iec.ch.

Electropedia - www.electropedia.org

Le premier dictionnaire d'électrotechnologie en ligne au monde, avec plus de 22 000 articles terminologiques en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 16 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

Glossaire IEC - std.iec.ch/glossary

67 000 entrées terminologiques électrotechniques, en anglais et en français, extraites des articles Termes et définitions des publications IEC parues entre 2002 et 2015. Plus certaines entrées antérieures extraites des publications des CE 37, 77, 86 et CISPR de l'IEC.

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



BASIC SAFETY PUBLICATION

PUBLICATION FONDAMENTALE DE SÉCURITÉ

**Insulation coordination for equipment within low-voltage supply systems –
Part 1: Principles, requirements and tests**

**Coordination de l'isolement des matériels dans les réseaux d'énergie électrique
à basse tension –
Partie 1: Principes, exigences et essais**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 29.080.30

ISBN 978-2-8322-8287-8

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

CONTENTS

FOREWORD	6
1 Scope	8
2 Normative references	8
3 Terms, definitions and abbreviated terms	9
3.1 Terms and definitions	9
3.2 Abbreviated terms	15
4 Basic technical characteristics for insulation coordination	15
4.1 General	15
4.2 Voltages	16
4.2.1 General aspects	16
4.2.2 Transient overvoltages	17
4.2.3 Temporary overvoltages	18
4.2.4 Recurring peak voltage	18
4.2.5 Steady-state working voltage	19
4.2.6 Steady-state peak voltage	19
4.3 Overvoltage categories	19
4.3.1 General	19
4.3.2 Equipment energized directly from the mains supply	19
4.3.3 Systems and equipment not energized directly from the mains supply	20
4.4 Frequency	20
4.4.1 General	20
4.4.2 Solid insulation	20
4.5 Pollution	20
4.5.1 General	20
4.5.2 Degrees of pollution in the micro-environment	21
4.5.3 Conditions of conductive pollution	21
4.6 Insulating material	21
4.6.1 Solid insulation	21
4.6.2 Stresses	22
4.6.3 Comparative tracking index (CTI)	23
4.7 Environmental aspects	24
4.7.1 General	24
4.7.2 Altitude	24
4.7.3 Temperature	24
4.7.4 Vibrations	24
4.7.5 Humidity	24
4.8 Duration of voltage stress	24
4.9 Electrical field distribution	25
5 Design for insulation coordination	25
5.1 General	25
5.1.1 Means of insulation coordination	25
5.1.2 Frequency above 30 kHz	25
5.1.3 Reduced distances due to coating or potting	25
5.1.4 Equipment which are not connected to public low-voltage systems.	25
5.2 Dimensioning of clearances	25
5.2.1 General	25

5.2.2	Dimensioning criteria for clearances	26
5.2.3	Other factors involving clearances	26
5.2.4	Dimensioning of clearances of functional insulation	27
5.2.5	Dimensioning of clearances of basic insulation, supplementary insulation and reinforced insulation	27
5.3	Dimensioning of creepage distances	28
5.3.1	General	28
5.3.2	Dimensioning criteria of creepage distances	29
5.3.3	Other factors involving creepage distances	30
5.3.4	Dimensioning of creepage distances of functional insulation	31
5.3.5	Dimensioning of creepage distances of basic insulation, supplementary insulation and reinforced insulation	31
5.4	Requirements for design of solid insulation	32
5.4.1	General	32
5.4.2	Voltage stress	32
5.4.3	Withstand of voltage stresses	32
5.4.4	Withstand on environmental stresses	34
6	Tests and measurements	34
6.1	General	34
6.2	Verification of clearances	35
6.2.1	General	35
6.2.2	Test voltages	35
6.3	Verification of creepage distances	37
6.4	Verification of solid insulation	37
6.4.1	General	37
6.4.2	Selection of tests	38
6.4.3	Conditioning	39
6.4.4	Impulse voltage test	39
6.4.5	AC power frequency voltage test	40
6.4.6	Partial discharge test	40
6.4.7	DC voltage test	42
6.4.8	High-frequency voltage test	43
6.5	Performing dielectric tests on complete equipment	43
6.5.1	General	43
6.5.2	Parts to be tested	43
6.5.3	Preparation of equipment circuits	44
6.5.4	Test voltage values	44
6.5.5	Test criteria	44
6.6	Other tests	44
6.6.1	Test for purposes other than insulation coordination	44
6.6.2	Sampling and routine tests	44
6.6.3	Measurement accuracy of test parameters	44
6.7	Measurement of the attenuation of the transient overvoltages	45
6.8	Measurement of clearances and creepage distances	45
Annex A (informative)	Basic data on withstand characteristics of clearances	51
Annex B (informative)	Nominal voltages of mains supply for different modes of overvoltage control	56
Annex C (normative)	Partial discharge test methods	58
C.1	Test circuits	58

C.1.1	General	58
C.1.2	Test circuit for earthed test specimen (Figure C.1).....	58
C.1.3	Test circuit for unearthed test specimen (Figure C.2).....	59
C.1.4	Selection criteria.....	59
C.1.5	Measuring impedance.....	59
C.1.6	Coupling capacitor C_k	59
C.1.7	Filter.....	59
C.2	Test parameters.....	59
C.2.1	General	59
C.2.2	Requirements for the test voltage	60
C.2.3	Climatic conditions	60
C.3	Requirements for measuring instruments	60
C.3.1	General	60
C.3.2	Classification of PD meters.....	60
C.3.3	Bandwidth of the test circuit.....	61
C.4	Calibration	61
C.4.1	Calibration of discharge magnitude before the noise level measurement	61
C.4.2	Verification of the noise level.....	62
C.4.3	Calibration for the PD test	63
C.4.4	Calibration pulse generator.....	63
Annex D (informative)	Additional information on partial discharge test methods	64
D.1	Measurement of partial discharge (PD), PD inception and extinction voltage.....	64
D.2	Description of PD test circuits (Figure D.1)	64
D.3	Precautions for reduction of noise.....	65
D.3.1	General	65
D.3.2	Sources in the non-energized test circuit	65
D.3.3	Sources in the energized test circuit	65
D.3.4	Measures for reduction of noise.....	65
D.4	Application of multiplying factors for test voltages	65
D.4.1	General	65
D.4.2	Example 1 (circuit connected to mains supply).....	66
D.4.3	Example 2 (internal circuit with maximum recurring peak voltage U_{rp}).....	66
Annex E (informative)	Comparison of creepage distances specified in Table F.5 and clearances in Table A.1	67
Annex F (normative)	Tables	68
Annex G (informative)	Determination of clearance distances according to 5.2.....	77
Annex H (informative)	Determination of creepage distances according to 5.3.....	79
Bibliography.....		81
Figure 1 – Recurring peak voltage		19
Figure 2 – Determination of the width (W) and height (H) of a rib		31
Figure 3 – Test voltages		42
Figure 4 – Across the groove		46
Figure 5 – Contour of the groove		47
Figure 6 – Contour of the groove with angle.....		47
Figure 7 – Contour of rib.....		47
Figure 8 – Uncemented joint with grooves less than X		48

Figure 9 – Uncemented joint with grooves equal to or more than X	48
Figure 10 – Uncemented joint with a groove on one side less than X	49
Figure 11 – Creepage distance and clearance through an uncemented joint	49
Figure 12 – Creepage distance and clearance to a head of screw more than X	49
Figure 13 – Creepage distance and clearance to a head of screw less than X	50
Figure 14 – Creepage distance and clearance with conductive floating part	50
Figure A.1 – Withstand voltage at 2 000 m above sea level	53
Figure A.2 – Experimental data measured at approximately sea level and their low limits for inhomogeneous field	54
Figure A.3 – Experimental data measured at approximately sea level and their low limits for homogeneous field	55
Figure C.1 – Earthed test specimen	58
Figure C.2 – Unearthed test specimen	59
Figure C.3 – Calibration for earthed test specimen	62
Figure C.4 – Calibration for unearthed test specimen	62
Figure D.1 – Partial discharge test circuits	64
Figure E.1 – Comparison between creepage distances specified in Table F.5 and clearances in Table A.1	67
Figure G.1 – Determination of clearance distances according to 5.2 (1 of 2)	77
Figure H.1 – Determination of creepage distances according to 5.3 (1 of 2)	79
Table 1 – Dimensioning of grooves	46
Table A.1 – Withstand voltages for an altitude of 2 000 m above sea level (1 of 2)	51
Table A.2 – Altitude correction factors for clearance correction	52
Table B.1 – Inherent control or equivalent protective control	56
Table B.2 – Cases where protective control is necessary and control is provided by surge protective device having a ratio of voltage protection level to rated voltage not smaller than that specified in IEC 61643 (all parts)	57
Table F.1 – Rated impulse withstand voltage for equipment energized directly from the mains supply	68
Table F.2 – Clearances to withstand transient overvoltages	69
Table F.3 – Single-phase three-wire or two-wire AC or DC systems	70
Table F.4 – Three-phase four-wire or three-wire AC systems	71
Table F.5 – Creepage distances to avoid failure due to tracking (1 of 2)	72
Table F.6 – Test voltages for verifying clearances only at different altitudes	74
Table F.7 – Severities for conditioning of solid insulation	74
Table F.8 – Dimensioning of clearances to withstand steady-state peak voltages, temporary overvoltages or recurring peak voltages ^b	75
Table F.9 – Additional information concerning the dimensioning of clearances to avoid partial discharge	75
Table F.10 – Altitude correction factors for clearance correction	76

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

INSULATION COORDINATION FOR EQUIPMENT WITHIN LOW-VOLTAGE SUPPLY SYSTEMS –

Part 1: Principles, requirements and tests

FOREWORD

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

International Standard IEC 60664-1 has been prepared by IEC technical committee 109: Insulation co-ordination for low-voltage equipment.

This third edition cancels and replaces the second edition published in 2007. This edition constitutes a technical revision.

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

- a) update of the Scope, Clauses 2 and 3,
- b) new structure for Clauses 4 and 5,
- c) addition of 1 500 V DC into tables in Annex B and F,
- d) update of distances altitude correction in a new Table F.10,
- e) addition of Annex G with a flowchart for clearances,

f) addition of Annex H with a flowchart for creepage distances.

It has the status of a basic safety publication in accordance with IEC Guide 104.

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

FDIS	Report on voting
109/183/FDIS	109/186/RVD

Full information on the voting for the approval of this International Standard can be found in the report on voting indicated in the above table.

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

A list of all parts in the IEC 60664 series, published under the general title *Insulation coordination for equipment within low-voltage supply systems*, can be found on the IEC website.

Future standards in this series will carry the new general title as cited above. Titles of existing standards in this series will be updated at the time of the next edition.

In this document, the following print type is used:

– **Terms defined in Clause 3: in bold type.**

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

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

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

The contents of the corrigendum of October 2020 have been included in this copy.

INSULATION COORDINATION FOR EQUIPMENT WITHIN LOW-VOLTAGE SUPPLY SYSTEMS –

Part 1: Principles, requirements and tests

1 Scope

This part of IEC 60664 deals with **insulation coordination** for equipment having a **rated voltage** up to AC 1 000 V or DC 1 500 V connected to **low-voltage supply systems**.

This document applies to frequencies up to 30 kHz.

NOTE 1 Requirements for **insulation coordination** for equipment within **low-voltage supply systems** with rated frequencies above 30 kHz are given in IEC 60664-4.

NOTE 2 Higher voltages can exist in internal circuits of the equipment.

It applies to equipment for use up to 2 000 m above sea level and provides guidance for use at higher altitudes (See 5.2.3.4).

It provides requirements for technical committees to determine **clearances**, **creepage distances** and criteria for **solid insulation**. It includes methods of electrical testing with respect to **insulation coordination**.

The minimum **clearances** specified in this document do not apply where ionized gases are present. Special requirements for such situations can be specified at the discretion of the relevant technical committee.

This document does not deal with distances:

- through liquid insulation;
- through gases other than air;
- through compressed air.

This basic safety publication focusing on safety essential requirements is primarily intended for use by technical committees in the preparation of standards in accordance with the principles laid down in IEC Guide 104 and ISO/IEC Guide 51.

One of the responsibilities of a technical committee is, wherever applicable, to make use of basic safety publications in the preparation of its publications.

However, in case of missing specified values for **clearances**, **creepage distances** and requirements for **solid insulation** in the relevant product standards, or even missing standards, this document applies.

2 Normative references

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

IEC 60068-2-2, *Environmental testing – Part 2-2: Tests – Tests B: Dry heat*

IEC 60068-2-14:2009, *Environmental testing – Part 2-14: Tests – Test N: Change of temperature*

IEC 60068-2-78, *Environmental testing – Part 2-78: Tests – Test Cab: Damp heat, steady state*

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

IEC 61140:2016, *Protection against electric shock – Common aspects for installation and equipment*

IEC 61180:2016, *High-voltage test techniques for low-voltage equipment – Definitions, test and procedure requirements, test equipment*

3 Terms, definitions and abbreviated terms

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

ISO and IEC maintain terminological databases for use in standardization at the following addresses:

- IEC Electropedia: available at <http://www.electropedia.org/>
- ISO Online browsing platform: available at <http://www.iso.org/obp>

3.1 Terms and definitions

3.1.1

low-voltage supply system

all installations and plant provided for the purpose of generating, transmitting and distributing electricity

[SOURCE: IEC 60050-601:1985, 601-01-01, modified – The term "electric power system" has been replaced with "low-voltage supply system".]

3.1.2

mains supply

AC or DC power distribution system (external to the equipment) that supplies operating power to the equipment

Note 1 to entry: **Mains supply** includes public or private utilities and, unless otherwise specified in this document, equivalent sources such as motor-driven generators and uninterruptible power supplies.

3.1.3

insulation coordination

mutual correlation of insulation characteristics of electrical equipment taking into account the expected **micro-environment** and other influencing stresses

Note 1 to entry: Expected voltage stresses are characterized in terms of the characteristics defined in 3.1.7 to 3.1.16.

[SOURCE: IEC 60050-442:2014, 442-09-01, modified – "electrical" replaces "electric" and Note 1 to entry has been added.]

3.1.4

clearance

shortest distance in air between two conductive parts

[SOURCE: IEC 60050-581:2008, 581-27-76]

3.1.5

creepage distance

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

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

3.1.6

solid insulation

solid insulating material or a combination of solid insulating materials, placed between two conductive parts or between a conductive part and a body part

[SOURCE: IEC 60050-903:2015, 903-04-14, modified – The example has been deleted.]

3.1.7

working voltage

highest RMS value of the AC or DC voltage across any particular insulation which can occur when the equipment is supplied at **rated voltage**

Note 1 to entry: **Transient overvoltages** are disregarded.

Note 2 to entry: Both open-circuit conditions and normal operating conditions are taken into account.

[SOURCE: IEC 60050-851:2008, 851-12-31]

3.1.8

steady-state working voltage

working voltage after the **transient overvoltage** phenomena have subsided and not taking into account short-term voltage variations

3.1.9

steady-state peak voltage

peak value of the **steady-state working voltage**

3.1.10

recurring peak voltage

U_{rp}
maximum peak value of periodic excursions of the voltage waveform resulting from distortions of an AC voltage or from AC components superimposed on a DC voltage

Note 1 to entry: Random **overvoltages**, for example due to occasional switching, are not considered to be recurring peak voltages.

[SOURCE: IEC 60050-442:2014, 442-09-15]

3.1.11

overvoltage

<electrical system> any voltage having a peak value exceeding the corresponding peak value of maximum **steady-state working voltage** at normal operating conditions

3.1.12

temporary overvoltage

overvoltage at power frequency of relatively long duration

[SOURCE: IEC 60050-614:2016, 614-03-13, modified – “power frequency overvoltage” has been replaced with “**overvoltage** at power frequency” and Note 1 to entry has been deleted.]

3.1.13**transient overvoltage**

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

[SOURCE: IEC 60050-614:2016, 614-03-14, modified – “overvoltage with a duration” has been replaced with “short duration overvoltage” and the notes have been deleted.]

3.1.14**withstand voltage**

<in an electrical system> voltage to be applied to a specimen under specified test conditions which does not cause breakdown of insulation and/or **flashover** of a satisfactory specimen

3.1.15**impulse withstand voltage**

highest peak value of impulse voltage of specified form and polarity which does not cause breakdown of insulation under specified conditions

[SOURCE: IEC 60050-442:2014, 442-09-18, modified – “prescribed” has been replaced with “specified”.]

3.1.16**temporary withstand overvoltage**

highest RMS value of a **temporary overvoltage** which does not cause breakdown of insulation under specified conditions

[SOURCE: IEC 60050-442:2014, 442-09-19]

3.1.17**rated voltage** U_n

<of equipment> value of voltage assigned by the manufacturer, to a component, device or equipment and to which operation and performance characteristics are referred

Note 1 to entry: Equipment may have more than one **rated voltage** value or may have a **rated voltage** range.

[SOURCE: IEC 60050-442:2014, 442-09-10, modified – “rated value of the voltage” has been replaced with “value of voltage” and Note 2 to entry has been deleted.]

3.1.18**rated insulation voltage** U_i

value of the RMS **withstand voltage** assigned by the manufacturer to the equipment or to a part of it, characterizing the specified (long-term) withstand capability of its insulation

Note 1 to entry: The **rated insulation voltage** is equal to or greater than the **rated voltage** of equipment which is primarily related to functional performance.

[SOURCE: IEC 60050-312:2014, 312-06-02, modified – symbol has been added, in the definition “rated value” has been replaced by “value” and in the note “not necessarily equal to” has been replaced by “equal to or greater than”.]

3.1.19**rated impulse withstand voltage** U_{imp}

value of the **impulse withstand voltage** assigned by the manufacturer to the equipment or to a part of it, characterizing the specified withstand capability of its insulation against **transient overvoltages**

3.1.20

overvoltage category

numeral defining a **transient overvoltage** condition

Note 1 to entry: **Overvoltage categories** I, II, III and IV are used, see 4.3.2.

[SOURCE: IEC 60050-581:2008, 581-21-02, modified – Note 1 to entry has been added.]

3.1.21

environment

<of an electrical system> surrounding which can affect performance of a device or system

EXAMPLE Pressure, temperature, humidity, **pollution**, radiation and vibration.

3.1.22

macro-environment

environment of the room or other location in which the equipment is installed or used

[SOURCE: IEC 60050-442:2014, 442-01-55]

3.1.23

micro-environment

<of an electrical system> ambient conditions which immediately influences the dimensioning of the **clearance** and **creepage distances**

3.1.24

pollution

<of an electrical system> any condition of foreign matter, solid, liquid or gaseous (ionized gases), that can affect dielectric strength or surface resistivity

3.1.25

pollution degree

numeral characterizing the expected **pollution** of the **micro-environment**

[SOURCE: IEC 60050-581:2008, 581-21-07, modified – Note 1 to entry has been deleted.]

3.1.26

homogeneous field

electric field which has an essentially constant voltage gradient between electrodes

Note 1 to entry: The **homogeneous field** condition is referred to as case B in Table F.2 and Table F.8. See also 4.9.

3.1.27

inhomogeneous field

non-uniform field

electric field which does not have an essentially constant voltage gradient between electrodes

Note 1 to entry: See also 4.9.

[SOURCE: IEC 60050-442:2014, 442-09-03, modified – "inhomogeneous electric field" has been replaced with "inhomogeneous field", Note 1 to entry has been replaced with a new Note 1 and Note 2 to entry has been deleted.]

3.1.28

electric insulation

part of an electrotechnical product which separates the conducting parts at different electrical potentials during operation or insulates such parts from the surroundings

[SOURCE: IEC 60050-212:2010, 212-11-07, modified – "electric" has been replaced with "electrical".]

3.1.29

functional insulation

insulation between conductive parts which is necessary only for the proper functioning of the equipment

[SOURCE: IEC 60050-195:1998, 195-02-41, modified – "necessary" has been replaced with "which is necessary only".]

3.1.30

basic insulation

insulation of hazardous-live-parts which provides basic protection

Note 1 to entry: This concept does not apply to insulation used exclusively for functional purposes.

[SOURCE: IEC 60050-826:2004, 826-12-14]

3.1.31

supplementary insulation

independent insulation applied in addition to **basic insulation** for fault protection

[SOURCE: IEC 60050-826:2004, 826-12-15]

3.1.32

double insulation

insulation comprising both **basic insulation** and **supplementary insulation**

[SOURCE: IEC 60050-826:2004, 826-12-16]

3.1.33

reinforced insulation

insulation of hazardous-live-parts which provides a degree of protection against electric shock equivalent to **double insulation**

Note 1 to entry: **Reinforced insulation** may comprise several layers which cannot be tested singly as **basic insulation** or **supplementary insulation**.

[SOURCE: IEC 60050-826:2004, 826-12-17]

3.1.34

partial discharge

PD

electric discharge that partially bridges the insulation

Note 1 to entry: A **partial discharge** may occur inside the insulation or adjacent to a conductor.

Note 2 to entry: Scintillations of low energy on the surface of insulating materials are often described as **partial discharges** but should rather be considered as disruptive discharges of low energy, since they are the result of local dielectric breakdowns of high ionization density, or small arcs, according to the conventions of physics.

[SOURCE: IEC 60050-442:2014, 442-09-05, modified – Notes 1 and 2 to entry have been added.]

3.1.35

apparent charge

q_{app}

electric charge which can be measured at the terminals of the specimen under test

Note 1 to entry: The **apparent charge** is smaller than the **partial discharge**.

Note 2 to entry: The measurement of the **apparent charge** requires a short-circuit condition at the terminals of the specimen (see Clause D.2) under test.

[SOURCE: IEC 60050-442:2014, 442-09-06, modified – In the Note 2 to entry, "(see Clause D.2)" has been added.]

3.1.36

specified discharge magnitude

magnitude of the **apparent charge** when this is regarded as the limiting value

Note 1 to entry: The pulse with the maximum amplitude should be evaluated.

[SOURCE: IEC 60050-442:2014, 442-09-07]

3.1.37

pulse repetition rate

average number of pulses per second with an **apparent charge** higher than the detection level

Note 1 to entry: Within the scope of this document, it is not permitted to weigh discharge magnitudes according to the **pulse repetition rate**.

3.1.38

partial discharge inception voltage

lowest peak value of the test voltage at which the **apparent charge** becomes greater than the **specified discharge magnitude** when the test voltage is increased above a low value for which no discharge occurs

Note 1 to entry: For AC tests the RMS value may be used.

[SOURCE: IEC 60050-212:2014, 212-11-41]

3.1.39

partial discharge extinction voltage

<of an electrical system> lowest peak value of the test voltage at which the **apparent charge** becomes less than the **specified discharge magnitude** when the test voltage is reduced below a high level where such discharges have occurred

Note 1 to entry: For AC tests, the RMS value may be used.

3.1.40

partial discharge test voltage

peak value of the voltage in a **partial discharge** test, where the **apparent charge** is less than the **specified discharge magnitude**

Note 1 to entry: For AC tests, the RMS value may be used.

[SOURCE: IEC 60050-212:2014, 212-11-62, modified – Note 1 to entry has been deleted, Note 2 to entry is renumbered as Note 1 to entry.]

3.1.41

type test

<of an electrical system> test made on one or more devices representative to a certain design to check the conformity to the specifications

3.1.42**routine test**

conformity test made on each individual item during or after manufacture

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

3.1.43**sampling test**

test on a number of devices taken at random from a batch

[SOURCE: IEC 60050-411:1996, 411-53-05, modified – "machine" has been replaced with "device".]

3.1.44**electric breakdown**

failure of insulation under electric stress when the discharge completely bridges the insulation, thus reducing the voltage between the electrodes almost to zero

3.1.45**sparkover**

<of an electrical system> **electric breakdown** in a gaseous or liquid medium

3.1.46**flashover**

electric breakdown between conductors in a gas or a liquid or in vacuum, at least partly along the surface of **solid insulation**

[SOURCE: IEC 60050-212:2010, 212-11-47]

3.1.47**puncture**

electric breakdown through **solid insulation**

[SOURCE: IEC 60050-614:2016, 614-03-17, modified – "disruptive discharge" has been replaced with "electric breakdown" and "dielectric" has been replaced with "insulation".]

3.2 Abbreviated terms

List of terms with abbreviated terms and symbols together with the corresponding terminological entry:

Abbreviated term/Symbol	Term	Terminological entry
U_n	rated voltage	3.1.17
U_i	rated insulation voltage	3.1.18
U_{imp}	rated impulse withstand voltage	3.1.19
U_{rp}	recurring peak voltage	3.1.10
q_{app}	apparent charge	3.1.35
PD	partial discharge	3.1.34

4 Basic technical characteristics for insulation coordination**4.1 General**

Insulation coordination requires the selection of the **electric insulation** technical characteristics of the equipment with regard to its application and in relation to its surroundings and environmental conditions.

Insulation coordination represents one aspect of the safety of persons, livestock and property, so that the probability of risk of incidents due to voltage stresses does not lead to an unacceptable risk of harm.

This document addresses **insulation coordination** for any kind of hazard. Technical committees shall take into account the concepts of **clearance**, **creepage distance** and **solid insulation** as well as the concepts of **functional insulation**, **basic insulation**, **supplementary insulation**, **double insulation** and **reinforced insulation** for the specific hazard considering the nature of the hazard.

The technical committee shall make a risk assessment to identify the hazard in case of fault of **functional insulation**. In case a failure of **functional insulation** could create an unacceptable risk of harm (for example, due to mechanical conditions, ageing behaviour), **functional insulation** shall at a minimum be designed according to the requirements of **basic insulation**, after which another risk assessment is performed to assess the residual risk. See 5.2 to 5.4. In case a fault of **functional insulation** does not create any hazard, the technical committee may choose not to apply the requirements of this basic safety publication.

NOTE See ISO/IEC Guide 51 and IEC Guide 116 for further details about risk assessment and unacceptable risk of harm.

Electric insulation technical characteristics cover:

- voltages across the insulation according to 4.2;
- **overvoltage categories** according to 4.3;
- frequency according to 4.4;
- **pollution degree** according to 4.5;
- insulation materials according to 4.6;
- environmental aspects according to 4.7 (e.g. altitude see 4.7.2, temperature see 4.7.3, vibrations see 4.7.4, humidity see 4.7.5, duration see 4.8);
- field distribution according to 4.9.

Insulation coordination can only be achieved if the design of the equipment is based on the stresses to which it is likely to be subjected during its intended life.

4.2 Voltages

4.2.1 General aspects

When considering insulation performances, the following aspects are relevant:

- the voltages which can appear within the system:
 - **transient overvoltages** according to 4.2.2 and **overvoltage category** according to 4.3;
 - **temporary overvoltages** according to 4.2.3.
- the voltages generated by the equipment (which could adversely affect other equipment in the system):
 - **transient overvoltage** according to 4.2.2;
 - **recurring peak voltage** according to 4.2.4;
 - **steady-state working voltage** according to 4.2.5;
 - **steady-state peak voltage** according to 4.2.6.

4.2.2 Transient overvoltages

4.2.2.1 General

To apply the concept of **insulation coordination**, **transient overvoltage** shall be taken into consideration. The **transient overvoltages** that shall be considered are:

- **transient overvoltages** generated by atmospheric disturbances (for example indirect lightning strikes) and transmitted by the **mains supply** distribution system;
- **transient overvoltages** generated due to switching of loads in the **mains supply**;
- **transient overvoltages** generated by external circuits;
- **transient overvoltages** generated internally in the equipment.

Insulation coordination uses a preferred series of values of impulse voltages. The preferred impulse voltages are:

330 V, 500 V, 800 V, 1 500 V, 2 500 V, 4 000 V, 6 000 V, 8 000 V, 12 000 V.

Insulation coordination with regard to **transient overvoltage** is based on controlled **overvoltage** conditions. There are two kinds of control:

- inherent control: the condition within an electrical system wherein the characteristics of the system can be expected to limit the prospective **transient overvoltages** to a defined level;
- protective control: the condition within an electrical system wherein specific **overvoltage** attenuating means can be expected to limit the prospective **transient overvoltages** to a defined level.

See also Table B.1 and Table B.2.

4.2.2.2 Transient overvoltages entering through the mains supply

To determine the expected transients generated by atmospheric disturbances or due to switching of loads in the **mains supply**, the **rated voltage** (U_n) and the **overvoltage category** are normally used as the basis to determine the required **impulse withstand voltage**.

For equipment subjected to **transient overvoltages** that exceed the **impulse withstand voltage** these **transient overvoltages** shall be taken into account.

4.2.2.3 Transient overvoltages generated by external circuits

The applicable value of the **transient overvoltage** that may occur on any external circuit (for example coaxial cable or twisted pair networks) shall be determined. Where more than one external circuit is present, the highest **transient overvoltage** applies.

If the external circuit **transient overvoltages** are known to be higher than the one from the **overvoltage category** typically defined for such kind of equipment, the highest value of these known **transient overvoltages** shall be used.

4.2.2.4 Transient overvoltages generated internally in the equipment

For the equipment likely to generate an **overvoltage** that is higher than the transients expected to come into the equipment, for example due to switching devices, the required impulse voltage shall take into account the transient generated in the equipment. The value of these **transient overvoltages** generated internally in the equipment shall be used without considering the preferred list in 4.2.2.1.

4.2.2.5 Attenuation of transient overvoltage levels

Equipment or parts of equipment may be used under conditions where the transients are reduced. Various technology of component exists such as surge protective device (SPD), transformer, capacitance, resistance, and can have different behaviour regarding the **transient overvoltage** attenuation. These various technologies shall be verified and the method of propagation measurement shall be defined based on their relevant product standard.

Attention is drawn to the fact that a surge protective device within the installation or within equipment may have to dissipate more energy than a surge protective device at the origin of the installation having a higher protection level (clamping voltage). This applies particularly to the surge protective device with the lowest protection level (clamping voltage).

In case attenuation of the transient is expected, the **transient overvoltage** across the insulation may be measured by applying the required impulse test to the equipment and measuring the actual remaining transient over the insulation, see 6.7. The measured value may be used as the expected **transient overvoltage**. While performing the test, the equipment is energized at **rated voltage** and transients of both polarities shall be considered.

4.2.3 Temporary overvoltages

Due to faults on the **mains supply**, **temporary overvoltages** between lines and earth/neutral of several seconds will be generated and shall be considered when applying the concept of **insulation coordination**.

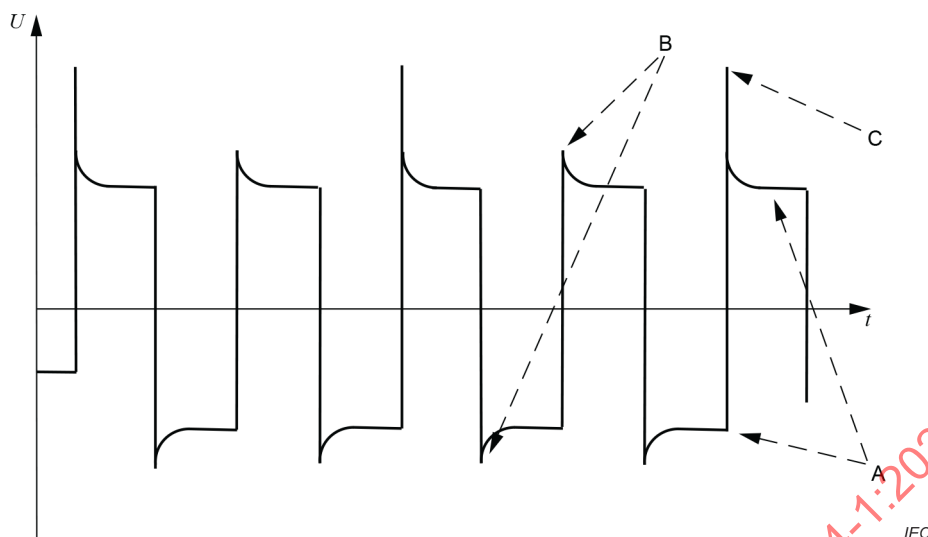
Insulation coordination with regard to **temporary overvoltages** is based on the **temporary overvoltage** specified in IEC 60364-4-44:2007, Clause 442. The values of **temporary overvoltage** in low-voltage equipment due to an earth fault in the high-voltage system are given in 5.4.3.2.

4.2.4 Recurring peak voltage

Due to the intended operation modes of specific products, internally generated voltages may also include recurring peaks superimposed to the **working voltage**. These recurring peaks voltages shall be considered when applying the concept of **insulation coordination**.

Insulation coordination with regard to **recurring peak voltage** shall consider that **partial discharges** can occur in **solid insulation** (see 4.6.2.3) or along surfaces of insulation (see Table F.9).

Recurring peak voltage has a waveshape which is measured by an oscilloscope of sufficient bandwidth, from which the peak amplitude is determined according to Figure 1.



Key

- A Steady-state voltage value
- B Steady-state peak voltage
- C Recurring peak voltage

Figure 1 – Recurring peak voltage

4.2.5 Steady-state working voltage

The highest **steady-state working voltage** (RMS value of the AC or DC value) across the insulation with the equipment supplied at the **rated voltage** shall be considered. This kind of **steady-state working voltage** can be lower, equal or higher than the **rated voltage** of the equipment. The **steady-state working voltage** of internal circuits is a direct consequence of the design of products and might be significantly higher than the value of **rated voltage**.

4.2.6 Steady-state peak voltage

The peak value of **steady-state working voltage** across the insulation with the equipment supplied at the **rated voltage** shall be considered. The **steady-state peak voltage** of internal circuits is a direct consequence of the design of products.

4.3 Overvoltage categories

4.3.1 General

The concept of **overvoltage categories** is used for equipment energized directly from the **mains supply**.

The **overvoltage categories** have a probabilistic implication rather than the meaning of physical attenuation of the **transient overvoltage** downstream in the installation.

NOTE This concept of **overvoltage categories** is used in Clause 443 of IEC 60364-4-44:2007 and IEC 60364-4-44:2007/AMD1:2015.

A similar concept can also be used for equipment connected to other systems, for example telecommunication and data systems.

4.3.2 Equipment energized directly from the mains supply

Technical committees shall specify the **overvoltage category** as based on the following general explanation of **overvoltage categories**:

- Equipment of **overvoltage category** IV is for use at the origin of the installation.

NOTE 1 Examples of such equipment are electricity meters, primary overcurrent protection devices and ripple control units.

- Equipment of **overvoltage category** III is equipment in fixed installations and for cases where the reliability and the availability of the equipment is subject to special requirements.

NOTE 2 Examples of such equipment are switches in the fixed installation and equipment for industrial use with permanent connection to the fixed installation.

- Equipment of **overvoltage category** II is energy-consuming equipment to be supplied from the fixed installation. If such equipment is subjected to special requirements with regard to reliability and availability, **overvoltage category** III applies.

NOTE 3 Examples of such equipment are appliances, portable tools and other household and similar loads.

- Equipment with an impulse withstand voltage corresponding to **overvoltage category** I shall not have direct connection to a **mains supply**.

Measures shall be taken to ensure that the **temporary overvoltages** that could occur are sufficiently limited so that their peak value does not exceed the relevant rated impulse voltage of Table F.1.

NOTE 4 Unless the circuits are designed to take the **temporary overvoltages** into account, equipment of **overvoltage category** I cannot be directly connected to the **mains supply**.

4.3.3 Systems and equipment not energized directly from the mains supply

It is recommended that technical committees specify **overvoltage categories** or **rated impulse withstand voltage** as appropriate. Application of the preferred series of 4.2.2.1 is recommended.

NOTE Telecommunication or industrial control systems or independent systems on vehicles are examples of such systems.

4.4 Frequency

4.4.1 General

The voltage withstand capability of **clearances**, **creepage distances** and **solid insulation** will be reduced with increased frequency. This effect can be observed from 1 kHz. The design of **clearances**, **creepage distances** and **solid insulation** according to this document cover the effect of high-frequencies up to 30 kHz. For frequencies above 30 kHz, see 5.1.2.

4.4.2 Solid insulation

The frequency of the voltage influences the electric strength of the **solid insulation**. Dielectric heating and the probability of thermal instability increase approximately in proportion to the frequency. Increasing the frequency will reduce the electric strength of most insulating materials.

This condition has been observed in switched-mode power supplies where the insulation is subjected to repetitive voltage peaks at frequencies up to 500 kHz.

4.5 Pollution

4.5.1 General

The **micro-environment** determines the effect of **pollution** on the insulation. The **macro-environment**, however, has to be taken into account when considering the **micro-environment**.

Means may be provided to reduce **pollution** at the insulation under consideration by effective use of enclosures, encapsulation or hermetic sealing. Such means to reduce **pollution** may not be effective when the equipment is subject to condensation or if, in normal operation, it generates pollutants itself. Enclosures for outdoor and indoor installation, intended for use in locations with high humidity and temperatures varying within wide limits, shall be provided with suitable arrangements (natural ventilation, forced ventilation, internal heating, drain holes, etc.) to prevent harmful condensation within the enclosure. Degrees of protection provided by enclosures (IP code), according to the classes specified in IEC 60529, do not necessarily improve the **micro-environment** with regard to **pollution**.

The technical committee shall provide information to verify, according to their standards, the performance of the enclosed system.

Small **clearances** can be bridged completely by solid particles, dust and water and therefore minimum **clearances** are specified where **pollution** may be present in the **micro-environment**.

4.5.2 Degrees of pollution in the micro-environment

For the purpose of evaluating **creepage distances** and **clearances**, the following four degrees of **pollution** in the **micro-environment** are established:

- **Pollution degree 1**
No **pollution** or only dry, non-conductive **pollution** occurs. The **pollution** has no influence.
- **Pollution degree 2**
Only non-conductive **pollution** occurs except that occasionally a temporary conductivity caused by condensation is to be expected. This condensation may occur during periods of on-off load cycles of the equipment.
- **Pollution degree 3**
Conductive **pollution** occurs or dry non-conductive **pollution** occurs which becomes conductive due to condensation which is to be expected.
- **Pollution degree 4**
Continuous conductivity occurs due to conductive dust, rain or other wet conditions.

4.5.3 Conditions of conductive pollution

The dimensions for **creepage distance** cannot be specified where permanently conductive **pollution** is present (**pollution degree 4**). For temporarily conductive **pollution** (**pollution degree 3**), the surface of the insulation may be designed to avoid a continuous path of conductive **pollution**, for example by means of ribs and grooves (see 5.3.3.7).

4.6 Insulating material

4.6.1 Solid insulation

The concept of **insulation coordination** may be realized by an appropriate insulation material. The insulation behaviour of the **solid insulation** is directly affected by its intrinsic material characteristics. Electrical, mechanical and other stresses which might affect the insulation behaviour over the life time of the product shall be considered.

As the electric strength of **solid insulation** is considerably greater than that of air, less attention may be paid to the design of insulation systems. On the other hand, the insulating distances through solid insulating material are, as a rule, much smaller than the **clearances** so that high electric stresses result. Another point to be considered is that the high electric strength of material is seldom made use of in practice. In insulation systems, gaps may occur between electrodes and insulation and between different layers of insulation, or voids may be present in the insulation. **Partial discharges** can occur in these gaps or voids at voltages far

below the level of **puncture** and this may influence decisively the service life of the **solid insulation**. However, **partial discharges** are unlikely to occur below a peak voltage of 500 V.

Of equally fundamental importance is the fact that **solid insulation**, as compared with gases, is not a renewable insulating medium so that, for example, high voltage peaks which may occur infrequently can have a very damaging and irreversible effect on **solid insulation**. This situation can occur while in service and during routine high-voltage testing.

4.6.2 Stresses

4.6.2.1 General

A number of detrimental influences accumulate over the service life of **solid insulation**. These follow complex patterns and result in ageing. Therefore, electrical and other stresses (e.g. thermal, environmental) are superimposed and contribute to ageing.

The long-term performance of **solid insulation** can be simulated by a short-term test in combination with suitable conditioning (see 6.4.3).

There is a general relationship between the thickness of **solid insulation** and the aforesaid failure mechanisms. By a reduction of the thickness of **solid insulation** the field strength is increased and leads to a higher risk of failure. Due to the individual electrical characteristics of the materials it is not possible to calculate the required thickness of **solid insulation**. The performance can only be verified by testing.

4.6.2.2 Mechanical shock

In the case of inadequate impact strength, mechanical shock may cause insulation failure. Failure from mechanical shock could also occur due to the reduced impact strength of materials:

- due to material becoming brittle when the temperature falls below its glass transition temperature;
- after prolonged exposure to a high temperature that has caused loss of plasticizer or degradation of the base polymer.

Technical committees shall consider this when specifying environmental conditions for transportation, storage, installation and use.

4.6.2.3 Partial discharges (PD)

Some types of **solid insulation** can withstand discharges, while others cannot. Voltage, repetition rate of discharges and discharge magnitude are important parameters.

NOTE Ceramic insulators are usually able to withstand **partial discharges**.

The PD behaviour is influenced by the frequency of the applied voltage. It is established from accelerated life tests at increased frequency that the time to failure is approximately inversely proportional to the frequency of the applied voltage. However, practical experience only covers frequencies up to 5 kHz since, at higher frequencies, other failure mechanisms may also be present, for example dielectric heating.

4.6.2.4 Other stresses

Many other stresses can damage insulation and their consequences need to be considered by technical committees.

Examples of such stresses include:

- radiation, both ultraviolet and ionizing;
- stress-crazing or stress-cracking caused by exposure to solvents or active chemicals;
- migration of plasticizers;
- the effect of bacteria, moulds or fungi;
- mechanical creep.

4.6.3 Comparative tracking index (CTI)

4.6.3.1 Behaviour of insulating material in the presence of scintillations

With regard to tracking, an insulating material can be roughly characterized according to the damage it suffers from the concentrated release of energy during scintillations when a surface leakage current is interrupted due to the drying-out of the contaminated surface. The following behaviour of an insulating material in the presence of scintillations can occur:

- decomposition of the insulating material;
- the wearing away of insulating material by the action of electrical discharges (electrical erosion);
- the progressive formation of conductive paths which are produced on the surface of insulating material due to the combined effects of electric stress and electrolytically conductive contamination on the surface (tracking).

NOTE Tracking or erosion will occur when:

- a liquid film carrying the surface leakage current breaks; and
- the applied voltage is sufficient to break down the small gap formed when the film breaks; and
- the current is above a limiting value which is necessary to provide sufficient energy locally to thermally decompose the insulating material beneath the film.

Deterioration increases with the time for which the current flows.

4.6.3.2 Comparative tracking index (CTI) values to categorize insulating materials

A method of classification for insulating materials according to 4.6.3.1 does not exist. The behaviour of the insulating material under various contaminants and voltages is extremely complex. Under these conditions, many materials may exhibit two or even all three of the characteristics stated. A direct correlation with the material groups of 5.3.2.4 is not practical. However, it has been found by experience and tests that insulating materials having a higher relative performance also have approximately the same relative ranking according to the comparative tracking index (CTI). Therefore, this document uses the comparative tracking index (CTI) values to categorize insulating materials.

4.6.3.3 Test for comparative tracking index (CTI)

The test for comparative tracking index (CTI) in accordance with IEC 60112 is designed to compare the performance of various insulating materials under test conditions. It gives a qualitative comparison and in the case of insulating materials having a tendency to form tracks, it also gives a quantitative comparison.

4.6.3.4 Non- tracking materials

For glass, ceramics or other inorganic insulating materials which do not track, **creepage distances** need not be greater than their associated **clearance** for the purpose of **insulation coordination**.

4.7 Environmental aspects

4.7.1 General

The physical and geographical location of the equipment can affect the insulation system significantly. Environmental factors such as altitude, temperature, vibrations and humidity require consideration to ensure that the **insulation coordination** remains reliable over the life time of the equipment.

4.7.2 Altitude

The breakdown voltage of a **clearance** in air is, according to Paschen's law, proportional to the product of the distance between electrodes and the atmospheric pressure. The required distances for **clearances** in this document is corrected according to the difference in atmospheric pressure between 2 000 m and sea level for **homogeneous field** and **inhomogeneous field**. See 5.2.3.4 for dimensioning of **clearance** for altitudes above 2 000 m and 6.2.2.1.4 for altitude consideration when verifying **clearance** at altitudes different from 2 000 m.

4.7.3 Temperature

Temperature can cause:

- mechanical distortion due to the release of locked-in stress;
- softening of thermoplastics;
- embrittlement of some materials due to loss of plasticiser;
- softening of some cross-linked materials particularly if the glass transition temperature of the material is exceeded;
- increased dielectric losses leading to thermal instability and failure.

High temperature gradients, for example during short-circuits, may cause mechanical failure.

4.7.4 Vibrations

Mechanical stresses caused by vibration or shock during operation, storage or transportation may cause delamination, cracking or breaking-up of the insulating material (see 5.4.4.2).

4.7.5 Humidity

The presence of water vapour can influence the insulation resistance and the **partial discharge** extinction voltage, aggravate the effect of surface contamination, produce corrosion and dimensional changes. For some materials, high humidity will significantly reduce the electric strength. Low humidity can be unfavourable in some circumstances, for example by increasing the retention of electrostatic charge and by decreasing the mechanical strength of some materials, such as polyamide.

4.8 Duration of voltage stress

The duration of voltage stress especially influences the long-term insulation behaviour of **creepage distance** and **solid insulation**. See 5.3.3.4 for **creepage distances**.

For **clearance**, where the voltage will create a breakdown of the insulation instantaneously, the duration in general does not influence the **clearance**.

4.9 Electrical field distribution

The electrical field distribution influences the electric strength of insulation.

- The **inhomogeneous field** condition of a point-plane electrode configuration is the worst case with regard to voltage withstand capability. It is represented by a point electrode having a 30 µm radius and a plane of 1 m × 1 m (see 3.1.27).
- The **homogeneous field** distribution is the most favourable and theoretical case where the electrical field is completely homogeneous between two spheres (see 3.1.26). Typically, to achieve a **homogeneous field** condition between two spheres, the radius of each sphere shall be greater than the distance between them. **Homogeneous field** conditions in real design are very difficult to achieve.

In fact, the electrical field distribution will normally be between **homogeneous field** and **inhomogeneous field**.

5 Design for insulation coordination

5.1 General

5.1.1 Means of insulation coordination

The design for **insulation coordination** shall be realized by means of:

- **clearances** (5.2);
- **creepage distances** (5.3); and
- **solid insulation** (5.4)

and applies to each individual insulation under consideration.

The design requirements of **clearances** and **creepage distances** in 5.2 and 5.3 are minimum distances based on empirical test data as presented in Annex A and Annex F. During the design, production tolerances shall be taken into account.

NOTE IEC 61140 considers that isolating device requirements are applicable to **overvoltage category** III and category IV and not applicable to category I and category II.

5.1.2 Frequency above 30 kHz

Requirements for **insulation coordination** for equipment within **low-voltage systems** with rated frequencies above 30 kHz are given in IEC 60664-4.

5.1.3 Reduced distances due to coating or potting

Requirements for **insulation coordination** for equipment within **low-voltage systems** using coating, potting or moulding for protection against **pollution**, allowing a reduction of **clearance** and **creepage distances** are given in IEC 60664-3.

5.1.4 Equipment which are not connected to public low-voltage systems.

Insulation coordination applies to equipment which is connected to the public low-voltage systems. However, it is recommended to use the same principles for all other low-voltage systems which have no connection to the public low-voltage system (IEC TR 60664-2-1).

5.2 Dimensioning of clearances

5.2.1 General

Clearance dimensions shall be selected, taking into account the following influencing technical characteristics:

- **impulse withstand voltage** (see 5.2.2.2 and 5.2.2.3);
- **temporary overvoltages**, peak voltage value (see 5.2.2.4);
- **steady-state peak voltage** or **recurring peak voltages** (see 5.2.2.4);
- electric field conditions (see 5.2.3.2 and 5.2.3.3);
- altitude (see 5.2.3.4);
- **pollution degree** in the **micro-environment** (see 5.2.3.5).

Larger **clearances** may be required due to mechanical influences such as vibration or applied forces.

See Annex G (Figure G.1) for guidance on how to determine **clearance** based on the requirement of 5.2.1.

5.2.2 Dimensioning criteria for clearances

5.2.2.1 General

Clearances shall be dimensioned to withstand the largest of the following:

- For circuits directly connected to the **mains supply**, the **rated impulse withstand voltage** determined on the basis of 5.2.2.2 and 5.2.2.3.
- For a **steady-state peak voltage**, a peak value of **temporary overvoltage** (see 5.2.1) or a **recurring peak voltage** determined on the basis of 5.2.2.4.

5.2.2.2 Selection of rated impulse withstand voltage for equipment

The **rated impulse withstand voltage** of the equipment shall be selected from Table F.1 corresponding to the **overvoltage category** specified and to the **rated voltage** of the equipment.

NOTE 1 Equipment with a particular **rated impulse withstand voltage** and having more than one **rated voltage** can be suitable for use in different **overvoltage categories**.

NOTE 2 For consideration of the **switching overvoltage** aspect, see 4.2.2.4.

5.2.2.3 Dimensioning to withstand transient overvoltages

Clearances shall be dimensioned to withstand the required **impulse withstand voltage**, according to Table F.2. For circuits directly connected to the **mains supply**, the required **impulse withstand voltage** is the **rated impulse withstand voltage** established on the basis of 5.2.2.2.

5.2.2.4 Dimensioning to withstand steady-state peak voltages, temporary overvoltages or recurring peak voltages

Clearances shall be dimensioned according to Table F.8 to withstand the **steady-state peak voltages**, the peak value of **temporary overvoltages** or the **recurring peak voltages**.

5.2.3 Other factors involving clearances

5.2.3.1 General

The shape and arrangement of the conductive parts (electrodes) influence the homogeneity of the field (see 4.9) and consequently the **clearance** needed to withstand a given voltage (see Table F.2, Table F.8 and Table A.1).

It is recommended to design for **inhomogeneous field** conditions according to 5.2.3.2 (case A). If designed for **homogeneous field** conditions (case B), 5.2.3.3 applies (see also 6.2.2.1).

5.2.3.2 Inhomogeneous field conditions (case A of Table F.2)

Clearances, not less than those specified in Table F.2 for **inhomogeneous field** conditions, can be used irrespective of the shape and arrangement of the conductive parts and without verification by a voltage withstand test.

Clearances, through openings in enclosures of insulating material, shall not be less than those specified for **inhomogeneous field** conditions since the design is not controlled, which may have an adverse effect on the homogeneity of the electric field.

5.2.3.3 Homogeneous field conditions (case B of Table F.2)

Values for **clearances** in Table F.2 for case B are only applicable for **homogeneous field** conditions. They can only be used where the shape and arrangement of the conductive parts are designed to achieve an electric field having an essentially constant voltage gradient.

Clearances smaller than those for **inhomogeneous field** conditions require verification by a voltage withstand test (see 6.2.2.1). For small values of **clearances**, the uniformity of the electric field can deteriorate in the presence of **pollution**, making it necessary to increase the **clearances** above the values of case B (see also Figure A.2 and Figure A.3).

5.2.3.4 Altitude correction

The **clearances** given in this document are valid up to 2 000 m.

For altitudes above 2 000 m, Table A.2 should be used to determine the altitude correction factors for **clearance** correction. See also 6.2.2.1.4 for the calculation procedure with respect to altitude correction for **clearances** correction. Linear interpolation is acceptable between two adjacent values of Table A.2.

NOTE The phenomenon is nonlinear, it is the responsibility of technical committees to interpolate the value between two altitudes.

5.2.3.5 Pollution degree in micro-environment

Clearances shall be selected from Table F.2 under a **pollution degree** in the **micro-environment** according to 4.5.2. The **pollution degree** does not have a strong influence on the dimensioning of **clearance**. However, it cannot be ignored for small **clearances** where pollution such as solid particles, dust and condensation could bridge the air gap.

The minimum **clearance** values in **pollution degree** 2 and **pollution degree** 3 are specified in Table F.2.

5.2.4 Dimensioning of clearances of functional insulation

For a **clearance** of **functional insulation**, the required withstand voltage is the maximum impulse voltage or **steady-state peak voltage** (with reference to Table F.8) or **recurring peak voltage** (with reference to Table F.8) expected to occur across it, under rated conditions of the equipment, and in particular the **rated voltage** and **rated impulse withstand voltage** (refer to Table F.2).

NOTE For distances equal to or less than 2 mm, IEC TR 63040 gives tests, research on influencing parameters to provide distances for insulation. The usage of this document is under the responsibility of the technical committees.

5.2.5 Dimensioning of clearances of basic insulation, supplementary insulation and reinforced insulation

Clearances of **basic insulation** and **supplementary insulation** shall each be dimensioned as specified in Table F.2 corresponding to:

- the **rated impulse withstand voltage**, according to 4.2.2 or 5.2.2.2; or

- the **withstand voltage** requirements with respect to **transient overvoltages** generated internally in the equipment according to 4.2.2.4;

and as specified in Table F.8 corresponding to:

- the peak value of **temporary overvoltage** according to 4.2.3;
- the **recurring peak voltage** according to 4.2.4;
- the **steady-state peak voltage** according to 4.2.6.

With respect to **impulse withstand voltages**, **clearances** of **reinforced insulation** shall be dimensioned as specified in Table F.2 corresponding to the **rated impulse withstand voltage** but one step higher in the preferred series of values in 4.2.2.1 than that specified for **basic insulation**. If the **impulse withstand voltage** required for **basic insulation** according to 4.2.2.1 is other than a value taken from the preferred series, **reinforced insulation** shall be dimensioned to withstand 160 % of the **impulse withstand voltage** required for **basic insulation**.

NOTE 1 In a coordinated system, **clearances** above the minimum required are unnecessary for a required **impulse withstand voltage**. However, it can be necessary, for reasons other than **insulation coordination**, to increase **clearances** (for example due to mechanical influences). In such instances, the test voltage has to remain based on the **rated impulse withstand voltage** of the equipment, otherwise undue stress of associated **solid insulation** can occur.

With respect to **steady-state peak voltages**, **recurring peak voltages** and **temporary overvoltages**, **clearances** of **reinforced insulation** shall be dimensioned as specified in Table F.8 to withstand 160 % of the **withstand voltage** required for **basic insulation**.

For equipment provided with **double insulation** where **basic insulation** and **supplementary insulation** cannot be tested separately, the insulation system is considered as **reinforced insulation**.

NOTE 2 When dimensioning **clearances** to accessible surfaces of insulating material, such surfaces are assumed to be covered by metal foil. Further details can be specified by technical committees.

5.3 Dimensioning of creepage distances

5.3.1 General

To determine the required **creepage distances**, the following influencing factors shall be taken into account:

- voltage (see 5.3.2.2);
- **pollution degree** (see 5.3.2.3);
- material group (see 5.3.2.4);
- orientation and location of the **creepage distance** (see 5.3.3.2);
- shape of insulating surface (see 5.3.3.3);
- duration of the voltage stress (see 5.3.3.4);
- more than one material or **pollution degree** (see 5.3.3.5);
- floating conductive part (see 5.3.3.6);
- use of ribs (see 5.3.3.7);
- components mounted on printed wiring material (see 5.3.3.8).

See Annex H (Figure H.1) for guidance on how to determine creepage based on the requirement of 5.3.

NOTE The values of Table F.5 are based upon existing empirical data and are suitable for the majority of applications. However, for **functional insulation**, values of **creepage distances** other than those of Table F.5 can be appropriate.

5.3.2 Dimensioning criteria of creepage distances

5.3.2.1 General

Creepage distances shall be dimensioned to withstand the long term RMS voltage stress across the considered insulation and taking into account the **pollution degree** and the material group over which the **creepage distance** is considered (see 5.3.2.2 to 5.3.2.4). Other factors considering mechanical shape, material parameters and time under voltage stress shall also be taken into account (see 5.3.3).

5.3.2.2 Determination of the voltage

The basis for the determination of a **creepage distance** is the long-term RMS value of the voltage existing across it. This voltage is the highest value of the **steady-state working voltage** (see 4.2.5), the **rated insulation voltage** or the **rated voltage**. For the determination of the **rated insulation voltages** Table F.3 and Table F.4 may be used.

Transient overvoltages are neglected since they will normally not influence the tracking phenomenon. However, **temporary overvoltages**, or any **overvoltage** necessary for the function of a device, should be considered if their duration and frequency of occurrence can influence tracking (see 5.3.3.4).

For equipment having several **rated voltages** so that it may be used at different nominal voltages of the **mains supply**, the voltage selected shall be appropriate for the highest **rated voltage** of the equipment.

The highest **steady-state working voltage** which can occur in the system, equipment or internal circuits shall be used. The voltage is determined while operating at **rated voltage** and under the worst case operating conditions within the rating of the equipment. Fault conditions are not taken into account.

5.3.2.3 Determination of the pollution degree

The influence of the **pollution degree**, considering the combination of **pollution** and humidity in the **micro-environment** (see 4.5.2), shall be taken into account when dimensioning **creepage distances** according to Table F.5.

NOTE In an equipment, different micro-environmental conditions can exist.

5.3.2.4 Determination of the material group

For the purposes of this document, materials are classified into four groups according to their comparative tracking index (CTI) values. These values are determined in accordance with IEC 60112 using solution A. The groups are as follows:

- material group I: $600 \leq \text{CTI}$;
- material group II: $400 \leq \text{CTI} < 600$;
- material group IIIa: $175 \leq \text{CTI} < 400$;
- material group IIIb: $100 \leq \text{CTI} < 175$.

5.3.2.5 Relationship of creepage distance to clearance

A **creepage distance** cannot be less than the associated **clearance** so that the shortest **creepage distance** possible is equal to the required **clearance**. However, there is no physical relationship, other than this dimensional limitation, between the minimum **clearance** in air and the minimum acceptable **creepage distance**.

Creepage distances less than the **clearances** required in case A of Table F.2 may only be used under conditions of **pollution degrees** 1 and 2 when the **creepage distance** can withstand the voltage required for the associated **clearance** (Table F.2). For testing, see 6.2.

5.3.3 Other factors involving creepage distances

5.3.3.1 General

Technical committees shall take into account other factors influencing **creepage distance**, for example the orientation and shape of the insulating surface. In case of specific influencing factors for the **creepage distances**, those factors shall be taken into account.

5.3.3.2 Orientation of creepage distances

If necessary, the manufacturer shall indicate the intended orientation of the equipment or component in order that **creepage distances** are not adversely affected by the accumulation of **pollution** for which they were not designed.

5.3.3.3 Shape of insulating surface

Shaping of insulating surfaces is effective for dimensioning of **creepage distances** under **pollution degree 3** only. Preferably, the surface of **solid insulation** should include transverse ribs and grooves that break the continuity of the leakage path caused by **pollution**. Likewise, ribs and grooves may be used to direct any water away from insulation which is electrically stressed. Joints or grooves joining conductive parts should be avoided since they can collect **pollution** or retain water.

5.3.3.4 Duration of the voltage stress

The duration of the voltage stress influences the number of occasions when drying out can result in surface scintillations with energy high enough to entail tracking. The number of such occasions is considered to be sufficiently large to cause tracking:

- in equipment intended for continuous use but not generating sufficient heat to keep the surface of the insulation dry;
- in equipment subjected to condensation for extended periods during which it is frequently switched ON and OFF;
- on the input side of a switching device, and between its line and load terminals, that is connected directly to the **mains supply**.

The **creepage distances** shown in Table F.5 have been determined for insulation intended to be under voltage stress during a long period of time.

Technical committees responsible for equipment in which insulation is under voltage stress for only a short time may consider allowing reduced **creepage distances**.

5.3.3.5 Creepage distances where more than one material is used or more than one pollution degree occurs

A **creepage distance** may be split into several portions of different materials and/or have different **pollution degrees** if one of the **creepage distances** is dimensioned to withstand the total voltage or if the total distance is dimensioned according to the material having the lowest comparative tracking index (CTI) and the highest **pollution degree**.

5.3.3.6 Creepage distances split by floating conductive parts

A **creepage distance** may be split into several parts, made with the same insulation material, including or separated by floating conductors as long as the sum of the distances across each individual part is equal or greater than the **creepage distance** required if the floating part did not exist. See Figure 14.

5.3.3.7 Reduction of required creepage distances by using ribs

Required **creepage distances**, equal to or larger than 8 mm under **pollution degree 3**, may be reduced by the use of a rib. The values of these reduced **creepage distances** are those values listed in Table F.5 in brackets (see footnote d) of Table F.5). The rib shall have a minimum width (W) of 20 % and a minimum height (H) of 25 % of the required **creepage distance** including the rib as measured in Figure 2.

Where more than one rib is used, the required **creepage distance** shall be divided into sections equal to the number of wanted ribs. For each section the requirements of the above paragraph shall apply. The minimum distance between the multiple ribs shall be equal to the minimum width of the rib applicable for each section, measured from the base of the rib.

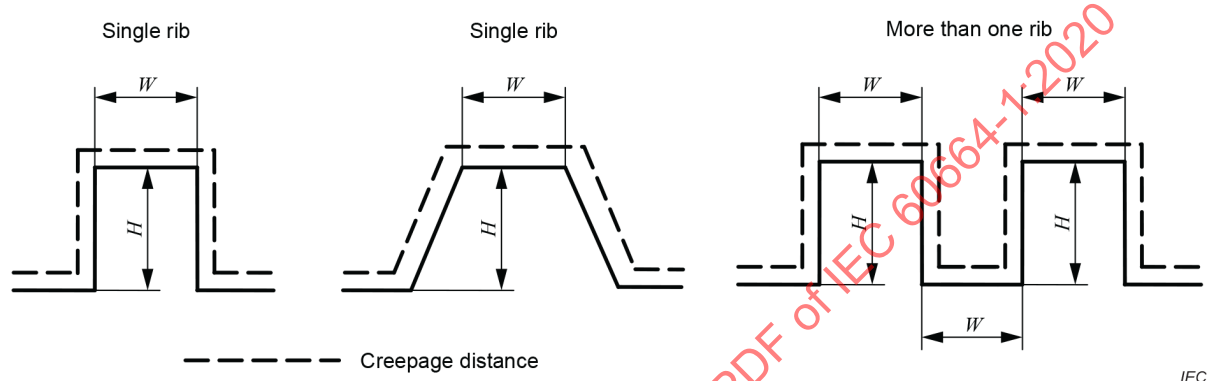


Figure 2 – Determination of the width (W) and height (H) of a rib

5.3.3.8 Creepage across component mounted on printed wiring material

For **creepage distances** on printed wiring material only used under **pollution degree 1** and **2**, a reduced dimensioning is allowed and may be selected from Table F.5. Attention is drawn on the possible reduction or other path of **creepage distances** due to the components.

The use of the reduced dimensioning values on printed wiring material under **pollution degree 2** (column 3 in Table F.5) for **creepage distances** may require an additional protection against **pollution**.

5.3.4 Dimensioning of creepage distances of functional insulation

Creepage distances of **functional insulation** may be dimensioned as specified in Table F.5 corresponding to the **steady-state working voltage** across the **creepage distance** considered.

NOTE 1 The values of Table F.5 can be used for **functional insulation** however different values of **creepage distances** can be appropriate.

NOTE 2 For distances equal to or less than 2 mm, IEC TR 63040 gives tests, research on influencing parameters to provide distances for insulation. The usage of this document is under the responsibility of the technical committees.

When the **steady-state working voltage** is used for dimensioning, it is allowed to interpolate values for intermediate voltages. When interpolating, linear interpolation shall be used and values shall be rounded to the same number of digits as the values picked up from the tables.

5.3.5 Dimensioning of creepage distances of basic insulation, supplementary insulation and reinforced insulation

Creepage distances of **basic insulation** and **supplementary insulation** shall be selected from Table F.5 for:

- the rationalized voltages given in columns 2 and 3 of Table F.3 and columns 2, 3 and 4 of Table F.4, corresponding to the nominal voltage of the **mains supply**;
- the **rated insulation voltage**;
- the voltage specified in 4.2.5.

When Table F.5 is used, it is allowed to interpolate values for intermediate voltages. When interpolating, linear interpolation shall be used and values shall be rounded to the same number of digits as the values picked up from the tables.

Creepage distances of double insulation are the sum of the values of the **basic insulation** and **supplementary insulation** which make up the **double insulation** system.

NOTE 1 For **supplementary insulation**, the **pollution degree**, insulating material, mechanical stresses and environmental conditions of use can be different from those for **basic insulation**.

Creepage distances for reinforced insulation shall be twice the **creepage distance** for **basic insulation**.

NOTE 2 When dimensioning **creepage distances** to accessible surfaces of insulating material, such surfaces are assumed to be covered by metal foil. Further details can be specified by technical committees.

Comparison of the minimum **clearances** and **creepage distances** specified in this document is described in Annex E (see Figure E.1).

5.4 Requirements for design of solid insulation

5.4.1 General

Solid insulation of **basic insulation**, **supplementary insulation** and **reinforced insulation** shall be capable of durably withstanding electrical and mechanical stresses as well as thermal and environmental influences which may occur during the intended life of the equipment.

NOTE Subclause 5.4 does not provide any requirements for **solid insulation** used as **functional insulation**.

Technical committees shall consider these stresses when specifying conditions for testing.

5.4.2 Voltage stress

Solid insulation shall withstand the voltage stress considering:

- **transient overvoltages** according to 5.4.3.1;
- **temporary withstand overvoltages** according to 5.4.3.2;
- **recurring peak voltages** according to 5.4.3.3;
- **steady-state working voltages** according to 5.4.3.4.

5.4.3 Withstand of voltage stresses

5.4.3.1 Transient overvoltages

Basic insulation and **supplementary insulation** shall have:

- an **impulse withstand voltage** requirement corresponding to the nominal voltage of the **mains supply** (see 4.2.2.2), and the relevant **overvoltage category** according to Table F.1; or
- an **impulse withstand voltage** of an internal circuit of an equipment which has been specified according to the **transient overvoltages** to be expected in the circuit (see 4.2.2.4).

Reinforced insulation shall have an **impulse withstand voltage** corresponding to the **rated impulse withstand voltage** but one step higher in the preferred series of values in 4.2.2.1

than that specified for **basic insulation**. If the **impulse withstand voltage** required for **basic insulation** according to 4.2.2.1 is other than a value taken from the preferred series, **reinforced insulation** shall withstand 160 % of the value required for **basic insulation**.

For verification by testing, see 6.4.4.

5.4.3.2 Temporary withstand overvoltages

Basic insulation and **supplementary insulation** of **solid insulation** shall be designed to withstand the following **temporary withstand overvoltages**:

- short-term **temporary overvoltages** of $U_0 + 1\,200\text{ V}$ with durations up to 5 s;
- long-term **temporary overvoltages** of $U_0 + 250\text{ V}$ with durations longer than 5 s;

where U_0 is the nominal line-to-neutral voltage of the neutral-earthed supply system.

The performance validated can be declared by the manufacturer as a rated **temporary withstand overvoltage** value.

Reinforced insulation shall withstand twice the **temporary withstand overvoltages** specified for **basic insulation** except when the **partial discharge** test is used. For the **partial discharge** test, the factors given in 6.4.6.1 apply.

For verification by testing, see 6.4.5.

NOTE 1 The values are according to IEC 60364-4-44:2007, Clause 442.

NOTE 2 The values are RMS values.

5.4.3.3 Recurring peak voltages

The maximum **recurring peak voltages** occurring on the **mains supply** can be assumed provisionally to be $F_4 \times \sqrt{2} U_0$, i.e. 1,1 times the peak value at U_0 . Where **recurring peak voltages** are present, the **partial discharge extinction voltage** shall be at least:

- $F_1 \times F_4 \times \sqrt{2} U_0$, i.e. $1,32 \sqrt{2} U_0$ for each **basic insulation** and **supplementary insulation**, and
- $F_1 \times F_3 \times F_4 \times \sqrt{2} U_0$, i.e. $1,65 \sqrt{2} U_0$ for **reinforced insulation**.

NOTE $\sqrt{2} U_0$ is in neutral-earthed systems the peak value of the line-to neutral fundamental (undistorted) voltage at the nominal voltage of the **mains supply**. The application of the multiplying factors used in this subclause is described in Annex D.

For an explanation of factors F , see 6.4.6.1.

In internal circuits, the highest **recurring peak voltages** shall be evaluated in place of $F_4 \times \sqrt{2} U_0$ and **solid insulation** shall meet the corresponding requirements.

For verification by testing, see 6.4.6.

5.4.3.4 Steady-state voltages

The **steady-state working voltage** and the **steady-state peak voltage** are a long-term voltage stress applied on **solid insulation**.

In those instances where **steady-state working voltages** are non-sinusoidal with **recurring peak voltages** or **steady state peak voltages**, see Figure 1, special consideration shall be given to possible occurrence of **partial discharges**. Similarly, where **insulation** layers may

exist and where voids in moulded insulation may exist, consideration shall be given to possible occurrence of **partial discharges** with resultant degradation of **solid insulation**.

For verification by testing, see 6.4.6.

5.4.4 Withstand on environmental stresses

5.4.4.1 Withstand of short-term heating stresses

Solid insulation shall not be impaired by short-term heating stresses which may occur in normal and, where appropriate, abnormal use. Technical committees shall specify severity levels.

NOTE Standard severity levels are specified in IEC 60068 (all parts).

5.4.4.2 Withstand of mechanical stresses

Solid insulation shall not be impaired by mechanical vibration or shock which can be expected in use. Technical committees shall specify severity levels.

NOTE Standard severity levels are specified by in IEC 60068 (all parts).

5.4.4.3 Withstand of long-term heating stresses

Thermal degradation of **solid insulation** shall not impair **insulation coordination** during the intended life of the equipment. Technical committees shall specify whether a test is necessary.

NOTE See also IEC 60085 and IEC 60216 (all parts).

5.4.4.4 Withstand of the effects of humidity

Insulation coordination shall be maintained under the humidity conditions as specified for the equipment (see also 6.4.3).

5.4.4.5 Other factors impacting solid insulation

Equipment may be subjected to other stresses, for example as indicated in 4.6.2.4 which may adversely affect **solid insulation**. Technical committees shall state such stresses and specify test methods.

6 Tests and measurements

6.1 General

The following test procedures apply to **type testing**, so that a possible deterioration of the test specimen may be tolerated. It is assumed that further use of the test specimen is not intended.

The verification procedures are specified for:

- the verification of **clearances** (see 6.2);
- the verification of **creepage distances** (see 6.3);
- the verification of **solid insulation** (see 6.4);
- dielectric tests on complete equipment (see 6.5);
- other tests (see 6.6).

Technical committees shall consider whether **sampling tests** or **routine tests** shall be carried out in addition to **type tests** and to specify the necessary tests to be performed as sample and **routine tests** in order to ensure the quality of the insulation system during production. The tests and conditioning, as appropriate, shall be specified with test parameters adequate to detect faults without causing damage to the insulation (see 6.6.2).

6.2 Verification of clearances

6.2.1 General

For the verification of **clearances** two cases shall be considered:

- for values according to case A of Table F.2, verification according to 6.8 is required and no further verification by voltage test is needed;
- the values smaller than the values of case A and larger than the values of case B of Table F.2, shall be verified by the impulse voltage test according to 6.2.2.1.

The stresses for **clearances** caused by **transient overvoltages** are assessed by the impulse voltage test, which may be substituted by an AC or a DC voltage test. See 6.2.2.1.3. If the withstand against **steady-state working voltages**, **recurring peak voltages** or peak value of **temporary overvoltages** according to 5.2.2.4 is decisive for the dimensioning of **clearances** and if those **clearances** are smaller than the case A values of Table F.8, an AC test voltage according to 6.2.2.1.3.2 is required.

When verifying **clearances** within equipment by an impulse voltage test, it is necessary to ensure that the specified impulse voltage appears at the **clearance** under test.

NOTE 1 The electrical testing of **clearances** will also stress the associated **solid insulation**.

NOTE 2 For some cases, these tests are also applied to **creepage distances**, see 5.3.2.5.

NOTE 3 For testing complete equipment, see 6.5.

6.2.2 Test voltages

6.2.2.1 Impulse voltage dielectric test

6.2.2.1.1 General

The purpose of this test is to verify that **clearances** will withstand specified **transient overvoltages**. The impulse withstand test is carried out with a voltage having a 1,2/50 μ s waveform with the values specified in Table F.6. For the waveform, IEC 61180:2016, 7.1 applies. It is intended to simulate **overvoltages** of atmospheric origin and covers **overvoltages** due to switching in the **mains supply**.

Due to the scatter of the test results of any impulse voltage test, the test shall be conducted for a minimum of three impulses of each polarity with an interval of at least 1 s between pulses.

The output impedance of the impulse generator shall not be higher than 500 Ω . When carrying out tests on equipment incorporating components across the test circuit, a much lower virtual impulse generator impedance may be specified (see IEC 61000-4-5:2014). In such cases, possible resonance effects, which can increase the peak value of the test voltage, shall be taken into account when specifying test voltage values.

Technical committees may specify alternative dielectric tests according to 6.2.2.1.3.

NOTE Values given in Table F.6 are derived from the calculation in 6.2.2.1.4. For accuracy of information, they are given with a high level of precision. For practical application, technical committees can choose to round the values.

6.2.2.1.2 Selection of impulse test voltage

If an electrical test for **insulation coordination** of equipment with respect to **clearances** is required, for **clearances** smaller than case A as specified in Table F.2, the equipment shall be tested with the impulse test voltage corresponding to the **rated impulse withstand voltage** specified in accordance with 5.2.2.3. The impulse test voltages of Table F.6 apply. See 6.2.2.1.4 for impulse testing at altitudes different than 2 000 m.

For the test conditions, technical committees shall specify temperature and humidity values.

6.2.2.1.3 Alternatives to impulse voltage dielectric tests

6.2.2.1.3.1 General

Technical committees may specify an AC or DC voltage test for particular equipment as an alternative method.

While tests with AC and DC voltages of the same peak value as the impulse test voltage specified in Table F.6 verify the withstand capability of **clearances**, they more highly stress **solid insulation** because the voltage is applied for a longer duration. They can overload and damage certain **solid insulations**. Technical committees should therefore consider this when specifying tests with AC or DC voltages as an alternative to the impulse voltage test given in 6.4.5.

While it is possible to substitute an impulse voltage test for **clearances** by an AC or DC voltage test, it is in principle not possible to substitute an AC voltage test for **solid insulation** by an impulse voltage test. The main reasons for this are the different propagation of the impulse voltages compared to power frequency voltages, especially in complex circuits, and the dependency of the withstand characteristics of **solid insulation** on the shape and the duration of the voltage stress.

6.2.2.1.3.2 Dielectric test with AC voltage

The waveshape of the sinusoidal power frequency test voltage shall be substantially sinusoidal. This requirement is fulfilled if the ratio between the peak value and the RMS value is $\sqrt{2}$ with a tolerance of $\pm 3\%$. The peak value shall be equal to the impulse test voltage of Table F.6 and applied for three cycles of the AC test voltage.

6.2.2.1.3.3 Dielectric test with DC voltage

The DC test voltage shall be substantially free of ripple. This requirement is fulfilled if the ratio between the peak values of the voltage and the average value is 1,0 with a tolerance of $\pm 3\%$. The average value of the DC test voltage shall be equal to the impulse test voltage of Table F.6 and applied three times for 10 ms in each polarity.

6.2.2.1.4 Altitude correction for testing at altitudes different than 2 000 m

According to 5.2.3.4, the **clearance** is valid for equipment used up to 2 000 m above sea level. At 2 000 m, the normal barometric pressure is 80 kPa, while at sea level the value is 101,3 kPa. See also 4.7.2.

Due to the air barometric pressure dependency, **clearances** tested according to 6.2.2.1, are tested using higher impulse test voltages at locations lower than 2 000 m. Table F.6 gives the impulse test voltage value for verifying **clearances** at altitudes below 2 000 m.

For the purpose of testing, the factors of temperature, humidity and climatic variations of air pressure are not taken into account provided that normal laboratory conditions exist.

Normal laboratory conditions are specified in IEC 60068-1:

- temperature: 15 °C to 35 °C;
- air pressure: 86 kPa to 106 kPa at sea level;
- relative humidity: 25 % to 75 %.

The basis for the calculation of the sea level values and data for determining test values for other test locations is as follows.

The altitude correction factors given in Table A.2 are considered in relation to the curve of Figure A.1. The relationship is as follows:

$$k_u = \left(\frac{1}{k_d} \right)^m$$

where

- k_u is the altitude correction for **withstand voltage** correction;
- k_d is the altitude correction for **clearance** correction (see Table F.10);
- m is the gradient of the relevant straight line in curve 1 in Figure A.1 (logarithmic scales on the two co-ordinate axes) and has the value:
- | | | |
|----------------|----------------|----------------------------|
| $m = 0,916\ 3$ | for $0,001$ | $< d < 0,01$ mm; |
| $m = 0,330\ 5$ | for $0,01$ | $\leq d \leq 0,062\ 5$ mm; |
| $m = 0,636\ 1$ | for $0,062\ 5$ | $< d \leq 1$ mm; |
| $m = 0,853\ 9$ | for 1 | $< d \leq 10$ mm; |
| $m = 0,924\ 3$ | for 10 | $< d \leq 100$ mm. |

and d is the **clearance** under consideration in millimetres.

Applying altitude correction factor for **clearance** correction results in curve 1 of Figure A.1, the voltages will be changed with five different steps at only one shifting step for distance. The mathematical formula for this operation is shown above. Table F.6 includes this calculation as described.

In other words, each value of k_d (altitude correction factor for **clearance** correction) will produce five different values of k_u (altitude correction factor for **withstand voltage** correction) based on the five different gradients (m) of **withstand voltage** as a function of **clearance** (m having a different value for each of the five ranges of **clearance**, as laid out above).

6.3 Verification of creepage distances

Creepage distances shall be verified following 6.8.

For some cases, tests shall also be applied to **creepage distances**, see 5.3.2.5.

6.4 Verification of solid insulation

6.4.1 General

The ability of **solid insulation** to withstand the voltage stresses has to be verified by a voltage test in any case. The stresses caused by **transient overvoltages** are assessed by the impulse voltage test in 6.4.4. The stresses caused by an AC **steady-state working voltage** stress can only be assessed by an AC voltage test (6.4.5). The DC voltage test in 6.4.7 with a test voltage equal to the peak value of the AC voltage is not fully equivalent to the AC voltage test in 6.4.5 due to the different withstand characteristics of **solid insulation** for

these types of voltages. However, in case of a pure DC voltage stress, the DC voltage test in 6.4.7 is appropriate.

6.4.2 Selection of tests

Solid insulation that may be subjected to mechanical stresses during operation, storage, transportation or installation shall be tested with respect to vibration and mechanical shock before the dielectric testing. Technical committees may specify test methods.

The tests for **insulation coordination** are **type tests**. Technical committees shall specify which **type tests** are required for the respective stresses occurring in the equipment.

NOTE 1 Standard severity levels are specified in IEC 60068 (all parts).

For the **double insulation** test on sample:

- when the two insulations can be tested separately, two test measurements shall be performed to verify the **basic insulation** and then the **supplementary insulation**;
- when the two insulations cannot be tested separately, one test measurement shall be performed to verify the two insulations in series with the test voltage of the **reinforced insulation**.

NOTE 2 In case of a high difference in value between the two capacitances across each insulation, the constraint of this test can be more than the voltage of a **basic insulation** on one of the two insulations. It can oblige to either oversize one insulation, or to equilibrate the capacitances across each insulation.

They have the following objectives:

- a) The **impulse withstand voltage** test is to verify the capability of the **solid insulation** to withstand the **rated impulse withstand voltage** (see 5.4.3.1);
- b) The AC voltage test is to verify the capability of the **solid insulation** to withstand:
 - the short-term **temporary overvoltage** (see 5.4.3.2);
 - the **recurring peak voltage** (see 5.4.3.3);
 - the **steady-state working voltage** (see 5.4.3.4);
 - the **steady-state peak voltage** (see 5.4.3.4).

If the peak value of the AC test voltage is equal to or higher than the **rated impulse withstand voltage**, the impulse voltage test is covered by the AC voltage test.

Solid insulation has a different withstand characteristic compared to **clearances**, if the time of stress is being increased the withstand capability will be decreased significantly. Therefore, the AC voltage test, which is specified for the verification of the withstand capability of **solid insulation**, is not allowed to be replaced by an impulse voltage test.

- c) The **partial discharge test** is to verify that no **partial discharges** are maintained in the **solid insulation** at:
 - the peak value of the long-term **temporary overvoltage** (see 5.4.3.2);
 - the **recurring peak voltage** (see 5.4.3.3);
 - the **steady-state working voltage** (see 5.4.3.4);
 - the **steady-state peak voltage** (see 5.4.3.4).
- d) The high-frequency voltage tests for frequencies above 30 kHz is to verify the absence of failure due to dielectric heating and **partial discharge** according to 6.4.8.

NOTE 3 Information about the withstand characteristics of insulation at high frequency above 30 kHz and methods of testing is given in IEC 60664-4.

Partial discharge tests for **solid insulation** shall be specified if the peak value of the voltages listed under c) exceeds 700 V and if the average field strength is higher than 1 kV/mm. The average field strength is the peak voltage divided by the distance between two parts of different potential.

When performing tests on complete equipment, the procedure of 6.5 applies.

Technical committees shall state whether the impulse test of **solid insulation** is covered by the AC voltage test of **solid insulation** or if a separate impulse voltage test of **solid insulation** is required.

6.4.3 Conditioning

If not otherwise specified, the test shall be performed with a new test specimen. Conditioning of the specimen by temperature and humidity treatment is intended to:

- represent the most onerous normal service conditions;
- expose possible weaknesses which are not present in the new condition.

Technical committees shall specify the appropriate conditioning method from the following recommended methods:

- a) dry heat (IEC 60068-2-2), in order to achieve a stable condition which may not exist immediately after manufacture;
- b) change of temperature with specified rate of change (test Nb of IEC 60068-2-14:2009), in order to induce the creation of voids which could develop in storage, transportation and normal use;
- c) thermal shock (rapid change of temperature with specified time of transfer, test Na of IEC 60068-2-14:2009), in order to induce delamination within the insulation system which may develop in storage, transportation and normal use;
- d) damp heat, steady state (IEC 60068-2-78), in order to evaluate the effect of water absorption on the electric properties of the **solid insulation**.

For **impulse withstand voltage**, AC power frequency voltage and high frequency voltage tests, the most significant conditioning methods are those in a) and d). For **partial discharge** testing, the conditioning methods b) and c) are most relevant.

If conditioning of **solid insulation** is required, it shall be performed prior to **type testing**. The values of temperature, humidity and time shall be selected from Table F.7. If needed, technical committees may specify higher severity values.

It may be appropriate to subject components, for example electrical parts, sub-assemblies, insulating parts and materials, to conditioning before electrical testing. When components have already been **type tested** according to 6.4.3, such conditioning is not required.

6.4.4 Impulse voltage test

6.4.4.1 Test method

The methods for impulse voltage testing of 6.2.2.1 apply also to **solid insulation**, except that the altitude correction factors as listed in Table F.6 are not applicable. The test shall be conducted for five impulses of each polarity with an interval of at least 1 s between impulses. The waveshape of each impulse shall be recorded (see 6.4.4.2).

6.4.4.2 Acceptance criteria

No **puncture** or partial breakdown of **solid insulation** shall occur during the test, but **partial discharges** are allowed. Partial breakdown will be indicated by a step in the resulting waveshape which will occur earlier in successive impulses.

NOTE **Partial discharges** in voids can lead to partial notches of extremely short durations which can be repeated in the course of an impulse.

6.4.5 AC power frequency voltage test

6.4.5.1 Test method

The waveshape of the sinusoidal power frequency test voltage shall be substantially sinusoidal. This requirement is fulfilled if the ratio between the peak value and the RMS value is $\sqrt{2}$ with a tolerance of $\pm 3\%$. The peak value shall be equal to the highest of the voltages mentioned in 6.4.2 b).

For **basic insulation** and **supplementary insulation**, the test voltage has the same value as the voltages mentioned in 6.4.2 b). For **reinforced insulation**, the test voltage is twice the value used for **basic insulation**.

The AC test voltage shall be raised uniformly from 0 V to the value specified in 5.4.3.2 within not more than 5 s and held at that value for at least 60 s.

In those cases where the short-term **temporary overvoltage** leads to the most stringent requirements with respect to the amplitude of the test voltage, a reduction of the duration of the test to a minimum value of 5 s can be considered by technical committees.

NOTE 1 For particular types of insulation, longer periods of testing can be required to detect weakness within the **solid insulation**.

NOTE 2 In case of testing with respect to high steady-state stresses, including high **recurring peak voltage**, technical committees can consider introducing a safety margin on the test voltage.

In some cases, the AC test voltage needs to be substituted by a DC test voltage of a value equal to the peak value of the AC voltage, however this test will be less stringent than the AC voltage test. Technical committees shall consider this situation (see 6.4.7).

The test equipment shall comply with IEC 61180:2016.

6.4.5.2 Acceptance criteria

No breakdown of **solid insulation** shall occur.

6.4.6 Partial discharge test

6.4.6.1 General

The test equipment shall comply with IEC 61180 and the voltage waveshape as defined in 6.1.1.1 of IEC 61180:2016. The **partial discharge test voltage** shall be equal to the highest of the voltages mentioned in 6.4.2 c) taking into account the multiplying factors F_1 , F_3 and F_4 as far as applicable. The resulting value is shown in Figure 3 as $U_{\text{test voltage}}$.

Partial discharge test methods are described in Annex C. When performing the test, the following multiplying factors F_1 to F_4 apply. The use of these factors are given as an example for the **recurring peak voltage** U_{rp} , see also Annex D. The factors shall be applied to the **steady-state peak voltage** and to the peak value of long-term **temporary overvoltage** in the same way.

In the **partial discharge** test, the peak value is relevant, converting the RMS value of the **temporary overvoltage** to peak value should be done.

F_1 Basic safety factor for PD testing and dimensioning **basic insulation** and **supplementary insulation**.

The **partial discharge extinction voltage** may be influenced by environmental conditions, such as temperature. These influences are taken into account by a basic safety factor F_1 of 1,2. The **partial discharge extinction voltage** for **basic insulation** or **supplementary insulation** is therefore at least $1,2 U_{\text{rp}}$.

F_2 PD hysteresis factor.

Hysteresis occurs between the **partial discharge inception voltage** and the **partial discharge extinction voltage**. Practical experience shows that F_2 is not greater than 1,25. For **basic insulation** and **supplementary insulation**, the initial value of the test voltage is therefore $F_1 \times F_2 \times U_{rp}$, i.e. $1,2 \times 1,25 U_{rp} = 1,5 U_{rp}$.

NOTE This takes into account that PD can be initiated by **transient overvoltages** exceeding **partial discharge inception voltage** and can be maintained, for example, by values of the **recurring peak voltage** exceeding **partial discharge extinction voltage**. This situation can require the combination of impulse and AC voltages for the test, which is impractical. Therefore, an AC test is performed with an initially increased voltage.

F_3 Additional safety factor for PD testing and dimensioning **reinforced insulation**.

For **reinforced insulation** a more stringent risk assessment is required. Therefore, an additional safety factor $F_3 = 1,25$ is required. The initial value of the test voltage is $F_1 \times F_2 \times F_3 \times U_{rp}$, i.e. $1,2 \times 1,25 \times 1,25 U_{rp} = 1,875 U_{rp}$.

F_4 Factor covering the deviation from the nominal voltage U_0 of the **mains supply**.

For circuits connected to the **mains supply**, this factor takes into account the maximum deviation of the **mains supply** voltage from its nominal value. Therefore, the peak voltage at nominal voltage U_0 shall be multiplied by $F_4 = 1,1$.

6.4.6.2 Verification

The test is to verify that no **partial discharges** are maintained at the highest of the values in 6.4.2 c):

NOTE For cases where, additionally, the actual values of **partial discharge inception voltage** and **partial discharge extinction voltage** are of interest, the measuring procedure is described in Clause D.1.

When testing, the PD test is generally applied to components, small assemblies and small equipment.

The minimum required discharge extinction voltage shall be higher, by factor F_1 , than the highest of the voltages listed in 6.4.2 c).

According to the kind of test specimen, technical committees shall specify:

- the test circuit (see Clause C.1);
- the measuring equipment (see Clauses C.3 and D.2);
- the measuring frequency (see C.3.1 and D.3.4);
- the test procedure (see 6.4.6.3).

6.4.6.3 Test procedure

The value of the test voltages and the application of the different factors are explained in 6.4.6.1. The voltage shall be raised uniformly from 0 V up to the initial test voltage. It is then kept constant for a specified time t_1 not exceeding 5 s. If no **partial discharges** have occurred, the test voltage is reduced to zero after t_1 . If a **partial discharge** has occurred, the voltage is decreased to the test voltage U_t , which is kept constant for a specified time t_2 until the **partial discharge** magnitude is measured, see Figure 3.

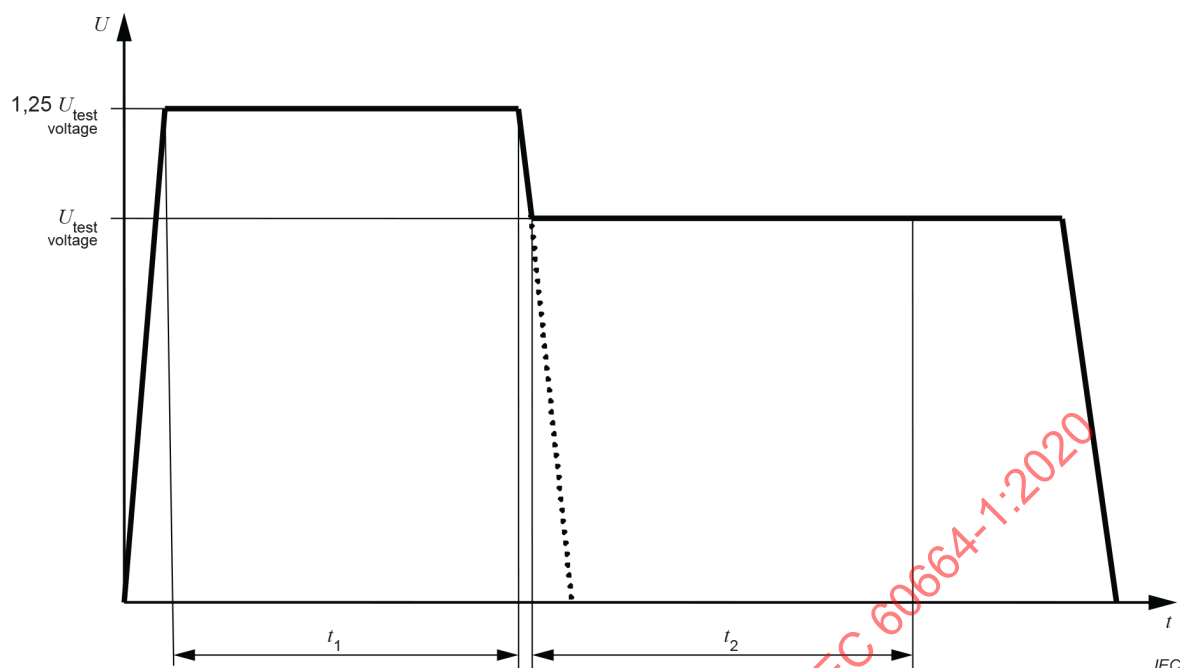


Figure 3 – Test voltages

6.4.6.4 Acceptance criteria

6.4.6.4.1 Specified discharge magnitude

As the objective is to have no continuous **partial discharges** under normal service conditions, the lowest practicable value shall be specified (see Annex D).

NOTE 1 Except for discharges caused by corona discharges in air (e.g. in non-moulded transformers), values in excess of 10 pC are not suitable.

NOTE 2 Values as small as 2 pC are possible with currently available apparatus.

The noise level shall not be subtracted from the reading of the **partial discharge** meter.

6.4.6.4.2 Test result

The **solid insulation** complies if:

- no insulation breakdown has occurred; and
- during the application of the test voltage, **partial discharges** have not occurred, or after t_2 the magnitude of the discharge is not higher than specified.

6.4.7 DC voltage test

The DC voltage test with a test voltage equal to the peak value of the AC voltage is not fully equivalent to the AC voltage test due to the different withstand characteristics of **solid insulation** for these types of voltages (see 6.4.5.1). However, in case of a pure DC voltage stress, the DC voltage test is appropriate.

The DC test voltage shall be substantially free of ripple. This requirement is fulfilled if the ratio between the peak values of the voltage and the average value is 1,0 with a tolerance of $\pm 3\%$. The average value of the DC test voltage shall be equal to the peak value of the AC test voltage mentioned in 6.4.2 b).

For **basic insulation** and **supplementary insulation**, the test voltage has the same value as the voltages mentioned in 6.4.2 b). For **reinforced insulation**, the test voltage is twice the value used for **basic insulation**.

The DC test voltage shall be raised uniformly from 0 V to the value specified in 5.4.3.2 within not more than 5 s and held at that value for at least 60 s.

NOTE 1 In certain cases, the charging current due to capacitances can be too high and a longer rise time can be necessary.

Test equipment is specified in IEC 61180. It is recommended that the short-circuit output current of the generator is not less than 200 mA.

NOTE 2 For test voltages exceeding 3 kV, it is sufficient that the rated power of the test equipment is equal or greater than 600 VA.

The tripping current of the generator shall be adjusted to a tripping current of 100 mA or for test voltages above 6 kV to the highest possible value.

NOTE 3 For **routine tests**, the tripping current can be adjusted to lower levels but not less than 10 mA.

6.4.8 High-frequency voltage test

For high-frequency voltages above 30 kHz according to 6.4.2 d), additional or alternative AC voltage tests according to 6.4.5 or **partial discharge** tests according to 6.4.6 may be necessary.

NOTE Information about the withstand characteristics of insulation at high frequency above 30 kHz and methods of testing is given in IEC 60664-4.

6.5 Performing dielectric tests on complete equipment

6.5.1 General

When performing the impulse voltage test on complete equipment, the attenuation or amplification of the test voltage shall be taken into account. It needs to be ensured that the required value of the test voltage is applied across the terminals of the equipment under test.

Surge protective devices (SPDs) shall be disconnected before dielectric testing.

NOTE If capacitors with high capacitance are parallel to the parts between which the test voltage needs to be applied, it can be difficult, or even impossible, to perform the AC voltage test because the charging current could exceed the capacity of the high voltage tester (200 mA). In the latter case, those parallel capacitors can be disconnected before testing. If this is also impossible, DC testing can be taken into consideration.

6.5.2 Parts to be tested

The test voltage shall be applied between parts of the equipment which are electrically separate from each other.

Examples of such parts include:

- live parts;
- separate circuits;
- earthed circuits;
- accessible surfaces.

Non-conductive parts of accessible surfaces shall be covered with metal foil. If a complete covering of large enclosures with metal foil is not practicable, a partial covering is sufficient if applied to those parts which provide protection against electric shock.

6.5.3 Preparation of equipment circuits

For the test, each circuit of the equipment shall be prepared as follows:

- external terminals of the circuit, if any, shall be connected together;
- switchgear and controlgear within equipment shall be in the closed position or bypassed;
- the terminals of voltage blocking components (such as rectifier diodes) shall be connected together;
- components such as RFI filters shall be included in the impulse test but it may be necessary to disconnect them during AC tests.

For the test, to include some specific components as follows:

- voltage sensitive components within any circuit of the equipment, which do not bridge **basic insulation, supplementary insulation, or reinforced insulation**, may be bypassed by shorting the terminals;
- pre-tested plug-in printed circuit boards and pre-tested modules with multipoint connectors may be withdrawn, disconnected or replaced by dummy samples to ensure that the test voltage is propagated inside the equipment to the extent necessary for the insulation tests.

6.5.4 Test voltage values

Circuits connected to the **mains supply** are tested according to 6.2 and 6.4.

The test voltage between two circuits of the equipment shall have the value corresponding to the highest voltage that actually can occur between these circuits.

6.5.5 Test criteria

There shall be no disruptive discharge (**sparkover, flashover or puncture**) during the test. **Partial discharges** in **clearances** which do not result in breakdown are disregarded, unless otherwise specified by the technical committees.

NOTE An oscilloscope can be used to observe the impulse voltage in order to detect disruptive discharge.

6.6 Other tests

6.6.1 Test for purposes other than insulation coordination

Technical committees specifying electrical tests for purposes other than verification of **insulation coordination** shall not specify test voltages higher than those required for **insulation coordination**.

6.6.2 Sampling and routine tests

Sampling tests and **routine tests** are intended to ensure production quality. It is the responsibility of the relevant technical committee, and in particular of the manufacturer, to specify these tests. They shall be carried out with the waveforms and voltage levels such that faults are detected without causing damage to the equipment (**solid insulation** or components).

Technical committees specifying **sampling tests** and **routine tests** shall in no case specify test voltages higher than those required for **type testing**.

6.6.3 Measurement accuracy of test parameters

All important test parameters shall be measured with high accuracy in order to provide well defined and comparable test results. For the purpose of harmonization, the accuracy of measurement of the measuring devices used for the following test parameters is given in this document as follows:

- a) test voltage (AC/DC): $\pm 3 \%$;
test voltage (impulse): $\pm 5 \%$;
- b) current: $\pm 1,5 \%$;
- c) frequency: $\pm 0,2 \%$;
- d) temperature:
 - below $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ $\pm 2\text{ K}$;
 - $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ up to $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ $\pm 3 \%$;
- e) relative humidity: $\pm 3 \%$ RH;

NOTE The given accuracy refers to that of the humidity measuring device. It does not include the humidity uniformity within the chamber and/or the influence of the test sample on the humidity uniformity. The humidity in the chamber is measured only at one place before testing the sample.

- f) **partial discharge** magnitude: $\pm 10 \%$ or $\pm 1\text{ pC}$ (the greater values applies);
- g) time (impulse voltage) $\pm 20 \%$;
time (test duration) $\pm 1 \%$.

6.7 Measurement of the attenuation of the transient overvoltages

The proposed measurement (see 4.2.2.5) of the attenuation of transients is only possible by use of a suitable impulse generator with very low output impedance.

Such measurement may be performed by the use of the “1,2/50 μs combination wave generator” according to IEC 61000-4-5 with an effective output impedance of $2\text{ }\Omega$.

NOTE The output impedance of $2\text{ }\Omega$ is the worst case, see also IEC 61000-4-5:2014, Clause C.1 to the different source impedance to each coupling mode.

6.8 Measurement of clearances and creepage distances

Clearances and **creepage distances** are verified as a minimum by:

- physical measurement or,
- inspection of design board, drawings or,
- (CAD 2D or 3D) computer-aided design.

The methods of measuring **clearances** and **creepage distances** are indicated in Figure 4 to Figure 14. These cases do not differentiate between gaps and grooves or between types of insulation. Also, where the example is shown to form an angle, these cases may apply to any angle.

The following assumptions are made:

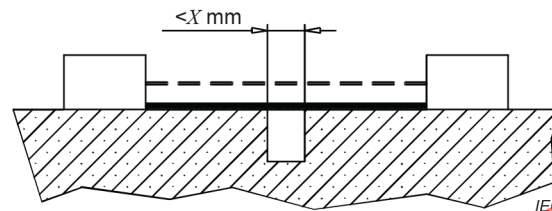
- Where the distance across a groove is less than the specified width X (see Table 1), the **creepage distance** is measured directly across the groove and do not take into account the contour of the groove (see Figure 4).
- where the distance across a groove is equal to or larger than the specified width X (see Table 1), the **creepage distance** is measured along the contours of the groove (see Figure 5);
- any recess is assumed to be bridged with an insulating link having a length equal to the specified width X and being placed in the most unfavourable position (see Figure 6);
- **clearances** and **creepage distances** measured between parts which can assume different positions in relation to each other, are measured when these parts are in their most unfavourable position.

The dimension X , specified in the following examples, has a minimum value depending on the **pollution degree** as given in Table 1.

Table 1 – Dimensioning of grooves

Pollution degree	Dimension X minimum value
1	0,25 mm
2	1,0 mm
3	1,5 mm

If the associated **clearance** requirement is less than 3 mm, the minimum dimension X may be reduced to one-third of the associated **clearance**.



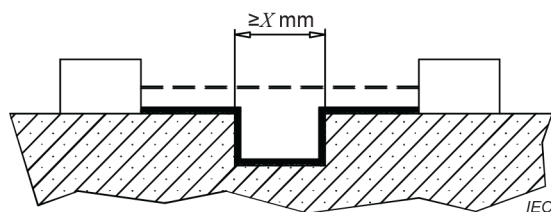
Condition: Path under consideration includes a parallel- or converging-sided groove of any depth with a width less than X mm.

Rule: **Clearance** and **creepage distance** are measured directly across the groove as shown.

----- **Clearance**

————— **Creepage distance**

Figure 4 – Across the groove



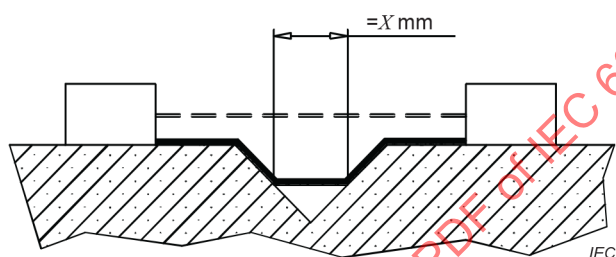
Condition: Path under consideration includes a parallel-sided groove of any depth and equal to or more than X mm.

Rule: **Clearance** is the "line of sight" distance. **Creepage** path follows the contour of the groove.

----- Clearance

———— Creepage distance

Figure 5 – Contour of the groove



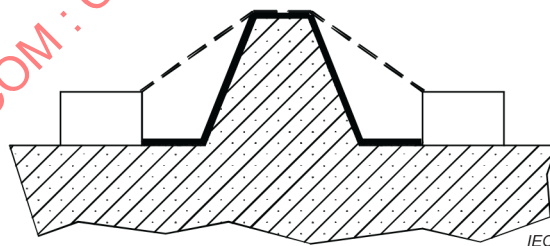
Condition: Path under consideration includes a V-shaped groove with a width greater than X mm.

Rule: **Clearance** is the "line of sight" distance. **Creepage** path follows the contour of the groove but covers the bottom of the groove by an X mm insulating link.

----- Clearance

———— Creepage distance

Figure 6 – Contour of the groove with angle



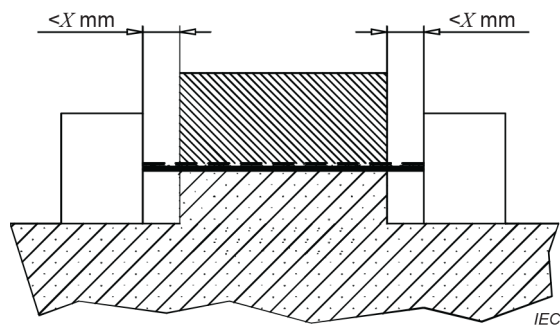
Condition: Path under consideration includes a rib.

Rule: **Clearance** is the shortest direct air path over the top of the rib. **Creepage** path follows the contour of the rib.

----- Clearance

———— Creepage distance

Figure 7 – Contour of rib



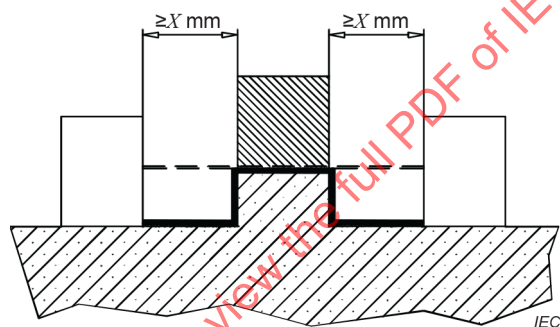
Condition: Path under consideration includes an uncemented joint with grooves less than X mm wide on each side.

Rule: **Clearance** and **creepage** path is the "line of sight" distance shown.

— — — — — **Clearance**

————— **Creepage distance**

Figure 8 – Uncemented joint with grooves less than X



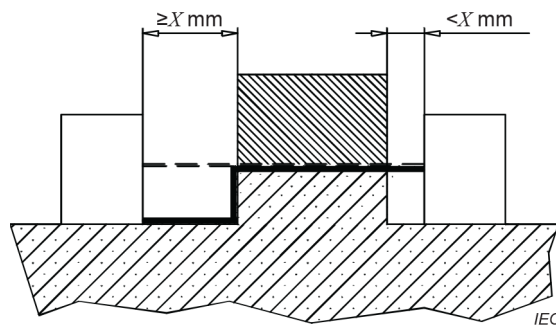
Condition: Path under consideration includes an uncemented joint with grooves equal to or more than X mm wide on each side.

Rule: **Clearance** is the "line of sight" distance. **Creepage** path follows the contour of the grooves.

— — — — — **Clearance**

————— **Creepage distance**

Figure 9 – Uncemented joint with grooves equal to or more than X

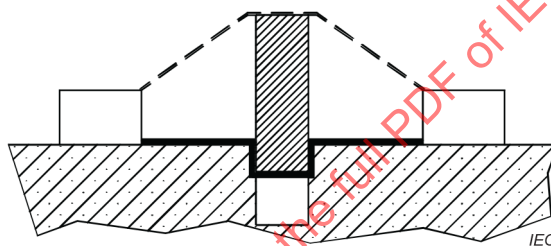


Condition: Path under consideration includes an uncemented joint with a groove on one side less than X mm wide and the groove on the other side equal to or more than X mm wide.

Rule: **Clearance** and **creepage** paths area as shown.

--- Clearance Creepage distance

Figure 10 – Uncemented joint with a groove on one side less than X

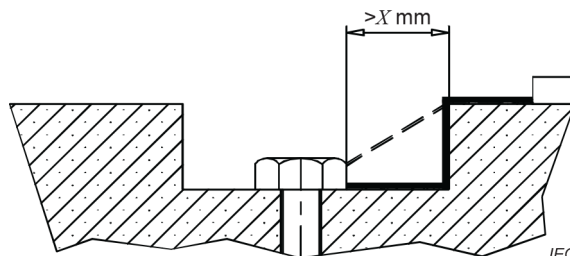


Condition: **Creepage distance** through the uncemented joint is less than the **creepage distance** over the barrier but more than the **clearance** over the top of the barrier.

Rule: **Clearance** is the shortest direct air path over the top of the barrier.

--- Clearance Creepage distance

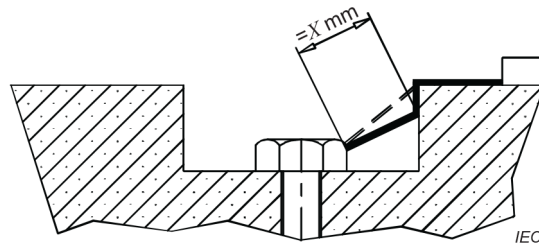
Figure 11 – Creepage distance and clearance through an uncemented joint



Gap between head of screw and wall of recess wide enough to be taken into account.

--- Clearance Creepage distance

Figure 12 – Creepage distance and clearance to a head of screw more than X



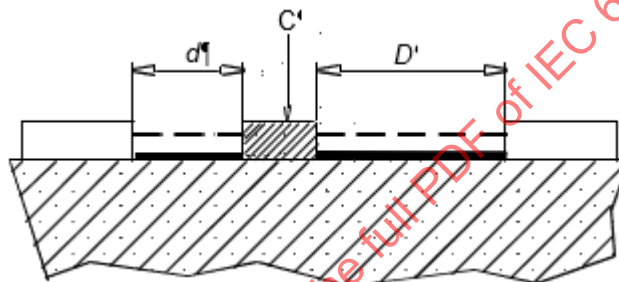
Gap between head of screw and wall of recess too narrow to be taken into account.

Measurement of **creepage distance** is from head of screw to wall when the distance is equal to X mm.

----- Clearance

██████████ Creepage distance

Figure 13 – Creepage distance and clearance to a head of screw less than X



C: conductive floating part

Clearance is the distance = $d + D$

Creepage distance is also = $d + D$

----- Clearance

██████████ Creepage distance

NOTE See Table F.2 for the minimum clearance of d or D .

Figure 14 – Creepage distance and clearance with conductive floating part

Annex A (informative)

Basic data on withstand characteristics of clearances

Table A.1 – Withstand voltages for an altitude of 2 000 m above sea level (1 of 2)

Clearance	Case A Inhomogeneous field			Case B Homogeneous field	
	AC (50/60 Hz)		Impulse (1,2/50 µs)	AC (50/60 Hz)	AC (50/60 Hz) and impulse (1,2/50 µs)
mm	U_{RMS} kV	$\hat{U}$ kV	$\hat{U}$ kV	U_{RMS} kV	$\hat{U}$ kV
0,001	0,028	0,040	0,040	0,028	0,040
0,002	0,053	0,075	0,075	0,053	0,075
0,003	0,078	0,110	0,110	0,078	0,110
0,004	0,102	0,145	0,145	0,102	0,145
0,005	0,124	0,175	0,175	0,124	0,175
0,006 25	0,152	0,215	0,215	0,152	0,215
0,008	0,191	0,270	0,270	0,191	0,270
0,010	0,23	0,33+	0,33+	0,23	0,33+
0,012	0,25	0,35	0,35	0,25	0,35
0,015	0,26	0,37	0,37	0,26	0,37
0,020	0,28	0,40	0,40	0,28	0,40
0,025	0,31	0,44	0,44	0,31	0,44
0,030	0,33	0,47	0,47	0,33	0,47
0,040	0,37	0,52	0,52	0,37	0,52
0,050	0,40	0,56	0,56	0,40	0,56
0,062 5	0,42	0,60+	0,60+	0,42	0,60+
0,080	0,46	0,65	0,70	0,50	0,70
0,10	0,50	0,70	0,81	0,57	0,81
0,12	0,52	0,74	0,91	0,64	0,91
0,15	0,57	0,80	1,04+	0,74	1,04
0,20	0,62	0,88	1,15	0,89	1,26
0,25	0,67	0,95	1,23	1,03	1,45
0,30	0,71	1,01	1,31	1,15	1,62
0,40	0,78	1,11	1,44	1,38	1,95
0,50	0,84	1,19	1,55	1,59	2,25
0,60	0,90	1,27	1,65	1,79	2,53
0,80	0,98	1,39	1,81	2,15	3,04
1,0	1,06	1,50+	1,95	2,47	3,50+
1,2	1,20	1,70	2,20	2,89	4,09
1,5	1,39	1,97	2,56	3,50	4,95
2,0	1,68	2,38	3,09	4,48	6,33
2,5	1,96	2,77	3,60	5,41	7,65
3,0	2,21	3,13	4,07	6,32	8,94
4,0	2,68	3,79	4,93	8,06	11,4
5,0	3,11	4,40	5,72	9,76	13,8
6,0	3,51	4,97	6,46	11,5	16,2
8,0	4,26	6,03	7,84	14,6	20,7
10,0	4,95	7,00+	9,10	17,7	25,0+
12,0	5,78	8,18	10,6	20,9	29,6
15,0	7,00	9,90	12,9	25,7	36,4
20,0	8,98	12,7	16,4	33,5	47,4
25,0	10,8	15,3	19,9	41,2	58,3
30,0	12,7	17,9	23,3	48,8	69,0
40,0	16,2	22,9	29,8	63,6	90,0
50,0	19,6	27,7	36,0	78,5	111,0
60,0	22,8	32,3	42,0	92,6	131,0
80,0	29,2	41,3	53,7	120,9	171,0

Table A.1 (2 of 2)

Clearance	Case A Inhomogeneous field			Case B Homogeneous field	
	AC (50/60 Hz)		Impulse (1,2/50 µs)	AC (50/60 Hz)	AC (50/60 Hz) and impulse (1,2/50 µs)
mm	U_{RMS}	$\hat{U}$	$\hat{U}$	U_{RMS}	$\hat{U}$
100,0	35,4	50,0+	65,0	148,5	210,0+

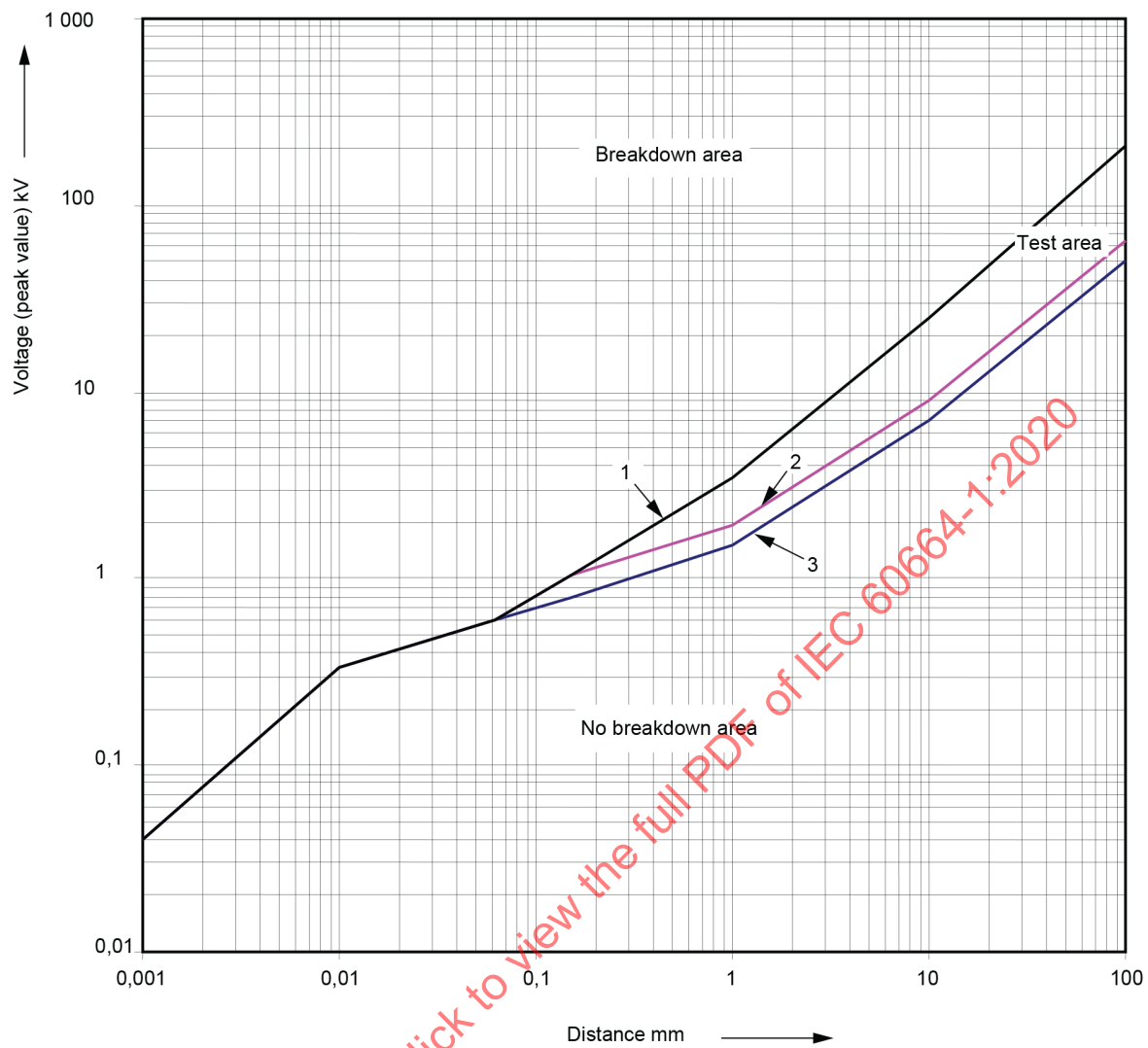
SOURCE The information for **clearances** from 0,001 mm to 0,008 mm, is issued from the document "Electrical breakdown experiments in air for micrometer gaps under various pressures" from P. Hartherz, K. Ben Yahia, L. Müller, R. Pfendner and W. Pfeiffer (see bibliography).

More details can be found in the thesis of P. Hartherz "Anwendung der Teilentladungsmeßtechnik zur Fehleranalyse in festen Isolierungen unter periodischer Impulsspannungsbelastung" (see bibliography).

For simplification, the statistical measured values according to Table A.1 above are replaced by straight lines between the values marked "+" in a double logarithmic diagram taking into account the correction factors from 0 m to 2 000 m altitude. The intermediate values are taken from that diagram (see Figure A.1) so that they enclose the measured values with a small safety margin. The values of U_{RMS} are found by dividing the values of $\hat{U}$ by $\sqrt{2}$.

Table A.2 – Altitude correction factors for clearance correction

Altitude m	Normal barometric pressure kPa	Multiplication factor k_d for clearances
2 000	80,0	1,00
3 000	70,0	1,14
4 000	62,0	1,29
5 000	54,0	1,48
6 000	47,0	1,70
7 000	41,0	1,95
8 000	35,5	2,25
9 000	30,5	2,62
10 000	26,5	3,02
15 000	12,0	6,67
20 000	5,5	14,5

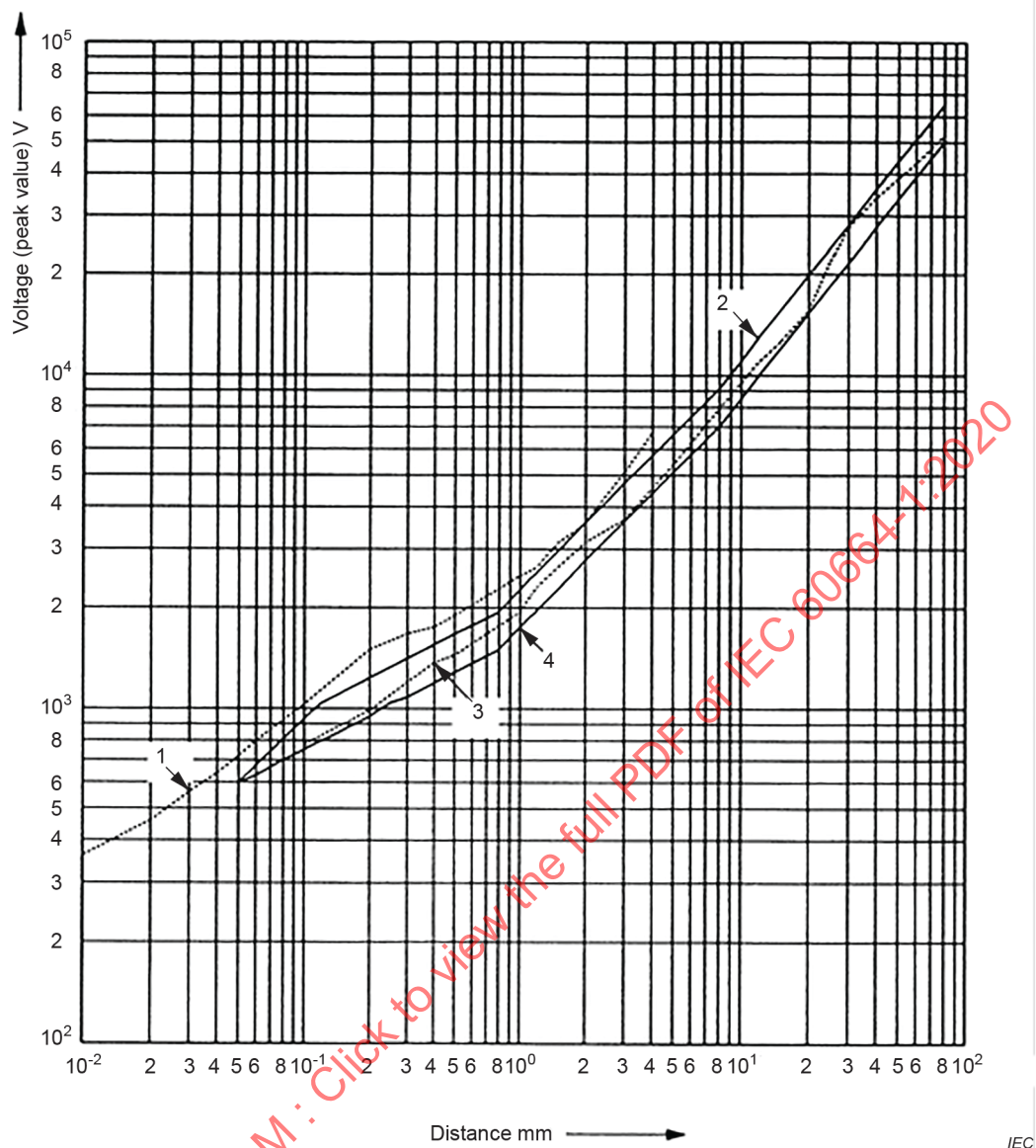


IEC

Key

- 1 case B; $\hat{U}$ 1,2/50 μ s and $\hat{U}$ 50/60 Hz
- 2 case A; $\hat{U}$ 1,2/50 μ s
- 3 case A; $\hat{U}$ 50/60 Hz

Figure A.1 – Withstand voltage at 2 000 m above sea level



Key

- 1 $\dot{U}$ 1,2/50 μ s according to Pfeiffer, W., ETZ-B, 1976 (see bibliography)
- 2 Low limits for $\dot{U}$ 1,2/50 μ s
- 3 $\dot{U}$ 50 Hz according to Hermstein, W., ETZ-A, 1969 (see bibliography)
- 4 Low limits for $\dot{U}$ 50 Hz

Figure A.2 – Experimental data measured at approximately sea level and their low limits for inhomogeneous field

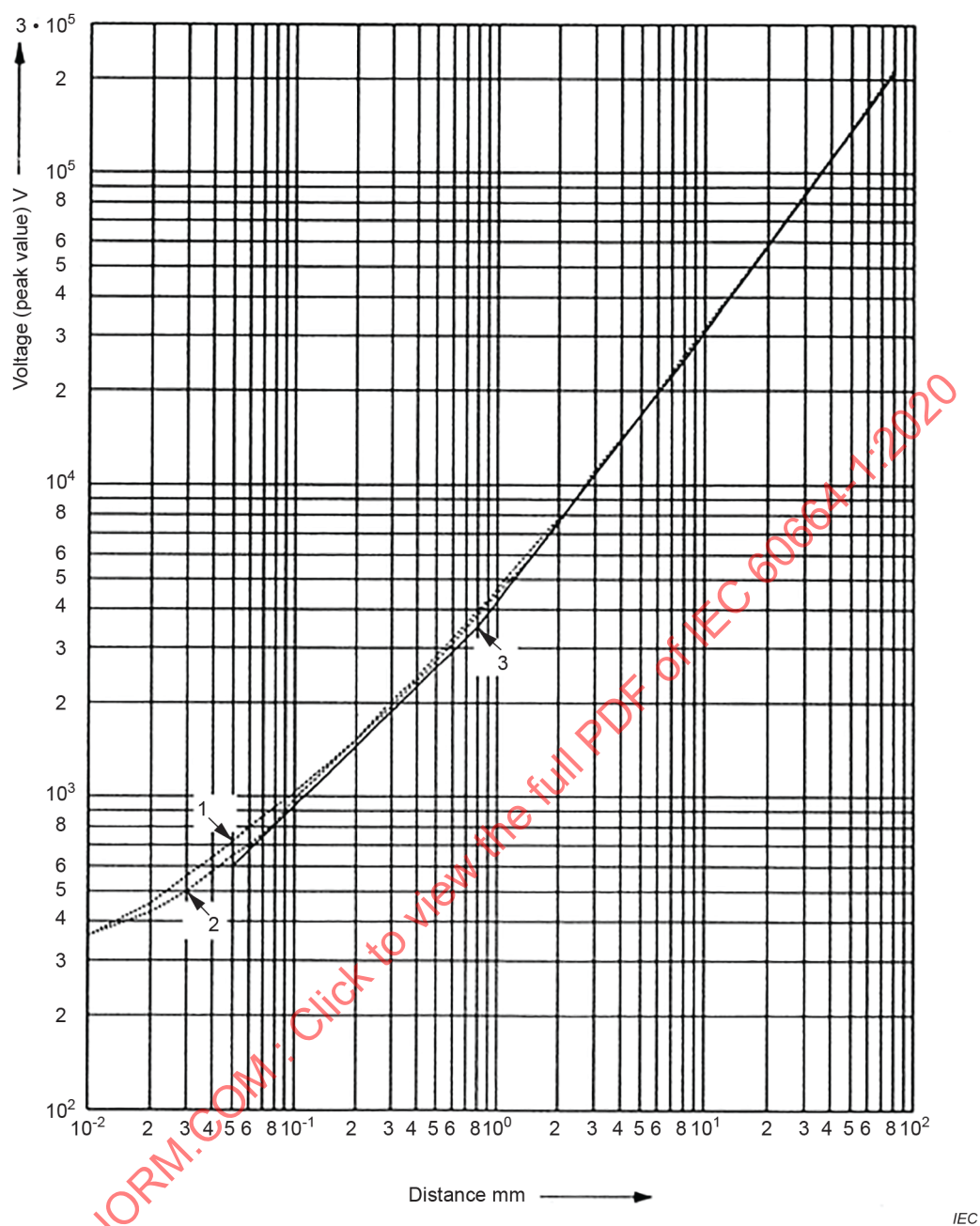
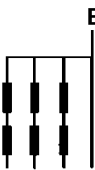
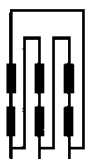


Figure A.3 – Experimental data measured at approximately sea level and their low limits for homogeneous field

Annex B (informative)

Nominal voltages of mains supply for different modes of overvoltage control

Table B.1 – Inherent control or equivalent protective control

Voltage line-to- neutral derived from nominal voltages AC or DC up to and including ^a V	Nominal voltages presently used in the world				Rated impulse withstand voltage for equipment ^a V			
	Three-phase four-wire systems with earthed neutral 	Three- phase three-wire systems unearthed 	Single- phase two-wire systems AC or DC 	Single- phase three-wire systems AC or DC 				
	V	V	V	V	Overvoltage category			
					I	II	III	IV
50			12,5 24 25 30 42 48	30 to 60	330	500	800	1 500
100	66/115	66	60		500	800	1 500	2 500
150	120/208 ^b 127/220	115, 120, 127	100 ^c , 110, 120	100 to 200 ^c 110 to 220 120 to 240	800	1 500	2 500	4 000
300	220/380, 230/400 240/415, 260/440 277/480	200 ^c , 220, 230, 240, 260, 277, 347 380, 400, 415 440, 480	220	220 to 440	1 500	2 500	4 000	6 000
600	347/600, 380/660 400/690, 417/720 480/830	500, 577, 600	480	480 to 960	2 500	4 000	6 000	8 000
1 000		660 690, 720 830, 1 000	1 000		4 000	6 000	8 000	12 000
1 250 ^d			1 250	1 250	4 000	6 000	8 000	12 000
1 500 ^d			1 500	1 500	6 000	8 000	10 000	15 000

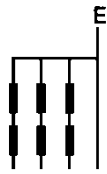
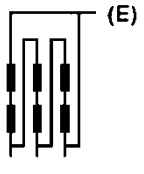
^a These columns are taken from Table F.1 in which the **rated impulse withstand voltage** values are specified.

^b Practice in the United States of America and in Canada.

^c Practice in Japan.

^d Only applicable for direct current.

Table B.2 – Cases where protective control is necessary and control is provided by surge protective device having a ratio of voltage protection level to rated voltage not smaller than that specified in IEC 61643 (all parts)

Voltage line-to-neutral derived from nominal voltages AC or DC up to and including ^a	Nominal voltages presently used in the world				Rated impulse withstand voltage for equipment ^a V			
	Three-phase four-wire systems with earthed neutral 	Three-phase three-wire systems earthed or unearthed 	Single-phase two-wire systems AC or DC 	Single-phase three-wire systems AC or DC 				
	V	V	V	V	Overvoltage category			
					I	II	III	IV
50			12,5 24 25 30 42 48	30 to 60	330	500	800	1 500
100	66/115	66	60		500	800	1 500	2 500
150	120/208 ^b 127/220	115, 120, 127	100 ^c 110, 120	100 to 200 ^c 110 to 220 120 to 240	800	1 500	2 500	4 000
300	220/380, 230/400 240/415, 260/440 277/480	200 ^c , 220, 230, 240 260, 277	220	220 to 440	1 500	2 500	4 000	6 000
600	347/600, 380/660 400/690, 417/720 480/830	347, 380, 400 415, 440, 480 500, 577, 600	480	480 to 960	2 500	4 000	6 000	8 000
1 000		660 690, 720 830, 1 000	1 000		4 000	6 000	8 000	12 000
1 250 ^d			1 250	1 250	4 000	6 000	8 000	12 000
1 500 ^d			1 500	1 500	6 000	8 000	10 000	15 000

^a These columns are taken from Table F.1 in which the **rated impulse withstand voltage** values are specified.

^b Practice in the United States of America and in Canada.

^c Practice in Japan.

^d Only applicable for direct current.

Annex C (normative)

Partial discharge test methods

C.1 Test circuits

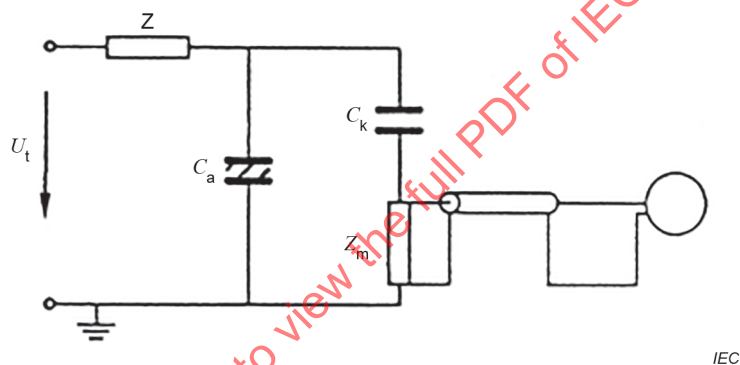
C.1.1 General

Test circuits shall perform as described in IEC 60270. The following circuits given in Annex C meet those requirements and are given as examples.

NOTE 1 In the majority of cases, testing equipment designed in accordance with the examples given in Annex C will be sufficient. In special cases, for example in presence of extremely high ambient noise, it can be necessary to refer to IEC 60270.

NOTE 2 For an explanation of the basic operation, see Clause D.2.

C.1.2 Test circuit for earthed test specimen (Figure C.1)

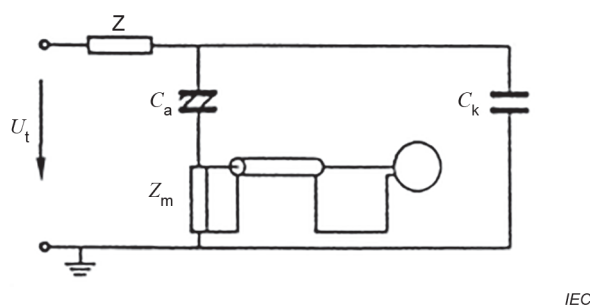


Key

- U_t test voltage
- Z filter
- C_a test specimen (usually it can be regarded as a capacitance)
- C_k coupling capacitor
- Z_m measuring impedance

Figure C.1 – Earthed test specimen

C.1.3 Test circuit for unearthed test specimen (Figure C.2)



Key

- U_t test voltage
 Z filter
 C_a test specimen (usually it can be regarded as a capacitance)
 C_k coupling capacitor
 Z_m measuring impedance

Figure C.2 – Unearthed test specimen

C.1.4 Selection criteria

Basically, both circuits are equivalent. However, the stray capacitances of the test specimen have a different influence upon sensitivity. The earth capacitance of the high-voltage terminal of the test specimen tends to reduce the sensitivity of the circuit according to C.1.2 and tends to increase the sensitivity of the circuit according to C.1.3 which therefore should be preferred.

C.1.5 Measuring impedance

The measuring impedance shall provide a negligibly low-voltage drop at test frequency. The impedance for the measuring frequency shall be selected in order to provide a reasonable sensitivity, see Clause D.2.

If voltage limiting components are used, they shall not be effective within the measuring range.

C.1.6 Coupling capacitor C_k

This capacitor shall be of low inductance type with a resonant frequency in excess of $3f_2$ (see Clause C.3). It shall be free of **partial discharges** up to the highest test voltage used.

C.1.7 Filter

The use of a filter is not mandatory. If used, its impedance shall be high for the measuring frequency.

C.2 Test parameters

C.2.1 General

Technical committees shall specify:

- the frequency f_t of the test voltage (C.2.2);
- the **specified discharge magnitude** (6.4.6.4.1);

- the climatic conditions for the PD test (C.2.3).

NOTE It can be necessary to have different specifications for the **type test** and the **routine test**.

C.2.2 Requirements for the test voltage

Normally AC voltages are used. The total harmonic distortion shall be less than 3 %.

NOTE 1 Low distortion of the sine wave allows the use of standard voltmeters and the calculation of the peak value from the RMS reading. In the case of higher distortion, peak voltmeters can be used.

Tests are normally made at power frequency. If other frequencies are present in the equipment, technical committees shall consider the possible effect of frequency on discharge magnitude.

NOTE 2 PD testing with DC voltage can be unsuitable because of the difficulty of achieving an **environment** which is completely free of electrical noise. In addition it can be noted that the voltage distribution is greatly different for alternating current and direct current.

C.2.3 Climatic conditions

It is recommended to perform the test at room temperature and average humidity (23 °C, 50 % RH, see IEC 60068-1:2013, 4.3).

C.3 Requirements for measuring instruments

C.3.1 General

Both wideband and narrowband charge measuring instruments may be used (see C.3.3). Radio interference voltmeters may only be used according to the precautions given in C.3.2.

The lower limit of the measuring frequency is determined by the frequency f_t of the test voltage and the frequency characteristic of the measuring impedance Z_m (see C.1.5). It should not be lower than $10 f_t$.

The upper limit of the measuring frequency is determined by the shape of the PD pulses and the frequency response of the test circuit. It does not need to be higher than 2 MHz. For narrowband PD meters the measuring frequency shall be selected with regard to narrowband noise sources (see D.3.4).

NOTE Narrowband PD meters are suitable.

C.3.2 Classification of PD meters

The current through the measuring impedance Z_m is integrated to provide a reading proportional to q_m (see Figure D.1).

The integration can be affected by the measuring impedance. In this case, it shall represent a capacitance for all frequencies above the lower limit of the measuring frequency. The voltage across the capacitance, which is proportional to q_m , is amplified by a pulse amplifier. Periodic discharging shall also be provided.

If the measuring impedance is resistive for all frequencies above the lower limit of the measuring frequency, the integration shall be done within the pulse amplifier.

Single pulses shall be measured and the pulse with the maximum amplitude shall be evaluated. In order to limit errors due to pulse overlap, the pulse resolution time shall be less than 100 μ s.

Radio interference meters are narrowband peak voltage meters. They are used to measure interference of radio signals. They incorporate a special filter circuit which creates dependency of the reading on the **pulse repetition rate** according to the subjective effect of noise to the human ear.

For measuring **partial discharges**, radio interference meters may only be used if the filter circuit is disconnected. Also, a suitable measuring impedance is required.

C.3.3 Bandwidth of the test circuit

Usually, the PD meter limits the bandwidth of the test circuit. PD meters are classified according to their bandwidth as wideband or narrowband.

- The lower and the upper cut-off frequencies f_1 and f_2 are those where the frequency response has dropped by 3 dB of the constant value in the case of a wideband meter and by 6 dB from the peak value in the case of a narrowband meter.
- For narrowband meters, the measuring frequency f_0 is identical with the resonance peak in the frequency response.
- The bandwidth Δf is:

$$\Delta f = f_2 - f_1$$

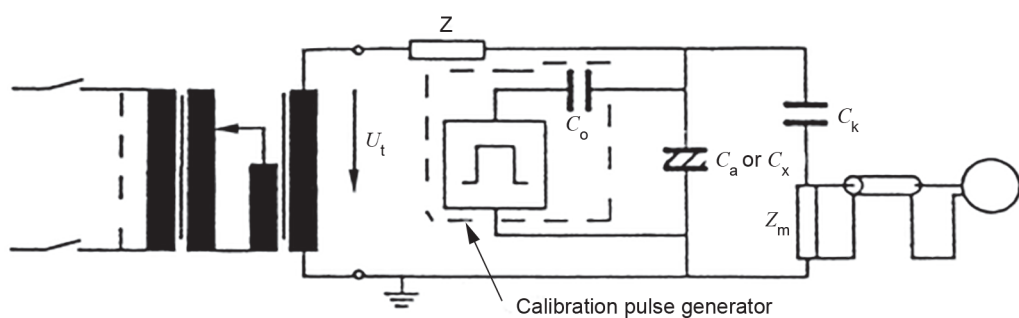
For wideband meters, Δf is in the same order of magnitude as f_2 . For narrowband meters, Δf is much less than f_0 .

C.4 Calibration

C.4.1 Calibration of discharge magnitude before the noise level measurement

The calibration of the test circuit (Figure C.3 or Figure C.4) shall be carried out at the **specified discharge magnitude** replacing the test specimen C_a by a capacitor C_x which exhibits no **partial discharge**. The impedance of the capacitor C_x shall be similar to that of the test specimen C_a .

The transformers shall be adjusted according to the specified **partial discharge test voltage** but not energized and their primary windings shall be short-circuited. The **specified discharge magnitude** shall be applied to the terminals of the capacitor by means of the calibration pulse generator. The indication of the discharge magnitude on the discharge detector shall be adjusted to correspond with the calibration signal.

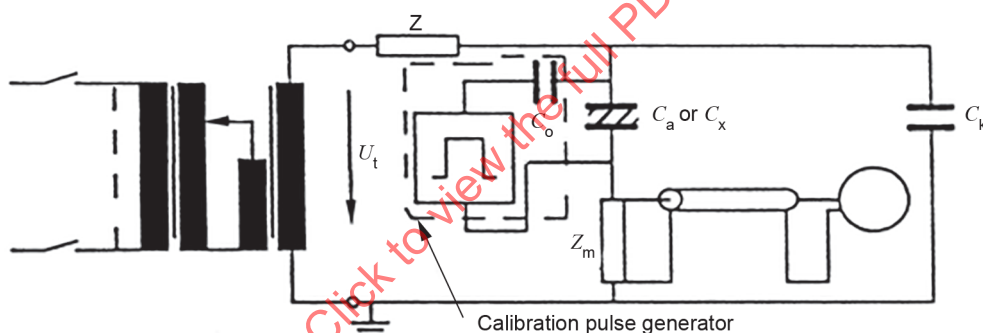


IEC

Key

U_t	test voltage
Z	filter
C_0	capacitance of the calibration impulse generator
C_a or C_x	test specimen (usually it can be regarded as a capacitance)
C_k	coupling capacitor
Z_m	measuring impedance

Figure C.3 – Calibration for earthed test specimen



IEC

Key

U_t	test voltage
Z	filter
C_0	capacitance of the calibration impulse generator
C_a or C_x	test specimen (usually it can be regarded as a capacitance)
C_k	coupling capacitor
Z_m	measuring impedance

Figure C.4 – Calibration for unearthed test specimen

C.4.2 Verification of the noise level

With the arrangement used in C.4.1, the PD test voltage shall be raised up to the highest test voltage. The maximum noise level shall be less than 50 % of the **specified discharge magnitude**. Otherwise measures according to Clause D.3 are required.

C.4.3 Calibration for the PD test

With the test specimen in circuit, the procedure of C.4.1 shall be repeated.

Changes in the test circuit or test specimen require recalibration. In the case of many similar test specimens, occasional recalibration may be sufficient if:

- the impedance of the coupling capacitor is less than 1/10 of that of the test specimen; or
- the impedance of the test specimen does not deviate from the value during calibration by more than $\pm 10\%$.

NOTE When specifying time intervals for recalibration, technical committees can bear in mind that, in case of insufficient sensitivity at the PD meter, potentially harmful discharges cannot be detected.

C.4.4 Calibration pulse generator

For the calibration pulse generator, see IEC 60270 that explains the test method and the characteristics to be checked.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60664-1:2020

Annex D (informative)

Additional information on partial discharge test methods

D.1 Measurement of partial discharge (PD), PD inception and extinction voltage

The test voltage is increased from a value below the **partial discharge inception voltage** until **partial discharges** occur (PD inception voltage). After further increase of the test voltage by 10 %, the voltage is decreased until PD is smaller than the **specified discharge magnitude** (PD extinction voltage). Thereby the insulation test voltage specified for the test specimen may not be exceeded.

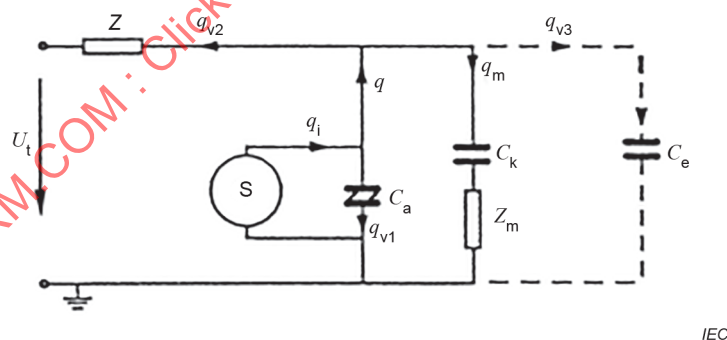
NOTE It can occur that the **partial discharge extinction voltage** is influenced by the time of the voltage stress with values exceeding the **partial discharge inception voltage**. During successive measurements, both **partial discharge inception voltage** and **partial discharge extinction voltage** can be influenced.

This procedure is appropriate for investigation measurements.

D.2 Description of PD test circuits (Figure D.1)

Each circuit consists of the following devices:

- the test specimen C_a (in special cases it may also be an impedance Z_a);
- the coupling capacitor C_k ;
- the measuring circuit consisting of measuring impedance Z_m , the connecting cable and the PD meter;
- optionally a filter Z to reduce charge being bypassed by the test voltage source.



Key

U_t	test voltage	q_i	internal charge (not measurable)
Z	filter	q	apparent charge
S	PD current source	q_m	measurable charge
C_a	capacitance of the test specimen	q_{v1}	charge loss across the test specimen
C_k	coupling capacitor	q_{v2}	charge loss across the test voltage source
Z_m	measuring impedance	q_{v3}	charge loss across the earth stray capacitance
C_e	earth stray capacitance		

Figure D.1 – Partial discharge test circuits

The direct measurement of the **apparent charge** q would require a short-circuit at the terminals of the test specimen for the measuring frequency. This condition can be approximated as follows:

- $C_k > (C_a + C_e)$;
- high impedance Z ;
- low measuring impedance Z_m .

Otherwise significant charge losses q_{v2} and q_{v3} may occur. These charge losses are taken into account by the calibration but they will limit the sensitivity. The situation is aggravated if the test specimen has a high capacitance.

D.3 Precautions for reduction of noise

D.3.1 General

The results of PD measurements may be greatly influenced by noise. Such noise may be introduced by conductive coupling or by electromagnetic interference. In unscreened industrial test sites, single charge pulses as high as 100 pC may occur due to noise. Even under favourable conditions, not less than 20 pC can be expected.

A noise level as low as 1 pC may be achieved, but this will require screening of the test circuit, careful earthing measures and filtering of the **mains supply** input.

Basically, there are two different kinds of noise sources as described in D.3.2 and D.3.3.

D.3.2 Sources in the non-energized test circuit

These are caused for instance by switching in adjacent circuits. In case of conductive coupling they only occur if connection to the **mains supply** is provided. In case of electromagnetic coupling they also occur if the **mains supply** is switched off (including the protective conductor).

D.3.3 Sources in the energized test circuit

Usually, noise increases with the test voltage and is caused by **partial discharges** outside the test specimen. PD may occur in the test transformer, the high-voltage connecting leads, bushings and points of poor contact. Harmonics of the test voltage may also contribute to the noise level.

D.3.4 Measures for reduction of noise

Noise caused by conductive coupling can be reduced by use of line filters in the central feeding of the test circuit. No earth loops should be present.

Electromagnetic interference, for instance by radio signals, can be excluded in a simple manner by variation of the measuring frequency f_0 for narrowband PD meters. For wideband PD meters, band-stop-filters may be required, wideband signals can only be suppressed by screening. The highest efficiency is provided by a fully enclosed screen with high electrical conductivity.

D.4 Application of multiplying factors for test voltages

D.4.1 General

The values of the multiplying factors defined in 6.4.6 and used in 5.4.3.3 and 6.4.6 are calculated as follows.

NOTE These examples are given for the **recurring peak voltage** U_{rp} . The factors similarly apply to the **steady-state peak voltage** and to the long-term peak value of **temporary overvoltage**.

D.4.2 Example 1 (circuit connected to mains supply)

D.4.2.1 Maximum recurring peak voltage U_{rp}

$$U_{rp} = \sqrt{2} U_0 \times F_4 = 1,1 \sqrt{2} U_0$$

D.4.2.2 Partial discharge extinction voltage $U_{\text{extinction}}$ (basic insulation)

$$U_{\text{extinction}} = \sqrt{2} U_0 \times F_4 \times F_1$$

$$U_{\text{extinction}} = \sqrt{2} U_0 \times 1,1 \times 1,2 = 1,32 \sqrt{2} U_0$$

D.4.2.3 Initial value of the PD test voltage U_1 (basic insulation)

$$U_1 = \sqrt{2} U_0 \times F_4 \times F_1 \times F_2$$

$$U_1 = \sqrt{2} U_0 \times 1,32 \times 1,25 = 1,65 \sqrt{2} U_0$$

D.4.3 Example 2 (internal circuit with maximum recurring peak voltage U_{rp})

D.4.3.1 Partial discharge extinction voltage $U_{\text{extinction}}$ (basic insulation)

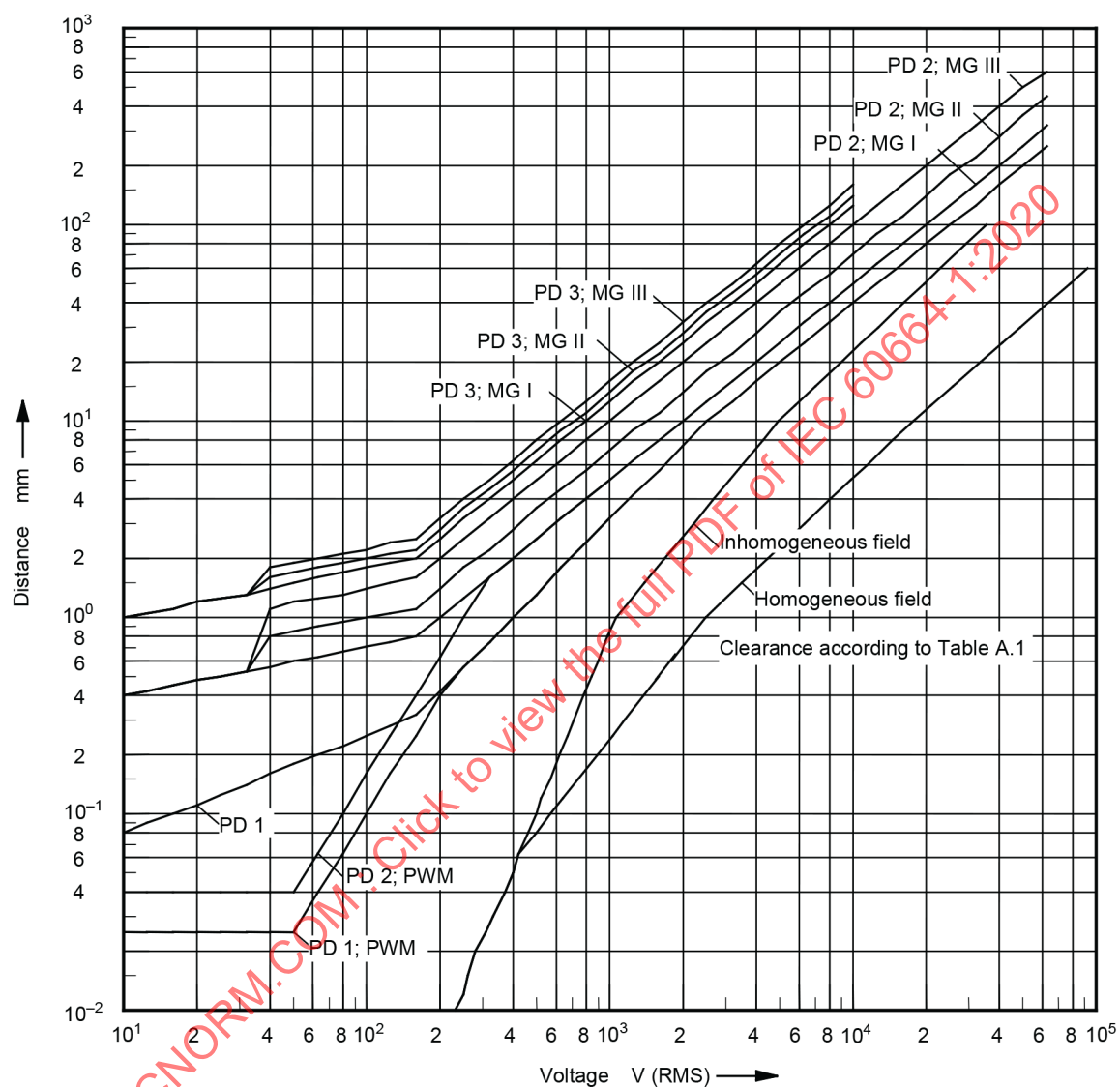
$$U_{\text{extinction}} = U_{rp} \times F_1 = U_{rp} \times 1,2$$

D.4.3.2 Initial value of the PD test voltage U_1 (basic insulation)

$$U_1 = U_{rp} \times F_1 \times F_2 = U_{rp} \times 1,5$$

Annex E (informative)

Comparison of creepage distances specified in Table F.5 and clearances in Table A.1



IEC

Key

- PD pollution degree
MG material group
PWM printed wiring material

**Figure E.1 – Comparison between creepage distances specified
in Table F.5 and clearances in Table A.1**

Annex F (normative)

Tables

Table F.1 – Rated impulse withstand voltage for equipment energized directly from the mains supply

Nominal voltage of the mains supply ^a based on IEC 60038 ^c		Voltage line to neutral derived from nominal voltages AC or DC up to and including V	Rated impulse withstand voltage ^b			
Three-phase V	Single phase V		Overvoltage category ^d			
			I V	II V	III V	IV V
		50	330	500	800	1 500
		100	500	800	1 500	2 500
	120 to 240	150 ^e	800	1 500	2 500	4 000
230/400 277/480		300	1 500	2 500	4 000	6 000
400/690		600	2 500	4 000	6 000	8 000
1 000		1 000	4 000	6 000	8 000	12 000
	>1 000 ≤ 1 250 ^f	1 250 ^f	4 000	6 000	8 000	12 000
	>1 250 ≤ 1 500 ^f	1 500 ^f	6 000	8 000	10 000	15 000

^a See Annex B for application to existing different low-voltage **mains supply** and their nominal voltages.

^b Equipment with these **rated impulse withstand voltages** can be used in installations in accordance with IEC 60364-4-44.

^c The / mark indicates a four-wire three-phase distribution system. The lower value is the voltage line-to-neutral, while the higher value is the voltage line-to-line. Where only one value is indicated, it refers to three-wire, three-phase systems and specifies the value line-to-line.

^d See 4.3 for an explanation of the **overvoltage categories**.

^e Nominal voltages for single-phase systems in Japan are 100 V or 100 V to 200 V. However, the value of the **rated impulse withstand voltage** for the voltages is determined from columns applicable to the voltage line to neutral of 150 V (See Annex B).

^f For DC values only.

Table F.2 – Clearances to withstand transient overvoltages

Required impulse withstand voltage ^a	Minimum clearances in air up to 2 000 m above sea level					
	Case A Inhomogeneous field (see 3.1.27)			Case B Homogeneous field (see 3.1.26)		
	Pollution degree ^e			Pollution degree ^e		
kV	1 mm	2 mm	3 mm	1 mm	2 mm	3 mm
0,33 ^b	0,01	0,2 ^{c, d}	0,8 ^d	0,01	0,2 ^{c, d}	0,8 ^d
0,40	0,02			0,02		
0,50 ^b	0,04			0,04		
0,60	0,06			0,06		
0,80 ^b	0,10			0,10		
1,0	0,15			0,15		
1,2	0,25			0,2		
1,5 ^b	0,5	0,5		0,3	0,3	
2,0	1,0	1,0	1,0	0,45	0,45	
2,5 ^b	1,5	1,5	1,5	0,60	0,60	
3,0	2,0	2,0	2,0	0,80	0,80	
4,0 ^b	3,0	3,0	3,0	1,2	1,2	1,2
5,0	4,0	4,0	4,0	1,5	1,5	1,5
6,0 ^b	5,5	5,5	5,5	2,0	2,0	2,0
8,0 ^b	8,0	8,0	8,0	3,0	3,0	3,0
10	11	11	11	3,5	3,5	3,5
12 ^b	14	14	14	4,5	4,5	4,5
15	18	18	18	5,5	5,5	5,5
20	25	25	25	8,0	8,0	8,0
25	33	33	33	10	10	10
30	40	40	40	12,5	12,5	12,5
40	60	60	60	17	17	17
50	75	75	75	22	22	22
60	90	90	90	27	27	27
80	130	130	130	35	35	35
100	170	170	170	45	45	45

^a This voltage is:

- for **functional insulation**, for **basic insulation** directly exposed to or significantly influenced by **transient overvoltages** from the **mains supply** (see 5.2.2.2, 5.2.2.3 and 5.2.4), the **rated impulse withstand voltage** of the equipment,
 - for other **basic insulation** (see 5.2.5), the highest impulse voltage that can occur in the circuit.
- For **reinforced insulation**, see 5.2.5.

^b Preferred values as specified in 4.2.2.1.

^c For printed wiring material, the values for **pollution degree** 1 apply except that the value shall not be less than 0,04 mm, as specified in Table F.5. A protection by means of a solder resist of high quality is the minimum requirement to allow this **clearance** reduction.

^d The minimum **clearances** given for **pollution degrees** 2 and 3 are based on the reduced withstand characteristics of the associated **creepage distance** under humidity conditions.

^e The dimensions for **pollution degree** 4 are as specified for **pollution degree** 3, except that the minimum **clearance** is 1,6 mm.

Table F.3 – Single-phase three-wire or two-wire AC or DC systems

Nominal voltage of the mains supply ^b	Voltages rationalized for Table F.5	
	For insulation line-to-line ^a	For insulation line-to-earth ^a
	All systems V	Three-wire systems mid-point earthed V
V		
12,5	12,5	
24 25	25	
30	32	
42 48 50 ^c	50	
60	63	
30 to 60	63	32
100 ^c	100	
110 120	125	
150 ^c	160	
200	200	
100 to 200	200	100
220	250	
110 to 220 120 to 240	250	125
300 ^c	320	
220 to 440	500	250
600 ^c	630	
480 to 960	1 000	500
1 000 ^c	1 000	
1 500 ^{c, d}	1 500	

^a Line-to-earth insulation level for unearthed or impedance-earthed systems equals that for line-to-line because the operating voltage to earth of any line can, in practice, approach full line-to-line voltage. This is because the actual voltage to earth is determined by the insulation resistance and capacitive reactance of each line to earth; thus, low (but acceptable) insulation resistance of one line can in effect earth it and raise the other two to full line-to-line voltage to earth.

^b For relationship to **rated voltage** see 5.3.2.2.

^c These values correspond to the values given in Table F.1.

^d For DC values only.

Table F.4 – Three-phase four-wire or three-wire AC systems

Nominal voltage of the mains supply ^c	Voltages rationalized for Table F.5		
	For insulation line-to-line	For insulation line-to-earth	
	All systems	Three-phase four-wire systems neutral-earthed ^b	Three-phase three-wire systems unearthed ^a or corner-earthed
V	V	V	V
60	63	32	63
110 120 127	125	80	125
150 ^d	160	–	160
200	200		200
208	200	125	200
220 230 240	250	160	250
300 ^d	320	–	320
380 400 415	400	250	400
440	500	250	500
480 500	500	320	500
575	630	400	630
600 ^d	630	–	630
660 690	630	400	630
720 830	800	500	800
960	1 000	630	1 000
1 000 ^d	1 000	–	1 000

^a Line-to-earth insulation level for unearthed or impedance-earthed systems equals that for line-to-line because the operating voltage to earth of any line can, in practice, approach full line-to-line voltage. This is because the actual voltage to earth is determined by the insulation resistance and capacitive reactance of each line to earth; thus, low (but acceptable) insulation resistance of one line can in effect earth it and raise the other two to full line-to-line voltage to earth.

^b For equipment for use on both three-phase four-wire and three-phase three-wire supplies, earthed and unearthed, use the values for three-wire systems only.

^c For relationship to **rated voltage** see 5.3.2.2.

^d These values correspond to the values given in Table F.1.

Table F.5 – Creepage distances to avoid failure due to tracking (1 of 2)

Voltage RMS ^{a, e}	Minimum creepage distances								
	Printed wiring material								
	Pollution degree								
	1	2 ^f	1	2			3		
	All material groups	All material groups, except IIIb	All material groups	Material group I	Material group II	Material group III	Material group I	Material group II	Material group III ^b
V	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
10	0,025	0,040	0,080	0,400	0,400	0,400	1,000	1,000	1,000
12,5	0,025	0,040	0,090	0,420	0,420	0,420	1,050	1,050	1,050
16	0,025	0,040	0,100	0,450	0,450	0,450	1,100	1,100	1,100
20	0,025	0,040	0,110	0,480	0,480	0,480	1,200	1,200	1,200
25	0,025	0,040	0,125	0,500	0,500	0,500	1,250	1,250	1,250
32	0,025	0,040	0,14	0,53	0,53	0,53	1,30	1,30	1,30
40	0,025	0,040	0,16	0,56	0,80	1,10	1,40	1,60	1,80
50	0,025	0,040	0,18	0,60	0,85	1,20	1,50	1,70	1,90
63	0,040	0,063	0,20	0,63	0,90	1,25	1,60	1,80	2,00
80	0,063	0,100	0,22	0,67	0,95	1,30	1,70	1,90	2,10
100	0,100	0,160	0,25	0,71	1,00	1,40	1,80	2,00	2,20
125	0,160	0,250	0,28	0,75	1,05	1,50	1,90	2,10	2,40
160	0,250	0,400	0,32	0,80	1,10	1,60	2,00	2,20	2,50
200	0,400	0,630	0,42	1,00	1,40	2,00	2,50	2,80	3,20
250	0,560	1,000	0,56	1,25	1,80	2,50	3,20	3,60	4,00
320	0,75	1,60	0,75	1,60	2,20	3,20	4,00	4,50	5,00
400	1,0	2,0	1,0	2,0	2,8	4,0	5,0	5,6	6,3
500	1,3	2,5	1,3	2,5	3,6	5,0	6,3	7,1	8,0 (7,9) ^d
630	1,8	3,2	1,8	3,2	4,5	6,3	8,0 (7,9) ^d	9,0 (8,4) ^d	10,0 (9,0) ^d
800	2,4	4,0	2,4	4,0	5,6	8,0	10,0 (9,0) ^d	11,0 (9,6) ^d	12,5 (10,2) ^d
1 000	3,2	5,0	3,2	5,0	7,1	10,0	12,5 (10,2) ^d	14,0 (11,2) ^d	16,0 (12,8) ^d
1 250			4,2	6,3	9,0	12,5	16,0 (12,8) ^d	18,0 (14,4) ^d	20,0 (16,0) ^d
1 600			5,6	8,0	11,0	16,0	20,0 (16,0) ^d	22,0 (17,6) ^d	25,0 (20,0) ^d
2 000			7,5	10,0	14,0	20,0	25,0 (20,0) ^d	28,0 (22,4) ^d	32,0 (25,6) ^d
2 500			10,0	12,5	18,0	25,0	32,0 (25,6) ^d	36,0 (28,8) ^d	40,0 (32,0) ^d
3 200			12,5	16,0	22,0	32,0	40,0 (32,0) ^d	45,0 (36,0) ^d	50,0 (40,0) ^d

Table F.5 (2 of 2)

Voltage RMS ^{a, e}	Minimum creepage distances								
	Printed wiring material								
	Pollution degree								
	1	2 ^f	1	2			3		
	All material groups	All material groups, except IIIb	All material groups	Material group I	Material group II	Material group III	Material group I	Material group II	Material group III ^b
V	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
4 000			16,0	20,0	28,0	40,0	50,0 (40,0) ^d	56,0 (44,8) ^d	63,0 (50,4) ^d
5 000			20,0	25,0	36,0	50,0	63,0 (50,4) ^d	71,0 (56,8) ^d	80,0 (64,0) ^d
6 300			25,0	32,0	45,0	63,0	80,0 (64,0) ^d	90,0 (72,0) ^d	100,0 (80,0) ^d
8 000			32,0	40,0	56,0	80,0	100,0 (80,0) ^d	110,0 (88,0) ^d	125,0 (100,0) ^d
10 000			40,0	50,0	71,0	100,0	125,0 (100,0) ^d	140,0 (112,0) ^d	160,0 (128,0) ^d
12 500			50,0 ^c	63,0 ^c	90,0 ^c	125,0 ^c			
16 000			63,0 ^c	80,0 ^c	110,0 ^c	160,0 ^c			
20 000			80,0 ^c	100,0 ^c	140,0 ^c	200,0 ^c			
25 000			100,0 ^c	125,0 ^c	180,0 ^c	250,0 ^c			
32 000			125,0 ^c	160,0 ^c	220,0 ^c	320,0 ^c			
40 000			160,0 ^c	200,0 ^c	280,0 ^c	400,0 ^c			
50 000			200,0 ^c	250,0 ^c	360,0 ^c	500,0 ^c			
63 000			250,0 ^c	320,0 ^c	450,0 ^c	600,0 ^c			

NOTE The high precision for **creepage distances** given in this table does not mean that the uncertainty of measurement has to be in the same order of magnitude.

^a This voltage is for:

- **functional insulation**, the **steady-state working voltage** (see 5.3.4),
- **basic insulation** and **supplementary insulation** of the circuit energized directly from the **mains supply** (see 5.3.5), the voltage rationalized through Table F.3 or Table F.5, based on the **rated voltage** of the equipment, or the **rated insulation voltage**,
- **basic insulation** and **supplementary insulation** of a system, equipment and internal circuits not energized directly from the **mains supply** (see 5.3.5), the highest RMS voltage which can occur in the system, equipment or internal circuit when supplied at **rated voltage** and under the most onerous combination of conditions of operation within equipment rating.

^b Material group IIIb is not recommended for application in **pollution degree** 3 above 630 V.

^c Provisional data based on extrapolation. Technical committees who have other information based on experience may use their dimensions.

^d The values given in brackets may be applied to reduce the **creepage distance** in case of using a rib (see 5.3.3.7).

^e Linear interpolation between two values of voltage is allowed (see 5.3.4, 5.3.5).

^f See 5.3.3.8.

Table F.6 – Test voltages for verifying clearances only at different altitudes

Rated impulse withstand voltage $\hat{U}$ kV	Impulse test voltage at sea level $\hat{U}$ kV	Impulse test voltage at 200 m altitude $\hat{U}$ kV	Impulse test voltage at 500 m altitude $\hat{U}$ kV
0,33	0,357	0,355	0,350
0,5	0,541	0,537	0,531
0,8	0,934	0,920	0,899
1,5	1,751	1,725	1,685
2,5	2,920	2,874	2,808
4,0	4,923	4,824	4,675
6,0	7,385	7,236	7,013
8,0	9,847	9,648	9,350
10,0	12,309	12,060	11,688
12,0	14,770	14,471	14,025
15,0	18,464	18,091	17,533

NOTE 1 Explanations concerning the influencing factors (air pressure, altitude, temperature, humidity) with respect to electric strength of **clearances** are given in 4.7 and altitude correction in 6.2.2.1.4

NOTE 2 When testing **clearances**, associated **solid insulation** will be subjected to the test voltage. As the impulse test voltage of Table F.6 is increased with respect to the **rated impulse withstand voltage**, **solid insulation** will be designed accordingly. This results in an increased impulse withstand capability of the **solid insulation**.

Table F.7 – Severities for conditioning of solid insulation

Test	Temperature °C	Relative humidity %	Time h	Number of cycles
a) Dry heat	+55	–	48	1
b) Change of temperature with specified rate of change, test Nb of IEC 60068-2-14:2009	–10 to +55	–	Cycle duration 24	3
c) Thermal shock (rapid change of temperature, test Na of IEC 60068-2-14:2009)	–10 to +55	–	^b	
d) Damp heat, steady state	30/40 ^a	93	96	1

NOTE For the damp heat test 25 °C is still used in some product standards.

^a Standard temperature of damp heat test appears in IEC 60068-2-78.

^b Duration of the temperature change depends on the thermal time constant of the test specimen, see IEC 60068-2-14:2009.

Table F.8 – Dimensioning of clearances to withstand steady-state peak voltages, temporary overvoltages or recurring peak voltages ^b

Voltage ^a (peak value) ^b kV	Minimum clearances in air up to 2 000 m above sea level	
	Case A Inhomogeneous field conditions (see 3.1.27)	Case B Homogeneous field conditions (see 3.1.26)
	mm	mm
0,04	0,001 ^c	0,001 ^c
0,06	0,002 ^c	0,002 ^c
0,1	0,003 ^c	0,003 ^c
0,12	0,004 ^c	0,004 ^c
0,15	0,005 ^c	0,005 ^c
0,20	0,006 ^c	0,006 ^c
0,25	0,008 ^c	0,008 ^c
0,33	0,01	0,01
0,4	0,02	0,02
0,5	0,04	0,04
0,6	0,06	0,06
0,8	0,13	0,1
1,0	0,26	0,15
1,2	0,42	0,2
1,5	0,76	0,3
2,0	1,27	0,45
2,5	1,8	0,6
3,0	2,4	0,8
4,0	3,8	1,2
5,0	5,7	1,5
6,0	7,9	2
8,0	11,0	3
10	15,2	3,5
12	19	4,5
15	25	5,5
20	34	8
25	44	10
30	55	12,5
40	77	17
50	100	22
60		27
80		35
100		45

Table F.9 – Additional information concerning the dimensioning of clearances to avoid partial discharge

Voltage ^a (peak value) ^b kV	Minimum clearances in air up to 2 000 m above sea level	
	Case A Inhomogeneous field conditions (see 3.1.27)	As specified for case A in Table F.8
	mm	
0,04		As specified for case A in Table F.8
0,06		
0,1		
0,12		
0,15		
0,2		
0,25		
0,33		
0,4		
0,5		
0,6		
0,8		
1,0		
1,2		
1,5		
2,0		
2,5	2,0	
3,0	3,2	
4,0	11	
5,0	24	
6,0	64	
8,0	184	
10	290	
12	320	
15		^c
20		
25		
30		
40		
50		
60		
80		
100		

NOTE If **clearances** are stressed with **steady-state peak voltages** of 2,5 kV and above, dimensioning according to the breakdown values in Table F.8 cannot provide operation without corona (**partial discharges**), especially for **inhomogeneous fields**. In order to provide corona-free operation, it is either preferable to use larger **clearances**, as given in Table F.9, or to improve the field distribution.

- ^a The **clearances** for other voltages are obtained by interpolation.
- ^b See Figure 1 for **steady-state peak voltage** and **recurring peak voltage**.
- ^c These values are based on experimental data obtained at atmospheric pressure.

NOTE If **clearances** are stressed with **steady-state peak voltages** of 2,5 kV and above, dimensioning according to the breakdown values in Table F.8 cannot provide operation without corona (**partial discharges**), especially for **inhomogeneous fields**. In order to provide corona-free operation, it is either preferable to use larger **clearances**, as given in Table F.9, or to improve the field distribution.

- ^a The **clearances** for other voltages are obtained by interpolation.
- ^b See Figure 1 for **steady-state peak voltage** and **recurring peak voltage**.
- ^c Dimensioning without **partial discharge** is not possible under **inhomogeneous field** conditions.

Table F.10 – Altitude correction factors for clearance correction

Altitude m	Factor k_d for distance correction
0	0,784
200	0,803
500	0,833
1 000	0,884
2 000	1,000

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60664-1:2020

Annex G (informative)

Determination of clearance distances according to 5.2

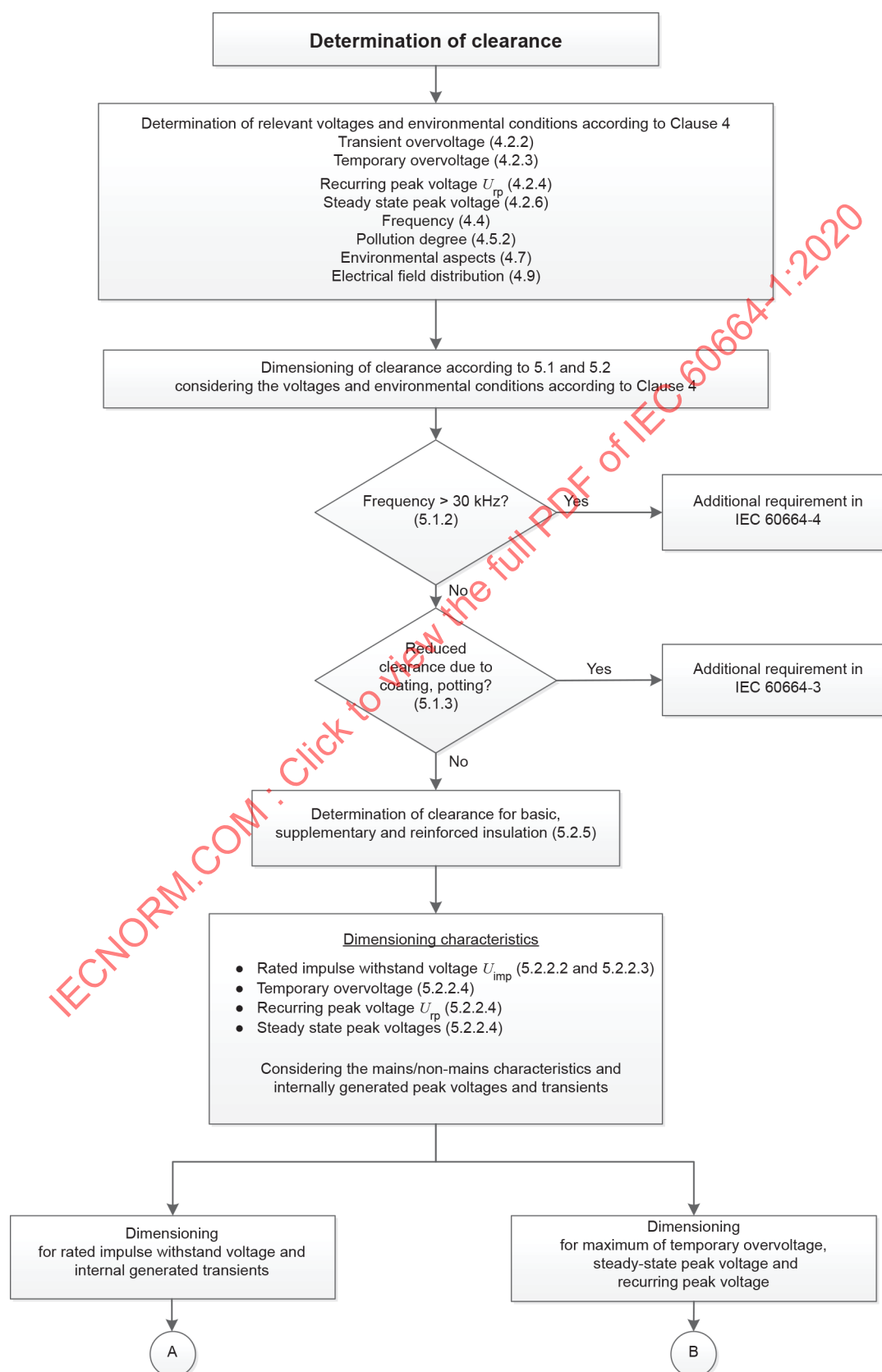
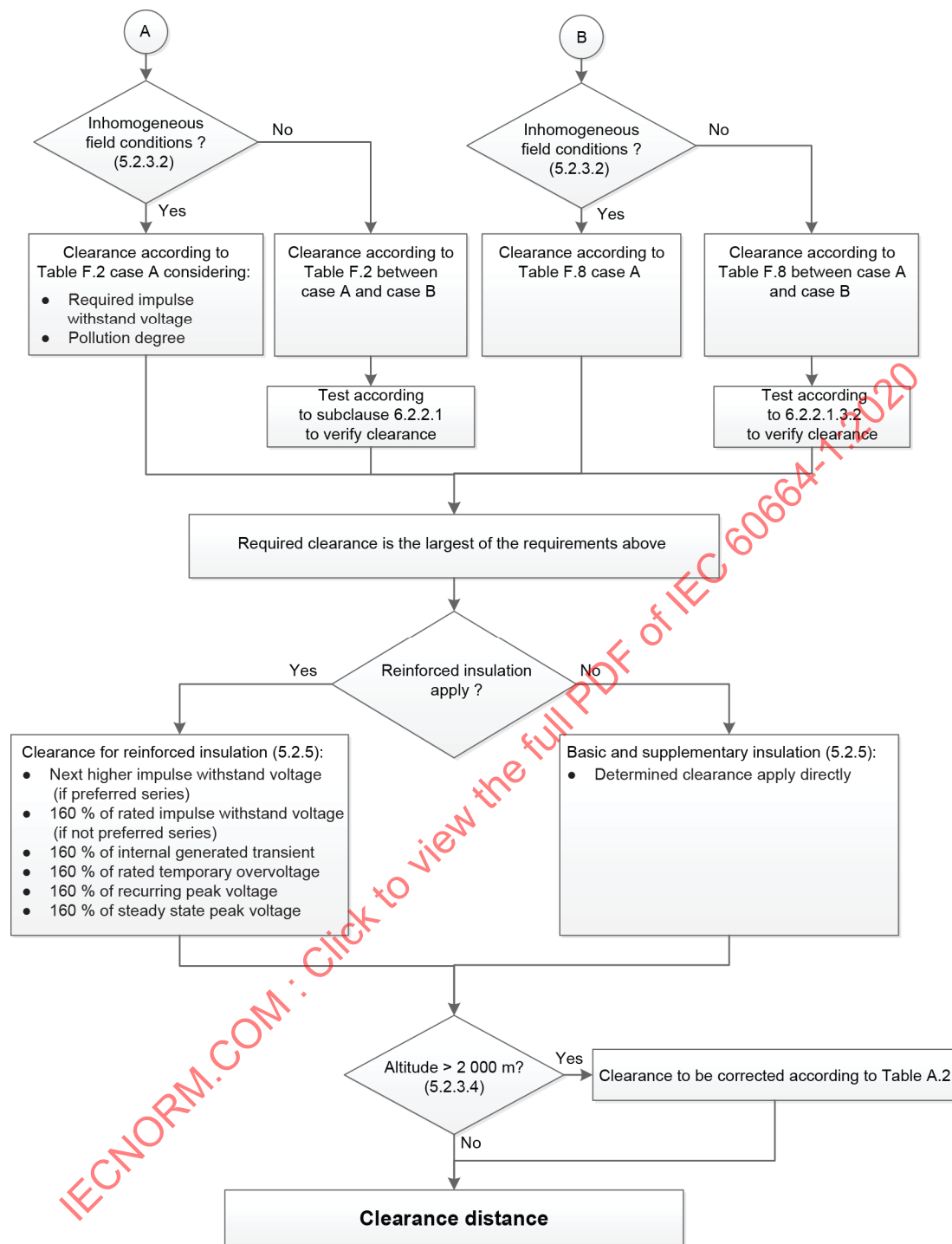


Figure G.1 – Determination of clearance distances according to 5.2 (1 of 2)



IEC

NOTE 1 This flow-chart is only informative to improve the understanding of 5.2. The mandatory requirement is given in 5.2.

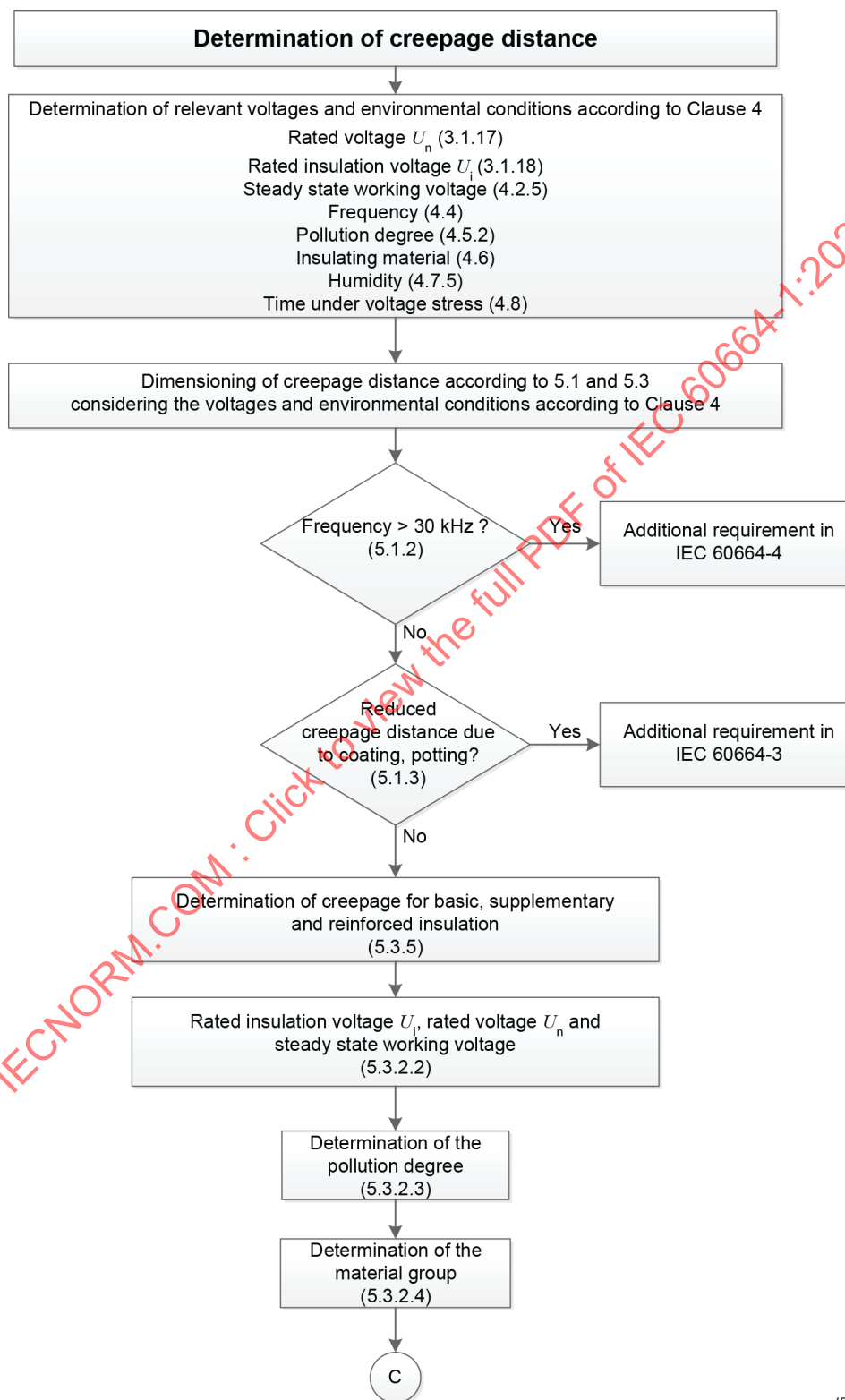
NOTE 2 Dimensioning of **functional insulation** can be determined in a similar way considering 5.2 and 5.2.4.

NOTE 3 When the requirements of IEC 60664-3 Type 1 protection are met, **pollution degree** 1 in IEC 60664-1 is applicable.

Figure G.1 – Determination of clearance distances according to 5.2 (2 of 2)

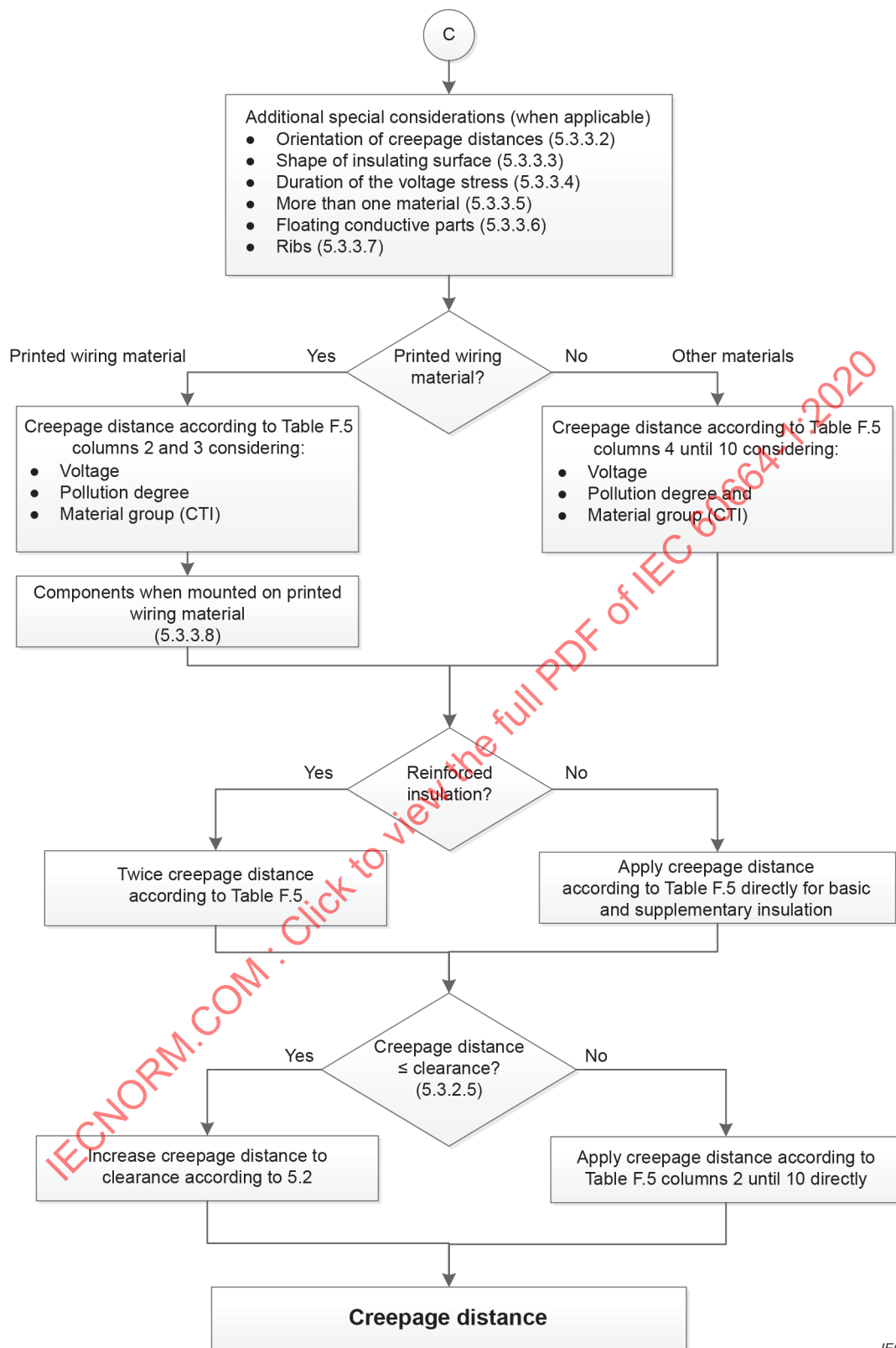
Annex H (informative)

Determination of creepage distances according to 5.3



IEC

Figure H.1 – Determination of creepage distances according to 5.3 (1 of 2)



IEC

NOTE 1 This flow-chart is only informative to improve the understanding of 5.3. The mandatory requirement is given in 5.3.

NOTE 2 Dimensioning of **functional insulation** can be determined in a similar way considering 5.3 and 5.3.4.

NOTE 3 When the requirements of IEC 60664-3 Type 1 protection are met, **pollution degree** 1 in IEC 60664-1 is applicable.

Figure H.1 – Determination of creepage distances according to 5.3 (2 of 2)

Bibliography

IEC 60038:2009, *IEC standard voltages*

IEC 60216 (all parts), *Electrical insulating materials – Thermal endurance properties*

IEC 60050-151, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 151: Electrical and magnetic devices* (available at <http://www.electropedia.org>)

IEC 60050-195, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 195: Earthing and protection against electric shock* (available at <http://www.electropedia.org>)

IEC 60050-212, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 212: Electrical insulating solids, liquids and gases* (available at <http://www.electropedia.org>)

IEC 60050-312, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 312: General terms relating to electrical measurements* (available at <http://www.electropedia.org>)

IEC 60050-442, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 442: Electrical accessories* (available at <http://www.electropedia.org>)

IEC 60050-581, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 581: Electromechanical components for electronic equipment* (available at <http://www.electropedia.org>)

IEC 60050-601, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 601: Generation, transmission and distribution of electricity – General* (available at <http://www.electropedia.org>)

IEC 60050-614, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 614: Generation, transmission and distribution of electricity – Operation* (available at <http://www.electropedia.org>)

IEC 60050-826, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 826: Electrical installations* (available at <http://www.electropedia.org>)

IEC 60050-851, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 851: Electric welding* (available at <http://www.electropedia.org>)

IEC 60050-903, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 903: Risk assessment* (available at <http://www.electropedia.org>)

IEC 60068 (all parts), *Environmental testing*

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

IEC 60085:2007, *Electrical insulation – Thermal evaluation and designation*

IEC 60112:2003, *Method for the determination of the proof and the comparative tracking indices of solid insulating materials*
IEC 60112:2003/AMD1:2009

IEC 60364-4-44:2007, *Low-voltage electrical installations – Part 4-44: Protection for safety – Protection against voltage disturbances and electromagnetic disturbances*

IEC 60364-4-44:2007/AMD1:2015

IEC 60364-4-44:2007/AMD2:2018

IEC 60529, *Degrees of protection provided by enclosures (IP Code)*

IEC TR 60664-2-1, *Insulation coordination for equipment within low-voltage systems – Part 2-1: Application guide – Explanation of the application of the IEC 60664 series, dimensioning examples and dielectric testing*

IEC 60664-3:2016, *Insulation coordination for equipment within low-voltage systems – Part 3: Use of coating, potting or moulding for protection against pollution*

IEC 60664-4:2005, *Insulation coordination for equipment within low-voltage systems – Part 4: Consideration of high-frequency voltage stress*

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

IEC 61643:2011, *Low-voltage surge protective devices*

IEC TR 63040:2016, *Guidance on clearances and creepage distances in particular for distances equal to or less than 2 mm – Test results of research on influencing parameters*

IEC GUIDE 104:2019, *The preparation of safety publications and the use of basic safety publications and group safety publications*

IEC GUIDE 116:2018, *Guidelines for safety related risk assessment and risk reduction for low voltage equipment*

ISO/IEC Guide 2:2004, *Standardization and related activities – General vocabulary*

ISO/IEC Guide 51:2014, *Safety aspects – Guidelines for their inclusion in standards*

PFEIFFER, W. *Die Stoßspannungsfestigkeit von Luftstrecken kleiner Schlagweite*. Elektrotechnische Zeitschrift B, Vol.28(1976), p. 300-302

HERMSTEIN, W. *Bemessung von Luftstrecken, Insbesondere für 50 Hz-Wechselspannung*. Elektrotechnische Zeitschrift. Vol.90(1969), p. 251-255

DAKIN, T., LUXA, G., OPPERMAN, G., VIGREUX, J., WIND, G. WINKELNKEMPER, H. *Breakdown of gases in uniform fields, paschen curves for nitrogen, air and sulfur hexafluoride*. Electra (issued by CIGRE), Vol.32(1974), p. 61-82

HARTHERZ, P., BEN YAHIA, K., MÜLLER, L., PFENDTNER, R., PFEIFFER, W. *Electrical breakdown experiments in air for micrometer gaps under various pressures*. Issued during the 9th International Symposium on Gaseous Dielectrics, Ellicott City, Maryland, USA 2001, p. 333-338

HARTHERZ, P. *Anwendung der Teilentladungsmeßtechnik zur Fehleranalyse in festen Isolierungen unter periodischer Impulsspannungsbelastung*. Dissertation TU Darmstadt; Shaker Verlag, 2002

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60664-1:2020

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	89
1 Domaine d'application	91
2 Références normatives	91
3 Termes, définitions et termes abrégés	92
3.1 Termes et définitions	92
3.2 Termes abrégés	99
4 Caractéristiques techniques principales de la coordination de l'isolement	99
4.1 Généralités	99
4.2 Tensions	100
4.2.1 Aspects généraux	100
4.2.2 Surtensions transitoires	100
4.2.3 Surtensions temporaires	101
4.2.4 Tension de crête répétitive	102
4.2.5 Tension locale en régime établi	102
4.2.6 Tension de crête en régime établi	103
4.3 Catégories de surtension	103
4.3.1 Généralités	103
4.3.2 Matériel alimenté directement par le réseau d'alimentation	103
4.3.3 Systèmes (réseaux) et matériels non alimentés directement par le réseau d'alimentation	103
4.4 Fréquence	104
4.4.1 Généralités	104
4.4.2 Isolation solide	104
4.5 Pollution	104
4.5.1 Généralités	104
4.5.2 Degrés de pollution dans le micro-environnement	104
4.5.3 Conditions de pollution conductrice	105
4.6 Matériau isolant	105
4.6.1 Isolation solide	105
4.6.2 Contraintes	105
4.6.3 Indice de résistance au cheminement (IRC)	106
4.7 Aspects environnementaux	107
4.7.1 Généralités	107
4.7.2 Altitude	107
4.7.3 Température	108
4.7.4 Vibrations	108
4.7.5 Humidité	108
4.8 Durée de la contrainte de tension	108
4.9 Distribution du champ électrique	108
5 Conception de la coordination de l'isolement	109
5.1 Généralités	109
5.1.1 Moyens pour la coordination de l'isolement	109
5.1.2 Fréquence supérieure à 30 kHz	109
5.1.3 Distances réduites dues au revêtement ou à l'empotage	109
5.1.4 Matériels non raccordés aux réseaux publics d'énergie électrique à basse tension	109

5.2	Dimensionnement des distances d'isolement	109
5.2.1	Généralités	109
5.2.2	Critères de dimensionnement pour les distances d'isolement.....	110
5.2.3	Autres facteurs impliquant les distances d'isolement	110
5.2.4	Dimensionnement des distances d'isolement de l'isolation fonctionnelle	111
5.2.5	Dimensionnement des distances d'isolement de l'isolation principale, de l'isolation supplémentaire et de l'isolation renforcée	112
5.3	Dimensionnement des lignes de fuite	112
5.3.1	Généralités	112
5.3.2	Critères de dimensionnement des lignes de fuite	113
5.3.3	Autres facteurs impliquant les lignes de fuite	114
5.3.4	Dimensionnement des lignes de fuite de l'isolation fonctionnelle.....	116
5.3.5	Dimensionnement des lignes de fuite de l'isolation principale, de l'isolation supplémentaire et de l'isolation renforcée	116
5.4	Exigences pour la conception de l'isolation solide	116
5.4.1	Généralités	116
5.4.2	Contrainte de tension	117
5.4.3	Tenue aux contraintes de tension	117
5.4.4	Tenue aux contraintes d'environnement.....	118
6	Essais et mesurages	119
6.1	Généralités	119
6.2	Vérification des distances d'isolement.....	119
6.2.1	Généralités	119
6.2.2	Tensions d'essai.....	120
6.3	Vérification des lignes de fuite	122
6.4	Vérification de l'isolation solide.....	123
6.4.1	Généralités	123
6.4.2	Choix des essais	123
6.4.3	Conditionnement	124
6.4.4	Essai de tension de choc.....	125
6.4.5	Essai en tension alternative à fréquence industrielle.....	125
6.4.6	Essai de décharge partielle.....	126
6.4.7	Essai en tension continue	128
6.4.8	Essai de tension à haute fréquence	129
6.5	Exécution des essais diélectriques sur des matériels complets	129
6.5.1	Généralités	129
6.5.2	Parties à soumettre à l'essai.....	129
6.5.3	Préparation des circuits du matériel	129
6.5.4	Valeurs de la tension d'essai	130
6.5.5	Critères d'essai.....	130
6.6	Autres essais	130
6.6.1	Essai dans un but autre que la coordination de l'isolement	130
6.6.2	Essais individuels de série et sur prélèvement.....	130
6.6.3	Exactitude de mesure des paramètres d'essai	130
6.7	Mesurage de l'affaiblissement des surtensions transitoires	131
6.8	Mesurage des distances d'isolement et des lignes de fuite	131
Annexe A (informative) Données fondamentales des caractéristiques de tenue des distances d'isolement.....		136
Annexe B (informative) Tensions nominales des réseaux d'alimentation pour différents modes de contrôle des surtensions		141

Annexe C (normative) Méthodes d'essai de décharge partielle	143
C.1 Circuits d'essai	143
C.1.1 Généralités	143
C.1.2 Circuit d'essai pour spécimen d'essai relié à la terre (Figure C.1)	143
C.1.3 Circuit d'essai pour spécimen d'essai non relié à la terre (Figure C.2)	144
C.1.4 Critères de sélection	144
C.1.5 Impédance de mesure	144
C.1.6 Condensateur de couplage C_k	144
C.1.7 Filtre	144
C.2 Paramètres d'essai	145
C.2.1 Généralités	145
C.2.2 Exigences relatives à la tension d'essai	145
C.2.3 Conditions climatiques	145
C.3 Exigences relatives aux appareils de mesure	145
C.3.1 Généralités	145
C.3.2 Classification des appareils de mesure de DP	145
C.3.3 Bande passante du circuit d'essai	146
C.4 Étalonnage	146
C.4.1 Étalonnage de la grandeur de décharge avant mesurage du niveau de bruit	146
C.4.2 Vérification du niveau de bruit	147
C.4.3 Étalonnage pour l'essai de DP	148
C.4.4 Générateur d'impulsions d'étalonnage	148
Annexe D (informative) Informations complémentaires sur les méthodes d'essai de décharge partielle	149
D.1 Mesurage de la décharge partielle (DP), de la tension de seuil de DP et de la tension d'extinction de DP	149
D.2 Description des circuits d'essai de décharge partielle (Figure D.1)	149
D.3 Précautions à prendre pour la réduction du bruit	150
D.3.1 Généralités	150
D.3.2 Sources dans le circuit d'essai en état de repos	150
D.3.3 Sources dans le circuit d'essai sous tension	150
D.3.4 Mesures à prendre pour la réduction du bruit	150
D.4 Application des facteurs de multiplication aux tensions d'essai	151
D.4.1 Généralités	151
D.4.2 Exemple 1 (circuit connecté au réseau d'alimentation)	151
D.4.3 Exemple 2 (Circuit interne avec tension de crête répétitive maximale U_{rp})	151
Annexe E (informative) Comparaison entre les lignes de fuite du Tableau F.5 et les distances d'isolement du Tableau A.1	152
Annexe F (normative) Tableaux	153
Annexe G (informative) Détermination des distances d'isolement selon 5.2	162
Annexe H (informative) Détermination des lignes de fuite selon 5.3	164
Bibliographie	166
Figure 1 – Tension de crête répétitive	102
Figure 2 – Détermination de la largeur (W) et de la hauteur (H) d'une nervure	115
Figure 3 – Tensions d'essai	127

Figure 4 – Au-dessus de la rainure	132
Figure 5 – Contour de la rainure	132
Figure 6 – Contour de la rainure avec angle	132
Figure 7 – Contour de la nervure	133
Figure 8 – Joint non collé avec des rainures de largeur inférieure à X	133
Figure 9 – Joint non collé avec des rainures de largeur égale ou supérieure à X	133
Figure 10 – Joint non collé avec d'un côté une rainure de largeur inférieure à X	134
Figure 11 – Ligne de fuite et distance d'isolement à travers un joint non collé.....	134
Figure 12 – Ligne de fuite et distance d'isolement par rapport à une tête de vis de largeur supérieure à X	134
Figure 13 – Ligne de fuite et distance d'isolement par rapport à une tête de vis de largeur inférieure à X	135
Figure 14 – Ligne de fuite et distance d'isolement avec une partie conductrice flottante	135
Figure A.1 – Tension de tenue à 2 000 m au-dessus du niveau de la mer.....	138
Figure A.2 – Valeurs expérimentales mesurées approximativement au niveau de la mer avec leurs limites inférieures pour les champs hétérogènes.....	139
Figure A.3 – Valeurs expérimentales mesurées approximativement au niveau de la mer avec leurs limites inférieures pour les champs homogènes	140
Figure C.1 – Spécimen d'essai relié à la terre.....	143
Figure C.2 – Spécimen d'essai non relié à la terre	144
Figure C.3 – Étalonnage d'un spécimen d'essai relié à la terre	147
Figure C.4 – Étalonnage d'un spécimen d'essai non relié à la terre	147
Figure D.1 – Circuits d'essai de décharge partielle	149
Figure E.1 – Comparaison entre les lignes de fuite spécifiées du Tableau F.5 et les distances d'isolement du Tableau A.1.....	152
Figure G.1 – Détermination des distances d'isolement selon 5.2 (1 sur 2).....	162
Figure H.1 – Détermination des lignes de fuite selon 5.3 (1 sur 2)	164
Tableau 1 – Dimensionnement des rainures.....	131
Tableau A.1 – Tensions de tenue pour une altitude de 2 000 m au-dessus du niveau de la mer	136
Tableau A.2 – Facteurs de correction de l'altitude pour la correction des distances d'isolement.....	137
Tableau B.1 – Situation naturelle ou situation contrôlée équivalente	141
Tableau B.2 – Cas où une situation contrôlée est nécessaire et où le contrôle est procuré par des dispositifs de protection contre les surtensions dont le rapport du niveau de protection de la tension à la tension assignée n'est pas inférieur à celui spécifié dans l'IEC 61643 (toutes les parties).....	142
Tableau F.1 – Tension assignée de tenue aux chocs pour les matériels alimentés directement par le réseau d'alimentation.....	153
Tableau F.2 – Distances d'isolement pour supporter les surtensions transitoires	154
Tableau F.3 – Réseaux monophasés 3 fils ou 2 fils en courant alternatif ou continu	155
Tableau F.4 – Réseaux alternatifs triphasés 4 fils ou 3 fils.....	156
Tableau F.5 – Lignes de fuite pour éviter les défaillances dues au cheminement (1 sur 2).....	157
Tableau F.6 – Tensions d'essai pour vérifier les distances d'isolement à différentes altitudes.....	159

Tableau F.7 – Sévérités pour le conditionnement de l'isolation solide	159
Tableau F.8 – Dimensionnement des distances d'isolement pour résister aux tensions de crête en régime établi, aux surtensions temporaires ou aux tensions de crête répétitives ^b	160
Tableau F.9 – Informations complémentaires pour le dimensionnement des distances d'isolement pour éviter les décharges partielles	160
Tableau F.10 – Facteurs de correction d'altitude pour la correction des distances d'isolement	161

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60664-1:2020

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**COORDINATION DE L'ISOLEMENT DES MATÉRIELS DANS LES RÉSEAUX
D'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE À BASSE TENSION –****Partie 1: Principes, exigences et essais****AVANT-PROPOS**

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

La Norme internationale IEC 60664-1 a été établie par le comité d'études 109 de l'IEC: Coordination de l'isolement pour le matériel à basse tension.

Cette troisième édition annule et remplace la deuxième édition parue en 2007. Cette édition constitue une révision technique.

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

- a) mise à jour du Domaine d'application et des Articles 2 et 3,
- b) nouvelle structure pour les Articles 4 et 5,
- c) ajout de 1 500 V en courant continu dans les tableaux dans Annexe B et F,

- d) mise à jour de la correction de l'altitude des distances dans un nouveau Tableau F.10,
- e) ajout d'une Annexe G avec un organigramme relatif aux distances d'isolement,
- f) ajout d'une Annexe H avec un organigramme relatif aux lignes de fuite.

Elle a le statut d'une publication fondamentale de sécurité conformément au Guide 104 de l'IEC.

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

FDIS	Rapport de vote
109/183/FDIS	109/186/RVD

Le rapport de vote indiqué dans le tableau ci-dessus donne toute information sur le vote ayant abouti à l'approbation de la présente Norme internationale.

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

Ce document a été rédigé selon les Directives ISO/IEC, Partie 2.

Une liste de toutes les parties de la série IEC 60664, publiées sous le titre général *Coordination de l'isolement des matériels dans les réseaux d'énergie électrique à basse tension*, peut être consultée sur le site web de l'IEC.

Les futures normes de cette série porteront dorénavant le nouveau titre général cité ci-dessus. Le titre des normes existant déjà dans cette série sera mis à jour lors de la prochaine édition.

Dans le présent document, les caractères d'imprimerie suivants sont employés:

– **termes qui sont définis à l'Article 3: en gras.**

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

- reconduit,
- supprimé,
- remplacé par une édition révisée, ou
- amendé.

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.

Le contenu du corrigendum d'octobre 2020 a été pris en considération dans cet exemplaire.

COORDINATION DE L'ISOLEMENT DES MATÉRIELS DANS LES RÉSEAUX D'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE À BASSE TENSION –

Partie 1: Principes, exigences et essais

1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 60664 traite de la **coordination de l'isolement** des matériels ayant une **tension assignée** allant jusqu'à 1 000 V en courant alternatif ou jusqu'à 1 500 V en courant continu connectés aux **réseaux d'énergie électrique à basse tension**.

Le présent document s'applique aux fréquences jusqu'à 30 kHz inclus.

NOTE 1 Les exigences de **coordination de l'isolement** des matériels dans les **réseaux d'énergie électrique à basse tension** dont les fréquences assignées sont supérieures à 30 kHz sont données dans l'IEC 60664-4.

NOTE 2 Des tensions plus élevées peuvent exister dans les circuits internes des matériels.

Il s'applique au matériel utilisé jusqu'à 2 000 m au-dessus du niveau de la mer, et fournit des recommandations pour l'utilisation à des altitudes plus élevées (Voir 5.2.3.4).

Il définit les exigences permettant aux comités d'études de déterminer les **distances d'isolement**, les **lignes de fuite** et les critères pour l'**isolation solide**. Il comprend les méthodes d'essais diélectriques concernant la **coordination de l'isolement**.

Les **distances d'isolement** minimales spécifiées dans le présent document ne s'appliquent pas en présence de gaz ionisés. Les exigences particulières dans de telles conditions peuvent être spécifiées, comme ils l'entendent, par les comités d'études compétents.

Le présent document ne traite pas des distances:

- à travers l'isolation liquide;
- à travers les gaz autres que l'air;
- à travers l'air comprimé.

La présente publication fondamentale de sécurité reposant sur des exigences essentielles de sécurité est avant tout destinée à être utilisée par les comités d'études dans le cadre de l'élaboration de normes conformément aux principes établis dans le Guide IEC 104 et le Guide ISO/IEC 51.

L'une des responsabilités d'un comité d'études consiste, le cas échéant, à utiliser les publications fondamentales de sécurité dans le cadre de l'élaboration de ses publications.

Cependant, en l'absence de valeurs spécifiées pour les **distances d'isolement**, les **lignes de fuite** et les exigences pour les **isolations solides** dans les normes de produits applicables, ou même en l'absence de normes, le présent document s'applique.

2 Références normatives

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

IEC 60068-2-2, *Essais d'environnement – Partie 2-2: Essais – Essai B: Chaleur sèche*

IEC 60068-2-14:2009, *Essais d'environnement – Partie 2-14: Essais – Essai N: Variation de température*

IEC 60068-2-78, *Essais d'environnement – Partie 2-78: Essais – Essai Cab: Chaleur humide, essai continu*

IEC 60270, *Techniques des essais à haute tension – Mesures des décharges partielles*

IEC 61140:2016, *Protection contre les chocs électriques – Aspects communs aux installations et aux matériels*

IEC 61180:2016, *Techniques des essais à haute tension pour matériel à basse tension – Définitions, exigences et modalités relatives aux essais, matériel d'essai*

3 Termes, définitions et termes abrégés

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

L'ISO et l'IEC tiennent à jour des bases de données terminologiques destinées à être utilisées en normalisation, consultables aux adresses suivantes:

- IEC Electropedia: disponible à l'adresse <http://www.electropedia.org/>
- ISO Online browsing platform: disponible à l'adresse <http://www.iso.org/obp>

3.1 Termes et définitions

3.1.1

réseau d'énergie électrique à basse tension

ensemble d'ouvrages et de matériels destiné à produire, transporter et distribuer de l'énergie électrique

[SOURCE: IEC 60050-601:1985, 601-01-01, modifiée – Le terme "réseau d'énergie électrique" a été remplacé par "réseau d'énergie électrique à basse tension".]

3.1.2

réseau d'alimentation (secteur)

système de distribution de l'alimentation en courant alternatif ou en courant continu (externe aux matériels) qui fournit une alimentation fonctionnelle aux matériels

Note 1 à l'article: Le **réseau d'alimentation** inclut les services publics ou privés et, sauf spécification contraire dans le présent document, des sources équivalentes comme des générateurs à moteur et des alimentations sans interruption.

3.1.3

coordination de l'isolement

correspondance mutuelle des caractéristiques d'isolement du matériel électrique en tenant compte du **micro-environnement** prévu et des autres contraintes ayant une influence

Note 1 à l'article: Les contraintes de tension prévues sont caractérisées en matière de caractéristiques définies de 3.1.7 à 3.1.16.

[SOURCE: IEC 60050-442:2014, 442-09-01, modifiée – la Note 1 à l'article a été ajoutée.]

3.1.4**distance d'isolement**

plus petite distance dans l'air entre deux parties conductrices

[SOURCE: IEC 60050-581:2008, 581-27-76]

3.1.5**ligne de fuite**

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

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

3.1.6**isolation solide**

matériau isolant solide, ou combinaison de matériaux isolants solides, placé entre deux parties conductrices ou entre une partie conductrice et une partie du corps

[SOURCE: IEC 60050-903:2015, 903-04-14, modifiée – l'exemple a été supprimé.]

3.1.7**tension locale**

valeur efficace la plus élevée de la tension en courant alternatif ou continu qui peut apparaître à travers n'importe quelle isolation lorsqu'un matériel est alimenté sous la **tension assignée**

Note 1 à l'article: Les **surtensions transitoires** sont négligées.

Note 2 à l'article: Il est tenu compte à la fois des conditions à vide et des conditions normales de fonctionnement.

[SOURCE: IEC 60050-851:2008, 851-12-31]

3.1.8**tension locale en régime établi**

tension locale après que le phénomène de **surtension transitoire** a cessé et qui ne prend pas en compte les variations de tension à court terme

3.1.9**tension de crête en régime établi**

valeur de crête de la **tension locale en régime établi**

3.1.10**tension de crête répétitive**

U_{rp}

valeur de crête maximale des excursions périodiques de la forme d'onde de tension résultant des déformations d'une tension en AC ou de composantes en AC superposées à la tension en DC

Note 1 à l'article: Les **surtensions** aléatoires dues par exemple à des manœuvres occasionnelles ne sont pas considérées comme des tensions de crête répétitive.

[SOURCE: IEC 60050-442:2014, 442-09-15]

3.1.11**surtension**

<dans un système électrique> toute tension ayant une valeur de crête dépassant la valeur de crête correspondante de la **tension locale** maximale **en régime établi** dans les conditions normales de fonctionnement

3.1.12

surtension temporaire

surtension à fréquence industrielle de durée relativement longue

[SOURCE: IEC 60050-614:2016, 614-03-13, modifiée – la Note 1 à l'article a été supprimée.]

3.1.13

surtension transitoire

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

[SOURCE: IEC 60050-614:2016, 614-03-14, modifiée – "surtension d'une durée" a été remplacé par "surtension de courte durée" et les notes ont été supprimées.]

3.1.14

tension de tenue

<dans un système électrique> tension à appliquer à une éprouvette dans des conditions d'essai spécifiées et qui ne produit pas de claquage de l'isolation et/ou de **contournement** d'une éprouvette satisfaisante

3.1.15

tension de tenue aux chocs

valeur de crête la plus élevée d'une tension de choc, de forme et de polarité spécifiées, qui ne provoque pas de claquage dans des conditions d'essai spécifiées

[SOURCE: IEC 60050-442:2014, 442-09-18, modifiée – "prescrites" a été remplacé par "spécifiées".]

3.1.16

tension de tenue aux surtensions temporaires

valeur efficace la plus élevée d'une **surtension temporaire** qui ne provoque pas de claquage de l'isolation dans des conditions spécifiées

[SOURCE: IEC 60050-442:2014, 442-09-19]

3.1.17

tension assignée

U_n

<des matériels> valeur de la tension, fixée par le fabricant à un composant, à un dispositif ou à un matériel et à laquelle on se réfère pour le fonctionnement et pour les caractéristiques fonctionnelles

Note 1 à l'article: Les matériels peuvent avoir plusieurs valeurs ou une plage de **tensions assignées**.

[SOURCE: IEC 60050-442:2014, 442-09-10, modifiée – "valeur assignée de la tension" a été remplacé par "valeur de la tension" et la Note 2 à l'article a été supprimée.]

3.1.18

tension assignée d'isolement

U_i

valeur de la **tension de tenue** efficace fixée par le fabricant aux matériels ou à une partie d'entre eux, caractérisant la capacité de tenue spécifiée (à long terme) de son isolation

Note 1 à l'article: La **tension assignée d'isolement** est égale ou supérieure à la **tension assignée** des matériels qui est principalement liée aux caractéristiques fonctionnelles.

[SOURCE: IEC 60050-312:2014, 312-06-02, modifiée – le symbole a été ajouté, "valeur assignée" a été remplacé par "valeur" dans la définition et "n'est pas nécessairement égale à" a été remplacé par "est égale ou supérieure à" dans la note.]

3.1.19**tension assignée de tenue aux chocs** U_{imp}

valeur de **tension assignée de tenue aux chocs** fixée par le fabricant aux matériels ou à une partie d'entre eux, caractérisant la capacité de tenue spécifiée de son isolation contre des **surtensions transitoires**

3.1.20**catégorie de surtension**

chiffre définissant une condition de **surtension transitoire**

Note 1 à l'article: Les **catégories de surtension** I, II, III, IV sont utilisées, voir 4.3.2.

[SOURCE: IEC 60050-581:2008, 581-21-02, modifiée – la Note 1 à l'article a été ajoutée.]

3.1.21**environnement**

<d'un système électrique> environnement qui peut influencer sur le fonctionnement d'un dispositif ou d'un système

EXEMPLE Pression, température, humidité, **pollution**, rayonnements et vibrations.

3.1.22**macro-environnement**

environnement de la pièce ou de tout autre endroit dans lequel le matériel est installé ou utilisé

[SOURCE: IEC 60050-442:2014, 442-01-55]

3.1.23**micro-environnement**

<d'un système électrique> conditions ambiantes qui influencent immédiatement le dimensionnement de la **distance d'isolement** et des **lignes de fuite**

3.1.24**pollution**

<d'un système électrique> toute condition de matériau étranger solide, liquide ou gazeux (gaz ionisés) qui peut affecter la rigidité diélectrique ou la résistivité de surface

3.1.25**degré de pollution**

chiffre caractérisant la **pollution** prévue du **micro-environnement**

[SOURCE: IEC 60050-581:2008, 581-21-07, modifiée – la Note 1 à l'article a été supprimée.]

3.1.26**champ homogène**

champ électrique dont le gradient de tension est essentiellement constant entre les électrodes

Note 1 à l'article: Une condition de **champ homogène** est intitulée cas B dans le Tableau F.2 et dans le Tableau F.8. Voir également 4.9.

3.1.27

champ hétérogène

champ non uniforme

champ électrique dont le gradient de tension entre électrodes n'est pas essentiellement constant

Note 1 à l'article: Voir également 4.9.

[SOURCE: IEC 60050-442:2014, 442-09-03, modifiée – "champ électrique hétérogène" a été remplacé par "champ hétérogène", la Note 1 à l'article a été remplacée par une nouvelle Note 1 à l'article et la Note 2 à l'article a été supprimée.]

3.1.28

isolant électrique

partie d'un produit électrotechnique qui sépare les pièces conductrices portées à des potentiels différents au cours du fonctionnement ou isole ces pièces de l'environnement

[SOURCE: IEC 60050-212:2010, 212-11-07, modifiée – Ne s'applique qu'à l'anglais.]

3.1.29

isolation fonctionnelle

isolation entre parties conductrices qui est uniquement nécessaire pour le bon fonctionnement du matériel

[SOURCE: IEC 60050-195:1998, 195-02-41, modifiée – "nécessaire" a été remplacé par "qui est uniquement nécessaire"]

3.1.30

isolation principale

isolation des parties actives dangereuses qui assure la protection principale

Note 1 à l'article: Cette notion n'est pas applicable à l'isolation exclusivement utilisée à des fins fonctionnelles.

[SOURCE: IEC 60050-826:2004, 826-12-14]

3.1.31

isolation supplémentaire

isolation indépendante prévue, en plus de l'**isolation principale**, en tant que protection en cas de défaut

[SOURCE: IEC 60050-826:2004, 826-12-15]

3.1.32

double isolation

isolation comprenant à la fois une **isolation principale** et une **isolation supplémentaire**

[SOURCE: IEC 60050-826:2004, 826-12-16]

3.1.33

isolation renforcée

isolation des parties actives dangereuses assurant un degré de protection contre les chocs électriques équivalent à celui d'une **double isolation**

Note 1 à l'article: L'**isolation renforcée** peut comporter plusieurs couches qui ne peuvent pas être soumises à l'essai séparément en tant qu'**isolation principale** ou **isolation supplémentaire**.

[SOURCE: IEC 60050-826:2004, 826-12-17]

3.1.34**décharge partielle****DP**

décharge électrique qui court-circuite partiellement l'isolation

Note 1 à l'article: Une **décharge partielle** peut se produire au sein même de l'isolation, ou à partir d'un conducteur.

Note 2 à l'article: Les scintillations de faible énergie à la surface de matériaux isolants sont souvent décrites comme des **décharges partielles**, mais il convient plutôt de les considérer comme des décharges disruptives de faible énergie, étant donné qu'elles sont le résultat de claquages diélectriques locaux de haute densité d'ionisation, ou de petits arcs, selon les conventions de la physique.

[SOURCE: IEC 60050-442:2014, 442-09-05, modifiée – les Notes 1 et 2 à l'article ont été ajoutées.]

3.1.35**charge apparente** q_{app}

charge électrique qu'il est possible de mesurer à la borne du spécimen en essai

Note 1 à l'article: La **charge apparente** est inférieure à la **décharge partielle**.

Note 2 à l'article: La mesure de la **charge apparente** nécessite un état de court-circuit aux bornes du spécimen en essai (voir l'Article D.2).

[SOURCE: IEC 60050-442:2014, 442-09-06, modifiée – ajout de "(voir l'Article D.2)" à la Note 2 à l'article]

3.1.36**grandeur de décharge spécifiée**

grandeur de la **charge apparente** lorsqu'elle est considérée comme la valeur limite

Note 1 à l'article: Il convient d'évaluer l'impulsion d'amplitude maximale.

[SOURCE: IEC 60050-442:2014, 442-09-07]

3.1.37**fréquence de répétition d'impulsions**

nombre moyen d'impulsions par seconde, avec une **charge apparente** supérieure au niveau de détection

Note 1 à l'article: Dans le cadre du présent document, il n'est pas permis de pondérer les grandeurs de décharge en fonction de la **fréquence de répétition d'impulsions**.

3.1.38**tension de seuil de décharge partielle**

plus faible valeur de crête de la tension d'essai à laquelle la **charge apparente** est supérieure à la **grandeur de décharge spécifiée**, si la tension d'essai est augmentée à partir d'une faible valeur pour laquelle aucune décharge ne se produit

Note 1 à l'article: Pour les essais en courant alternatif, il est également possible d'utiliser la valeur efficace.

[SOURCE: IEC 60050-212:2014, 212-11-41]

3.1.39**tension d'extinction de décharge partielle**

<d'un système électrique> plus faible valeur de crête de la tension d'essai à laquelle la **charge apparente** est inférieure à la **grandeur de décharge spécifiée**, si la tension d'essai est diminuée à partir d'une valeur élevée où de telles décharges sont susceptibles de se produire

Note 1 à l'article: Pour les essais en courant alternatif, il est également admis d'utiliser la valeur efficace.

3.1.40

tension d'extinction de décharge partielle

valeur de crête de la tension lors d'un essai d'extinction de **décharge partielle**, à laquelle la **charge apparente** est inférieure à la **grandeur de décharge spécifiée**

Note 1 à l'article: Pour les essais en courant alternatif, il est également admis d'utiliser la valeur efficace.

[SOURCE: IEC 60050-212:2014, 212-11-62, modifiée – la Note 1 à l'article a été supprimée, la Note 2 à l'article a été renumérotée en Note 1 à l'article.]

3.1.41

essai de type

<d'un système électrique> essai effectué sur un ou plusieurs dispositifs représentatifs d'une conception donnée pour vérifier la conformité aux spécifications

3.1.42

essai individuel de série

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

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

3.1.43

essai de série sur prélèvement

essai effectué sur un certain nombre de dispositifs prélevés au hasard dans un lot

[SOURCE: IEC 60050-411:1996, 411-53-05, modifiée – "machines" a été remplacé par "dispositifs".]

3.1.44

claquage électrique

défaillance de l'isolation en cas de contrainte électrique lorsque la décharge court-circuite complètement l'isolation, réduisant pratiquement à zéro la tension entre les électrodes

3.1.45

amorçage

<d'un système électrique> **claquage électrique** dans un milieu liquide ou gazeux

3.1.46

contournement

claquage électrique entre des conducteurs dans un gaz, un liquide ou le vide, au moins en partie le long de la surface d'une **isolation solide**

[SOURCE: IEC 60050-212:2010, 212-11-47]

3.1.47

perforation

claquage électrique à travers une **isolation solide**

[SOURCE: IEC 60050-614:2016, 614-03-17, modifiée – – "décharge disruptive" a été remplacé par "claquage électrique" et "un diélectrique" a été remplacé par "une isolation".]

3.2 Termes abrégés

Liste des termes avec leur forme abrégée et symbole ainsi que la référence de la fiche terminologique correspondante:

Terme abrégé/Symbole	Terme	Référence de la fiche terminologique
U_n	tension assignée	3.1.17
U_i	tension assignée d'isolement	3.1.18
U_{imp}	tension assignée de tenue aux chocs	3.1.19
U_{rp}	tension de crête répétitive	3.1.10
q_{app}	charge apparente	3.1.35
DP	décharge partielle	3.1.34

4 Caractéristiques techniques principales de la coordination de l'isolement

4.1 Généralités

La **coordination de l'isolement** exige de choisir des caractéristiques techniques de l'**isolant électrique** du matériel adaptées à sa mise en œuvre, à son environnement et à ses conditions d'environnement.

La **coordination de l'isolement** est un des aspects de la sécurité des personnes, des animaux et des biens, afin que la probabilité de risque d'incidents dus aux contraintes de tension ne conduise pas à un risque de dommage inacceptable.

Le présent document traite de la **coordination de l'isolement** pour tout type de danger. Les comités d'études doivent tenir compte des concepts de **distances d'isolement**, de **lignes de fuite** et d'**isolation solide** ainsi que des concepts d'**isolation fonctionnelle**, d'**isolation principale**, d'**isolation supplémentaire**, de **double isolation** et d'**isolation renforcée** pour les dangers spécifiques en tenant compte de la nature du danger.

Les comités d'études doivent effectuer une appréciation du risque afin d'identifier le danger en cas de défaillance de l'**isolation fonctionnelle**. Dans le cas où une défaillance de l'**isolation fonctionnelle** est susceptible de créer un risque de dommage inacceptable (par exemple du fait des conditions mécaniques ou de la tenue au vieillissement), l'**isolation fonctionnelle** doit au minimum être conçue conformément aux exigences de l'**isolation principale**. Une autre appréciation du risque est ensuite effectuée pour apprécier le risque résiduel. Voir 5.2 à 5.4. Dans le cas où une défaillance de l'**isolation fonctionnelle** ne crée aucun danger, le comité d'études peut choisir de ne pas appliquer les exigences de la présente publication fondamentale de sécurité.

NOTE Voir le Guide 51 de l'ISO/IEC et le Guide 116 de l'IEC pour des détails supplémentaires relatifs à l'appréciation du risque et au risque de dommage inacceptable.

Les caractéristiques techniques de l'**isolant électrique** couvrent:

- les tensions selon l'isolation conformément au 4.2;
- les **catégories de surtension** selon 4.3;
- la fréquence selon 4.4;
- le **degré de pollution** selon 4.5;
- les matériaux d'isolation selon 4.6;
- les aspects environnementaux selon 4.7 (par exemple l'altitude, voir 4.7.2, la température, voir 4.7.3, les vibrations, voir 4.7.4, l'humidité, voir 4.7.5, la durée, voir 4.8);
- la distribution du champ selon 4.9.

La **coordination de l'isolement** peut uniquement être réalisée à la condition que la conception du matériel prenne en compte les contraintes auxquelles celui-ci sera soumis pendant sa durée de vie prévue.

4.2 Tensions

4.2.1 Aspects généraux

Lors de l'étude des performances d'isolement, les aspects suivants sont applicables:

- les tensions qui peuvent apparaître dans le système:
 - les **surtensions transitoires** selon 4.2.2 et la **catégorie de surtension** selon 4.3;
 - les **surtensions temporaires** selon 4.2.3.
- les tensions produites par le matériel (qui sont susceptibles d'endommager d'autres matériels dans le système):
 - les **surtensions transitoires** selon 4.2.2;
 - la **tension de crête répétitive** selon 4.2.4;
 - la **tension locale en régime établi** selon 4.2.5;
 - la **tension de crête en régime établi** selon 4.2.6.

4.2.2 Surtensions transitoires

4.2.2.1 Généralités

Afin d'appliquer le concept de **coordination de l'isolement**, la **surtension transitoire** doit être prise en compte. Les **surtensions transitoires** qui doivent être prises en compte sont:

- les **surtensions transitoires** générées par des perturbations atmosphériques (par exemple les éclairs indirects) et transmises par le système de distribution du **réseau d'alimentation**;
- les **surtensions transitoires** générées par la manœuvre des charges dans le **réseau d'alimentation**;
- les **surtensions transitoires** générées par des circuits externes;
- les **surtensions transitoires** générées dans le matériel.

La **coordination de l'isolement** est fondée sur une série préférentielle de valeurs de tension de choc. Les tensions de choc préférentielles sont:

330 V, 500 V, 800 V, 1 500 V, 2 500 V, 4 000 V, 6 000 V, 8 000 V, 12 000 V.

La **coordination de l'isolement** relative aux **surtensions transitoires** est fondée sur des situations de maîtrise des **surtensions**. Il y a deux sortes de situations:

- situation naturelle: situation d'un système (réseau) électrique où du fait des caractéristiques mêmes du système (réseau) il peut être attendu que les **surtensions transitoires** présumées soient inférieures à un niveau défini;
- situation contrôlée: situation d'un système (réseau) électrique où du fait des moyens spécifiques de réduction des **surtensions** il peut être attendu que les **surtensions transitoires** présumées soient inférieures à un niveau défini.

Voir également le Tableau B.1 et le Tableau B.2.

4.2.2.2 Surtensions transitoires entrant par le réseau d'alimentation

Afin de déterminer les tensions transitoires prévues générées par des perturbations atmosphériques ou par la manœuvre des charges dans le **réseau d'alimentation**, la **tension assignée** (U_n) et la **catégorie de surtension** sont généralement utilisées comme base afin de déterminer la **tension de tenue aux chocs** exigée.

Pour les matériels soumis aux **surtensions transitoires** dépassant la **tension de tenue aux chocs**, ces **surtensions transitoires** doivent être prises en compte.

4.2.2.3 Surtensions transitoires générées par des circuits externes

La valeur applicable de la **surtension transitoire** qui peut se produire sur tout circuit externe (par exemple câble coaxial ou réseaux à paires torsadées) doit être définie. Lorsque plusieurs circuits externes sont présents, la **surtension transitoire** la plus élevée s'applique.

Si les **surtensions transitoires** sont supérieures à celle de la **catégorie de surtension** définie généralement pour ce genre de matériel, la valeur la plus élevée de ces **surtensions transitoires** connues doit être utilisée.

4.2.2.4 Surtensions transitoires générées dans le matériel

Pour le matériel pouvant générer une **surtension** supérieure aux tensions transitoires prévues pour se produire dans le matériel, par exemple du fait des appareils de connexion, la tension de choc exigée doit prendre en compte la tension transitoire générée dans le matériel. La valeur de ces **surtensions transitoires** générées dans le matériel doit être utilisée sans tenir compte de la liste préférentielle de 4.2.2.1.

4.2.2.5 Affaiblissement des niveaux de surtension transitoire

Les matériels ou les parties de matériels peuvent être utilisés sous conditions lorsque les tensions transitoires sont réduites. Différentes technologies de composants existent, comme les dispositifs de protection contre les surtensions (SPD - *surge protective device*), transformateurs, condensateur, résistance, et peuvent avoir des comportements différents selon l'affaiblissement de la **surtension transitoire**. Ces différentes technologies doivent être vérifiées et la méthode de mesure de la propagation doit être définie à partir de la norme de produit correspondante.

L'attention est attirée en particulier sur le fait qu'un dispositif de protection contre les surtensions placé dans l'installation ou dans le matériel peut avoir à dissiper plus d'énergie qu'un dispositif de protection contre les surtensions placé à l'origine de l'installation ayant un niveau de protection (tension résiduelle) plus élevé. Ceci s'applique en particulier au dispositif de protection contre les surtensions dont le niveau de protection (tension résiduelle) est le plus faible.

Dans le cas où l'affaiblissement de la tension transitoire est prévu, la **surtension transitoire** selon l'isolation peut être mesurée en appliquant l'essai de choc exigé au matériel et en mesurant la tension transitoire résiduelle réelle dans l'isolation (voir 6.7.). La valeur mesurée peut être utilisée comme **surtension transitoire** prévue. Lors de l'essai, le matériel est alimenté à la **tension assignée** et les tensions transitoires des deux polarités doivent être prises en compte.

4.2.3 Surtensions temporaires

Du fait des défaillances du **réseau d'alimentation**, des **surtensions temporaires** entre phases et terre/neutre de plusieurs secondes sont générées et doivent être prises en compte lors de l'application du concept de **coordination de l'isolement**.

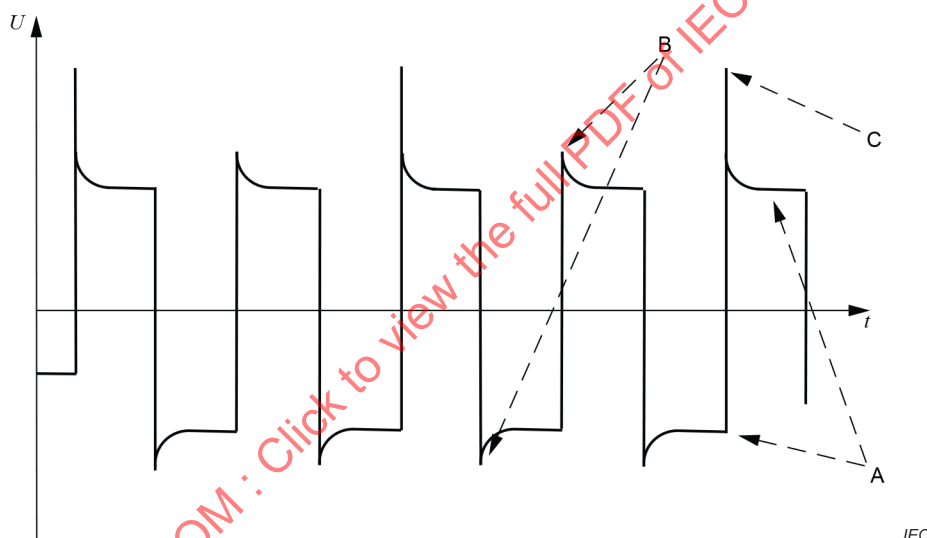
La **coordination de l'isolement** relative aux **surtensions temporaires** est fondée sur la **surtension temporaire** spécifiée dans l'Article 442 de l'IEC 60364-4-44:2007. La valeur de la **surtension temporaire** dans un matériel à basse tension due à un défaut à la terre dans un système à haute tension est donnée en 5.4.3.2.

4.2.4 Tension de crête répétitive

Du fait des modes de fonctionnement prévus des produits spécifiques, les tensions générées en interne peuvent également comprendre des crêtes répétitives superposées à la **tension locale**. Ces tensions de crête répétitives doivent être prises en compte lors de l'application du concept de **coordination de l'isolement**.

La **coordination de l'isolement** relative à la **tension de crête répétitive** doit tenir compte du fait que des **décharges partielles** peuvent se produire dans une **isolation solide** (voir 4.6.2.3) ou le long des surfaces de l'isolation (voir le Tableau F.9).

La **tension de crête répétitive** a une forme d'onde mesurée au moyen d'un oscilloscope ayant une bande passante suffisante, servant à déterminer l'amplitude de crête conformément à la Figure 1.



Légende

- A Valeur de la tension en régime établi
- B Tension de crête en régime établi
- C Tension de crête répétitive

Figure 1 – Tension de crête répétitive

4.2.5 Tension locale en régime établi

La **tension locale en régime établi** la plus élevée (valeur efficace de la valeur en courant continu ou en courant alternatif) selon l'isolation avec le matériel alimenté à la **tension assignée** doit être prise en compte. Ce type de **tension locale en régime établi** peut être inférieur, égal ou supérieur à la **tension assignée** du matériel. La **tension locale en régime établi** des circuits internes est une conséquence directe de la conception des produits et peut être significativement supérieure à la **tension assignée**.

4.2.6 Tension de crête en régime établi

La valeur de crête de la **tension locale en régime établi** selon l'isolation avec le matériel alimenté à la **tension assignée** doit être prise en compte. La **tension de crête en régime établi** des circuits internes est une conséquence directe de la conception des produits.

4.3 Catégories de surtension

4.3.1 Généralités

Le concept de **catégories de surtension** est utilisé pour un matériel alimenté directement par le **réseau d'alimentation**.

Les **catégories de surtension** ont une implication probabiliste plutôt qu'une signification d'affaiblissement physique de la **surtension transitoire** en aval dans l'installation.

NOTE Ce concept de **catégories de surtension** est utilisé dans l'Article 443 de l'IEC 60364-4-44:2007 et de l'IEC 60364-4-44:2007/AMD1:2015.

Un concept similaire peut aussi être utilisé pour des matériels raccordés à d'autres systèmes (réseaux), par exemple des réseaux de télécommunications et de transmissions de données.

4.3.2 Matériel alimenté directement par le réseau d'alimentation

Les comités d'études doivent spécifier la **catégorie de surtension** en se fondant sur l'explication générale suivante des **catégories de surtension**:

- Les matériels de **catégorie de surtension** IV sont utilisés à l'origine de l'installation.

NOTE 1 Les compteurs électriques, les dispositifs principaux de protection contre les surintensités et les dispositifs de télémesures sont des exemples de tels matériels.

- Les matériels de **catégorie de surtension** III sont les matériels des installations fixes et dans le cas où la fiabilité et la disponibilité du matériel font l'objet d'exigences particulières.

NOTE 2 Les interrupteurs de l'installation fixe et les matériels à usage industriel avec raccordement permanent à l'installation fixe sont des exemples de tels matériels.

- Les matériels de **catégorie de surtension** II sont des matériels consommateurs d'énergie, alimentés à partir de l'installation fixe. Si ce matériel est, cependant, soumis à des exigences particulières concernant la fiabilité et la disponibilité, la **catégorie de surtension** III est applicable.

NOTE 3 Les appareils électrodomestiques, les outils portatifs et les autres charges électrodomestiques et analogues sont des exemples de tels matériels.

- Le matériel ayant une tension de tenue aux chocs correspondant à la **catégorie de surtension** I ne doit pas être connecté directement à un **réseau d'alimentation**.

Des mesures doivent être prises pour assurer que les **surtensions temporaires** susceptibles de se produire sont suffisamment limitées afin que leur valeur de crête ne dépasse pas la tension assignée de tenue aux chocs du Tableau F.1.

NOTE 4 À moins que les circuits ne soient conçus pour traiter les **surtensions temporaires**, les matériels de **catégorie de surtension** I ne peuvent pas être directement raccordés au **réseau d'alimentation**.

4.3.3 Systèmes (réseaux) et matériels non alimentés directement par le réseau d'alimentation

Il est recommandé que les comités d'études spécifient les **catégories de surtension** ou la **tension assignée de tenue aux chocs** selon le cas. L'application de la série préférentielle de 4.2.2.1 est recommandée.

NOTE Les systèmes de télécommunication, les systèmes de commande industrielle ou les systèmes indépendants placés sur des véhicules sont des exemples de tels systèmes (réseaux).

4.4 Fréquence

4.4.1 Généralités

La capacité de tenue en tension des **distances d'isolement**, des **lignes de fuite** et de l'**isolation solide** est réduite avec l'augmentation de la fréquence. Cet effet peut être observé à partir de 1 kHz. La conception des **distances d'isolement**, des **lignes de fuite** et de l'**isolation solide** conformément au présent document couvre l'effet des hautes fréquences allant jusqu'à 30 kHz. Pour les fréquences supérieures à 30 kHz, voir 5.1.2.

4.4.2 Isolation solide

La fréquence de la tension influence la rigidité diélectrique de l'**isolation solide**. L'échauffement diélectrique et la probabilité d'instabilité thermique augmentent de façon approximativement proportionnelle à la fréquence. L'augmentation de la fréquence entraîne une réduction de la rigidité diélectrique de la plupart des matériaux isolants.

Cette situation a été observée dans des sources d'alimentation à découpage où l'isolation est soumise à des crêtes de tensions répétitives, à des fréquences pouvant atteindre 500 kHz.

4.5 Pollution

4.5.1 Généralités

Le **micro-environnement** détermine l'effet de la **pollution** sur l'isolation. Cependant le **macro-environnement** doit être pris en considération lors de l'étude du **micro-environnement**.

Des moyens tels que l'utilisation efficace d'enveloppes, d'enrobage ou de scellements hermétiques peuvent être employés pour réduire la **pollution** de l'isolation considérée. De tels moyens pour réduire la **pollution** peuvent ne pas être efficaces lorsque le matériel est sujet à la condensation ou si, en fonctionnement normal, le matériel produit lui-même des éléments polluants. Les enveloppes des installations intérieures et extérieures prévues pour être utilisées dans des emplacements très humides et dont l'amplitude thermique est très grande doivent être disposées de façon appropriée (ventilation naturelle, ventilation forcée, chauffage intérieur, trous de vidange, etc.) afin d'empêcher la formation d'une condensation nuisible dans l'enveloppe. Les degrés de protection procurés par les enveloppes (code IP) conformément aux classes spécifiées dans l'IEC 60529 n'améliorent pas nécessairement le **micro-environnement** en ce qui concerne la **pollution**.

Le comité d'études doit fournir des informations permettant de vérifier le fonctionnement du système d'enveloppe conformément à ses normes.

Les faibles **distances d'isolement** peuvent se trouver complètement pontées par des particules solides, des poussières et de l'eau et, en conséquence, des **distances d'isolement** minimales sont spécifiées lorsqu'il peut y avoir de la **pollution** dans le **micro-environnement**.

4.5.2 Degrés de pollution dans le micro-environnement

Afin d'évaluer les **lignes de fuite** et les **distances d'isolement**, les quatre degrés de **pollution** suivants sont définis pour le **micro-environnement**:

- **Degré de pollution 1**

Il n'existe pas de **pollution** ou il se produit seulement une **pollution** sèche, non conductrice. La **pollution** n'a pas d'influence.

- **Degré de pollution 2**

Il ne se produit qu'une **pollution** non conductrice. Cependant, il faut s'attendre de temps en temps à une conductivité temporaire provoquée par de la condensation. Cette

condensation peut se former pendant des cycles de fonctionnement marche-arrêt du matériel.

– **Degré de pollution 3**

Présence d'une **pollution** conductrice ou d'une **pollution** sèche, non conductrice, qui devient conductrice par suite de la condensation qui peut se produire.

– **Degré de pollution 4**

Une conductivité persistante apparaît qui est due à la poussière conductrice, à la pluie ou à d'autres conditions humides.

4.5.3 Conditions de pollution conductrice

Les dimensions des **lignes de fuite** ne peuvent pas être spécifiées en présence d'une **pollution** qui est en permanence conductrice (**degré de pollution 4**). Dans le cas d'une **pollution** conductrice temporaire (**degré de pollution 3**), la surface de l'isolation peut être conçue pour éviter tout chemin continu de **pollution** conductrice, par exemple au moyen de nervures et de rainures (voir 5.3.3.7).

4.6 Matériau isolant

4.6.1 Isolation solide

Le concept de **coordination de l'isolement** peut être mis en œuvre à l'aide d'un matériau isolant approprié. Le comportement d'isolation de l'**isolation solide** est affecté directement par ses caractéristiques intrinsèques. Les contraintes électriques, mécaniques et autres pouvant affecter le comportement de l'isolation tout au long de la vie du produit doivent être prises en compte.

Étant donné que la rigidité diélectrique d'une **isolation solide** est bien plus importante que celle de l'air, une moindre attention peut être prêtée à la conception des systèmes d'isolation. D'autre part, les distances d'isolement à travers le matériau isolant solide sont, en règle générale, très inférieures aux **distances d'isolement**, ce qui donne lieu à des contraintes électriques importantes. Il faut également tenir compte du fait que, dans la pratique, la rigidité diélectrique élevée d'un matériau est rarement utilisée. Dans les systèmes d'isolation, des intervalles peuvent se former entre les électrodes et l'isolation d'une part, et entre les différentes couches d'isolation d'autre part, ou bien des soufflures peuvent être présentes dans le matériau isolant. Des **décharges partielles** peuvent se produire dans ces intervalles ou dans ces soufflures, à des tensions bien en dessous du niveau de **perforation**, ce qui risque d'affecter de façon décisive la longévité de l'**isolation solide**. Cependant, il est peu vraisemblable de voir des **décharges partielles** pour des tensions de crête inférieures à 500 V.

Un autre point crucial réside dans le fait que, comparativement aux gaz, l'**isolation solide** n'est pas un support renouvelable, si bien que des crêtes de tensions élevées, susceptibles de se produire quelquefois, peuvent avoir un effet très néfaste et irréversible sur l'**isolation solide**. Une telle situation peut se présenter pendant le fonctionnement ou lors des essais diélectriques individuels.

4.6.2 Contraintes

4.6.2.1 Généralités

Un certain nombre d'influences néfastes s'accumule tout au long de la durée de fonctionnement d'une **isolation solide**. Ces influences suivent des étapes complexes avant d'aboutir au vieillissement. Par conséquent, les contraintes électriques et autres (par exemple thermiques, climatiques) superposent leurs effets et contribuent au vieillissement.

Les performances à long terme d'une **isolation solide** peuvent être simulées par un essai à court terme. Le but est d'y parvenir par un conditionnement adapté (voir 6.4.3).

Il y a une relation générale entre l'épaisseur d'un matériau **isolant solide** et les mécanismes de défaillances mentionnés ci-dessus. Une réduction de l'épaisseur d'un matériau **isolant solide** entraîne l'augmentation de la contrainte et conduit à un plus grand risque de défaillance. En raison des caractéristiques électriques individuelles des matériaux, il n'est pas possible de calculer l'épaisseur exigée d'un matériau **isolant solide**. La performance peut uniquement être vérifiée par des essais.

4.6.2.2 Choc mécanique

En cas de résistance inadéquate aux chocs, un choc mécanique peut provoquer une défaillance de l'isolation. Une défaillance due à un choc mécanique est également susceptible de se produire en raison de la diminution de la résistance aux chocs des matériaux:

- en raison d'un matériau devenu fragile si sa température est passée en dessous de sa température de transition vitreuse;
- après une exposition prolongée sous une température élevée ayant entraîné une perte de plastifiant ou une détérioration du polymère de base.

Les comités d'études doivent tenir compte de tous ces points lors de la spécification des conditions ambiantes relatives au transport, au stockage, à l'installation et à l'utilisation.

4.6.2.3 Décharges partielles (DP)

Certains types d'**isolants solides** peuvent résister aux décharges partielles, d'autres non. La tension, la fréquence de répétition des décharges et l'amplitude des décharges constituent des paramètres importants.

NOTE Les isolants en céramique sont généralement capables de résister aux **décharges partielles**.

Le comportement des DP est influencé par la fréquence de la tension appliquée. Des essais de vieillissement accéléré par augmentation de la fréquence ont permis d'établir que le temps nécessaire pour aboutir à une défaillance est approximativement inversement proportionnel à la fréquence de la tension appliquée. Cependant, les expériences pratiques relatives aux DP ne concernent que des fréquences maximales de 5 kHz car, à des fréquences plus élevées, d'autres mécanismes de défaillance peuvent également apparaître, par exemple échauffement diélectrique.

4.6.2.4 Autres contraintes

De nombreuses autres contraintes peuvent détériorer l'isolation et il est nécessaire que les comités d'études tiennent compte des conséquences.

Ces contraintes comprennent, par exemple:

- les rayonnements ultraviolets et ionisants;
- le craquèlement ou la fissuration provoqué(e) par une exposition à des solvants ou à des agents chimiques actifs;
- la migration des plastifiants;
- l'effet des bactéries, des moisissures ou des champignons;
- le fluage mécanique.

4.6.3 Indice de résistance au cheminement (IRC)

4.6.3.1 Comportement du matériau isolant en présence de scintillations

En ce qui concerne le cheminement, les matériaux isolants peuvent être sommairement caractérisés selon les dommages subis du fait de la libération localisée d'énergie résultant de scintillations lors de l'interruption d'un courant de fuite superficiel en raison du séchage de la surface contaminée. En présence de scintillations, le matériau isolant peut avoir les comportements suivants:

- décomposition du matériau isolant;
- usure du matériau isolant par action des décharges électriques (électroérosion);
- formation progressive de chemins conducteurs à la surface du matériau isolant en raison des effets conjugués de la contrainte électrique et de la contamination conductrice électrolytique en surface (cheminement).

NOTE Le cheminement ou l'érosion apparaît lorsque:

- un film liquide conduisant le courant de fuite superficiel se rompt; et que
- la tension appliquée est suffisante pour provoquer le claquage du petit intervalle formé lorsque le film se rompt; et que
- le courant est supérieur à une valeur limite qui est nécessaire pour fournir localement une énergie suffisante pour décomposer thermiquement le matériau isolant sous le film.

La détérioration s'accroît avec le temps d'écoulement du courant.

4.6.3.2 Valeurs de l'indice de résistance au cheminement (IRC) pour caractériser les matériaux isolants

Une méthode de classification des matériaux isolants selon 4.6.3.1 n'existe pas. Le comportement du matériau isolant sous l'action de différents agents de contamination et des tensions est extrêmement complexe. Dans ces conditions, de nombreux matériaux peuvent présenter deux ou même trois des caractéristiques indiquées. Une corrélation directe avec les groupes de matériaux de 5.3.2.4 n'est pas utilisable. Cependant, il a été démontré à l'expérience et par des essais que les matériaux isolants ayant une meilleure performance relative ont approximativement le même classement relatif d'après l'indice de résistance de cheminement (IRC). Par conséquent, le présent document utilise les valeurs de l'indice de résistance au cheminement (IRC) pour caractériser les matériaux isolants.

4.6.3.3 Essai pour l'indice de résistance au cheminement (IRC)

L'essai pour déterminer l'indice de résistance au cheminement (IRC) conformément à l'IEC 60112 est conçu de façon à comparer la performance des différents matériaux isolants placés dans les conditions d'essai. Cet essai donne une comparaison qualitative et, dans le cas où les matériaux isolants ont tendance à former des cheminements, cet essai peut également donner une comparaison quantitative de l'indice de résistance au cheminement.

4.6.3.4 Matériaux non sujets au cheminement

Pour le verre, les céramiques et d'autres matériaux isolants inorganiques qui ne sont pas sujets au cheminement, les **lignes de fuite** n'ont pas besoin d'être plus grandes que les **distances d'isolement** associées dans le cadre de la **coordination de l'isolement**.

4.7 Aspects environnementaux

4.7.1 Généralités

L'emplacement physique et géographique du matériel peut affecter le système d'isolation de manière significative. Des facteurs environnementaux comme l'altitude, la température, les vibrations et l'humidité exigent d'être étudiés afin de garantir que la **coordination de l'isolement** reste fiable tout au long de la vie du matériel.

4.7.2 Altitude

La tension disruptive d'une **distance d'isolement** dans l'air est, selon la loi de Paschen, proportionnelle au produit de la distance entre électrodes par la pression atmosphérique. Les **distances d'isolement** exigées dans le présent document sont corrigées en tenant compte de la différence de pression atmosphérique entre 2 000 m et le niveau de la mer pour le **champ homogène** et le **champ hétérogène**. Voir 5.2.3.4 pour le dimensionnement des **distances d'isolement** pour des altitudes supérieures à 2 000 m et 6.2.2.1.4 pour l'étude des

altitudes lors de la vérification des **distances d'isolement** à des altitudes différentes de 2 000 m.

4.7.3 Température

La température peut causer:

- une déformation mécanique due à la relaxation d'une contrainte interne;
- un ramollissement des thermoplastiques;
- une fragilisation de certains matériaux due à une perte de plastifiant;
- un ramollissement de certains matériaux réticulés, notamment si la température de transition vitreuse du matériau est dépassée;
- des pertes diélectriques accrues entraînant instabilité thermique et défaillance.

Les variations rapides de température, par exemple pendant les courts-circuits, peuvent provoquer une défaillance mécanique.

4.7.4 Vibrations

Les contraintes mécaniques dues aux vibrations ou aux chocs en cours de fonctionnement ou les contraintes produites durant le stockage ou le transport peuvent provoquer un délaminage, une fissuration ou la rupture du matériau isolant (voir 5.4.4.2).

4.7.5 Humidité

La présence de vapeur d'eau peut influencer sur la résistance d'isolement et sur la tension d'extinction de **décharge partielle**, accentuer l'effet de contamination superficielle, provoquer la corrosion et entraîner des variations dimensionnelles. Un taux d'humidité élevé entraîne une diminution significative de la rigidité diélectrique de certains matériaux. Un faible taux d'humidité peut, dans certains cas, être défavorable, par exemple en augmentant la capacité de conservation des charges électrostatiques et en diminuant la résistance mécanique de certains matériaux, tels que le polyamide.

4.8 Durée de la contrainte de tension

La durée de la contrainte de tension influence particulièrement le comportement de l'isolation à long terme des **lignes de fuite** et de l'**isolation solide**. Voir 5.3.3.4 pour les **lignes de fuite**.

Lorsque la tension crée un claquage instantané de l'isolation, la durée n'influence généralement pas la **distance d'isolement**.

4.9 Distribution du champ électrique

La distribution du champ électrique influence la rigidité diélectrique de l'isolation.

- La condition de **champ hétérogène** d'une configuration point par rapport à une électrode plane est le cas le plus défavorable vis-à-vis de la capacité de tenue en tension. Elle est représentée par une électrode point ayant un rayon de 30 μm et une surface plane de 1 m $\times$ 1 m (voir 3.1.27).
- La distribution de **champ homogène** est le cas le plus favorable et théorique où le champ électrique est complètement homogène entre deux sphères (voir 3.1.26). Typiquement, pour atteindre une condition de **champ homogène** entre deux sphères, le rayon de chaque sphère doit être supérieur à la distance entre elles. Il est très difficile d'obtenir les conditions de **champ homogène** en conception réelle.

En réalité, la distribution du champ électrique se situe généralement entre le **champ homogène** et le **champ hétérogène**.

5 Conception de la coordination de l'isolement

5.1 Généralités

5.1.1 Moyens pour la coordination de l'isolement

La conception de la **coordination de l'isolement** doit se faire au moyen:

- des **distances d'isolement** (5.2);
- des **lignes de fuite** (5.3); et
- de l'**isolation solide** (5.4)

et s'applique à chaque isolation individuelle à l'étude.

Les exigences de conception des **distances d'isolement** et **lignes de fuite** du 5.2 et du 5.3 sont des distances minimales fondées sur des données d'essai empiriques, comme cela est présenté à l'Annexe A et à l'Annexe F. Ces dernières doivent être prises en compte lors de la conception.

NOTE L'IEC 61140 considère que les exigences des appareils d'isolement s'appliquent aux **catégories de surtension** III et IV et ne s'appliquent pas aux **catégories de surtension** I et II.

5.1.2 Fréquence supérieure à 30 kHz

Les exigences de **coordination de l'isolement** des matériels dans les **réseaux d'énergie électrique à basse tension** dont les fréquences assignées sont supérieures à 30 kHz sont données dans l'IEC 60664-4.

5.1.3 Distances réduites dues au revêtement ou à l'empotage

Les exigences de **coordination de l'isolement** des matériels dans les **réseaux d'énergie électrique à basse tension** utilisant le revêtement, l'empotage ou le moulage pour la protection contre la **pollution**, autorisant des **distances d'isolement** et des **lignes de fuite** réduites sont données dans l'IEC 60664-3.

5.1.4 Matériels non raccordés aux réseaux publics d'énergie électrique à basse tension

La coordination de l'isolement s'applique aux matériels qui ne sont pas raccordés aux réseaux publics d'énergie électrique à basse tension. Cependant, il est recommandé d'utiliser les mêmes principes pour tous autres systèmes d'énergie électrique à basse tension qui ne sont pas reliés aux réseaux publics d'énergie électrique à basse tension (IEC TR 60664-2-1).

5.2 Dimensionnement des distances d'isolement

5.2.1 Généralités

Les dimensions des **distances d'isolement** doivent être choisies en tenant compte de l'influence des caractéristiques techniques suivantes:

- **tension de tenue aux chocs** (voir 5.2.2.2 et 5.2.2.3);
- **surtensions temporaires**, valeur de la tension de crête (voir 5.2.2.4);
- **tension de crête en régime établi** ou **tensions de crête répétitives** (voir 5.2.2.4);
- conditions de champ électrique (voir 5.2.3.2 et 5.2.3.3);
- altitude (voir 5.2.3.4);
- **degré de pollution** dans le **micro-environnement** (voir 5.2.3.5).

Les influences mécaniques telles que les vibrations ou les forces appliquées peuvent exiger des **distances d'isolement** plus importantes.

Voir l'Annexe G (Figure G.1) pour des recommandations relatives à la détermination de la **distance d'isolement** à partir de l'exigence de 5.2.1.

5.2.2 Critères de dimensionnement pour les distances d'isolement

5.2.2.1 Généralités

Les **distances d'isolement** doivent être dimensionnées pour supporter dans la plus grande mesure du possible les éléments suivants:

- Pour les circuits directement connectés au **réseau d'alimentation**, la **tension assignée de tenue aux chocs** déterminée à partir de 5.2.2.2 et de 5.2.2.3.
- Pour une **tension de crête en régime établi**, une valeur de crête de la **surtension temporaire** (voir 5.2.1) ou une **tension de crête répétitive** déterminée à partir de 5.2.2.4.

5.2.2.2 Choix de la tension assignée de tenue aux chocs pour le matériel

La **tension assignée de tenue aux chocs** du matériel doit être choisie dans le Tableau F.1 correspondant à la **catégorie de surtension** spécifiée et à la **tension assignée** du matériel.

NOTE 1 Le matériel ayant une **tension assignée de tenue aux chocs** particulière et ayant plus d'une **tension assignée** peut être utilisé dans différentes conditions de **catégories de surtension**.

NOTE 2 Pour prendre en compte l'aspect de **surtension de manœuvre**, voir 4.2.2.4.

5.2.2.3 Dimensionnement pour résister aux surtensions transitoires

Les **distances d'isolement** doivent être dimensionnées de manière à résister à la **tension de tenue aux chocs** exigée conformément au Tableau F.2. Pour les circuits directement raccordés au **réseau d'alimentation**, la **tension de tenue aux chocs** exigée est la **tension assignée de tenue aux chocs** établie à partir de 5.2.2.2.

5.2.2.4 Dimensionnement pour résister aux tensions de crête en régime établi, aux surtensions temporaires ou aux tensions de crête répétitives

Les **distances d'isolement** doivent être dimensionnées conformément au Tableau F.8 afin de résister aux **tensions de crête en régime établi**, à la valeur de crête des **surtensions temporaires** ou aux **tensions de crête répétitives**.

5.2.3 Autres facteurs impliquant les distances d'isolement

5.2.3.1 Généralités

La forme et la disposition des parties conductrices (électrodes) influent sur l'homogénéité du champ (voir 4.9) et, par conséquent, sur la **distance d'isolement** nécessaire pour résister à une tension donnée (voir Tableau F.2, Tableau F.8 et Tableau A.1).

Pour des conditions de **champ hétérogène**, il est recommandé de concevoir conformément au 5.2.3.2 (cas A). Si la conception concerne des conditions de **champ homogène** (cas B), 5.2.3.3 s'applique (voir également 6.2.2.1).

5.2.3.2 Conditions de champ hétérogène (cas A du Tableau F.2)

Des **distances d'isolement** au moins égales à celles du Tableau F.2 pour des conditions de **champ hétérogène** peuvent être utilisées indépendamment de la forme et de la disposition des parties conductrices, et sans vérification par un essai de tenue de tension.

Les **distances d'isolement** à travers des fentes dans des enveloppes en matériau isolant ne doivent pas être inférieures à celles concernant la tenue aux conditions de **champ hétérogène** car la conception n'est pas vérifiée, ce qui peut compromettre l'homogénéité du champ électrique.

5.2.3.3 Conditions de champ homogène (cas B du Tableau F.2)

Les valeurs de **distances d'isolement** du cas B du Tableau F.2 sont applicables uniquement dans des conditions de **champ homogène**. Elles peuvent uniquement être utilisées lorsque la forme et la disposition des parties conductrices sont conçues pour obtenir un champ électrique ayant essentiellement un gradient de tension constant.

Les **distances d'isolement** inférieures à celles indiquées pour des conditions de **champ hétérogène** exigent une vérification par essai de tenue de tension (voir 6.2.2.1). Pour les faibles valeurs des **distances d'isolement**, la présence de **pollution** peut affecter l'uniformité du champ électrique en rendant nécessaire d'augmenter les **distances d'isolement** au-delà des valeurs du cas B (voir également Figure A.2 et Figure A.3).

5.2.3.4 Correction de l'altitude

Les **distances d'isolement** données dans le présent document sont valides jusqu'à une altitude de 2 000 m.

Pour des altitudes supérieures à 2 000 m, il convient d'utiliser le Tableau A.2 pour déterminer les facteurs de correction de l'altitude pour la correction de la **distance d'isolement**. Voir également 6.2.2.1.4 pour la procédure de calcul relative à la correction de l'altitude pour la correction de la **distance d'isolement**. L'interpolation linéaire est acceptable entre deux valeurs adjacentes du Tableau A.2.

NOTE Le phénomène est non linéaire, le comité d'études est responsable de l'interpolation de la valeur entre deux altitudes.

5.2.3.5 Degré de pollution dans un micro-environnement

Les **distances d'isolement** doivent être choisies dans le Tableau F.2 et avoir un **degré de pollution** dans le **micro-environnement** conforme à 4.5.2. Le **degré de pollution** n'a pas de forte influence sur le dimensionnement des **distances d'isolement**. Cependant, il ne peut être ignoré pour les petites **distances d'isolement** pour lesquelles la pollution comme les particules solides, la poussière et la condensation sont susceptibles de ponter l'intervalle.

Les valeurs minimales de la **distance d'isolement** des **degrés de pollution** 2 et 3 sont spécifiées dans le Tableau F.2.

5.2.4 Dimensionnement des distances d'isolement de l'isolation fonctionnelle

Pour une **distance d'isolement** de l'**isolation fonctionnelle**, la tension de tenue aux chocs exigée est la tension de choc maximale ou la **tension de crête en régime établi** (avec référence au Tableau F.8) ou la **tension de crête répétitive** (avec référence au Tableau F.8) réputée se produire à travers celle-ci dans les conditions assignées du matériel, et en particulier la **tension assignée** et la **tension assignée de tenue aux chocs** du matériel (avec référence au Tableau F.2).

NOTE Pour les distances inférieures ou égales à 2 mm, l'IEC TR 63040 présente des essais, des recherches sur les paramètres d'influence pour fournir des distances pour l'isolation. L'utilisation du présent document est sous la responsabilité des comités d'études.

5.2.5 Dimensionnement des distances d'isolement de l'isolation principale, de l'isolation supplémentaire et de l'isolation renforcée

Les **distances d'isolement** de l'**isolation principale** et de l'**isolation supplémentaire** doivent être dimensionnées chacune conformément au Tableau F.2 correspondant:

- à la **tension assignée de tenue aux chocs** selon 4.2.2 ou 5.2.2.2; ou
- aux exigences relatives à la tension de tenue aux chocs par rapport aux **surtensions transitoires** générées dans le matériel selon 4.2.2.4;

et comme cela est spécifié dans le Tableau F.8 correspondant:

- à la valeur de crête de la **surtension temporaire** selon 4.2.3;
- à la **tension de crête répétitive** selon 4.2.4;
- à la **tension de crête en régime établi** selon 4.2.6.

En ce qui concerne les **tensions de tenue aux chocs**, les **distances d'isolement** de l'**isolation renforcée** doivent être dimensionnées comme spécifié dans le Tableau F.2 correspondant à la **tension assignée de tenue aux chocs** immédiatement supérieure dans la série préférentielle de 4.2.2.1 à celle indiquée pour l'**isolation principale**. Si, conformément à 4.2.2.1, la **tension de tenue aux chocs** exigée pour l'**isolation principale** diffère d'une valeur de la série préférentielle, l'**isolation renforcée** doit être dimensionnée pour supporter 160 % de la **tension de tenue aux chocs** exigée pour l'**isolation principale**.

NOTE 1 Dans un système (réseau) coordonné, l'augmentation des **distances d'isolement** au-dessus du minimum exigé est inutile pour une **tension de tenue aux chocs** exigée. Cependant, pour des raisons différentes de la **coordination de l'isolement**, il peut être nécessaire d'augmenter les **distances d'isolement** (par exemple, pour des raisons mécaniques). Dans de tels cas, la tension d'essai doit rester fondée sur la **tension assignée de tenue aux chocs** du matériel, autrement une contrainte anormale peut se produire sur l'**isolation solide** associée.

En ce qui concerne les **tensions de crête en régime établi**, les **tensions de crête répétitives** et les **surtensions temporaires**, les **distances d'isolement** de l'**isolation renforcée** doivent être dimensionnées comme spécifié dans le Tableau F.8 pour supporter 160 % de la **tension de tenue** exigée pour l'**isolation principale**.

Pour un matériel comportant une **double isolation** où l'**isolation principale** et l'**isolation supplémentaire** ne peuvent pas être soumises à l'essai séparément, le système d'isolation est traité comme une **isolation renforcée**.

NOTE 2 Lors du dimensionnement de **distances d'isolement** par rapport à des surfaces accessibles en matériau isolant, de telles surfaces sont par hypothèse recouvertes d'une feuille métallique. De plus amples informations peuvent être spécifiées par les comités d'études.

5.3 Dimensionnement des lignes de fuite

5.3.1 Généralités

Afin de déterminer les **lignes de fuite** exigées, les facteurs d'influence suivants doivent être pris en compte:

- la tension (voir 5.3.2.2);
- le **degré de pollution** (voir 5.3.2.3);
- le groupe de matériau (voir 5.3.2.4);
- l'orientation et la localisation de la **ligne de fuite** (voir 5.3.3.2);
- la forme de la surface isolante (voir 5.3.3.3);
- la durée de la contrainte de tension (voir 5.3.3.4);
- plus d'un matériau ou **degré de pollution** (voir 5.3.3.5);
- partie conductrice flottante (voir 5.3.3.6);
- utilisation de nervures (voir 5.3.3.7);

- composants montés sur des matériaux pour circuit imprimé (voir 5.3.3.8).

Voir l'Annexe H (Figure H.1) pour des recommandations relatives à la détermination des lignes de fuite à partir de l'exigence de 5.3.

NOTE Les valeurs du Tableau F.5 sont fondées sur des données empiriques existantes et conviennent à une majorité d'applications. Cependant, pour l'**isolation fonctionnelle**, des valeurs **de lignes de fuite** différentes de celles du Tableau F.5 peuvent être appropriées.

5.3.2 Critères de dimensionnement des lignes de fuite

5.3.2.1 Généralités

Les **lignes de fuite** doivent être dimensionnées de façon à supporter la contrainte de longue durée de la valeur efficace de la tension sur l'isolation étudiée, et prendre en compte le **degré de pollution** et le groupe de matériau pour lesquels la **ligne de fuite** est étudiée (voir 5.3.2.2 à 5.3.2.4). D'autres facteurs tenant compte de la forme mécanique, des paramètres du matériau et de la durée d'application de la contrainte de tension doivent également être pris en compte (voir 5.3.3).

5.3.2.2 Détermination de la tension

La base de la détermination d'une **ligne de fuite** est la valeur efficace de longue durée de la tension existant le long de la ligne de fuite. Cette tension est la valeur la plus élevée de la **tension locale en régime établi** (voir 4.2.5), de la **tension assignée d'isolement** ou de la **tension assignée**. Pour la détermination des **tensions assignées d'isolement**, le Tableau F.3 et le Tableau F.4 peuvent être utilisés.

Les **surtensions transitoires** sont négligées car elles n'influent généralement pas sur le phénomène de cheminement. Cependant, il convient de tenir compte des **surtensions temporaires** ou de toute **surtension** nécessaire au fonctionnement d'un dispositif, si leur durée et leur fréquence d'occurrence peuvent influencer le cheminement (voir 5.3.3.4).

Pour un matériel ayant plusieurs **tensions assignées**, de sorte qu'il puisse être utilisé pour différentes tensions nominales du **réseau d'alimentation**, la tension choisie doit être appropriée pour la **tension assignée** la plus élevée du matériel.

La **tension locale en régime établi** la plus élevée susceptible d'apparaître dans le système (réseau), le matériel ou les circuits internes doit être utilisée. La tension est déterminée en fonctionnement sous **tension assignée** et dans les conditions de fonctionnement les plus défavorables prévues dans les caractéristiques assignées du matériel. Il n'est pas tenu compte des conditions de défaut.

5.3.2.3 Détermination du degré de pollution

L'influence du **degré de pollution**, en tenant compte de la **pollution** et de l'humidité dans le **micro-environnement** (voir 4.5.2), doit être prise en compte lors du dimensionnement des **lignes de fuite** conformément au Tableau F.5.

NOTE Différentes conditions de micro-environnement peuvent exister dans un matériel.

5.3.2.4 Détermination du groupe de matériau

Pour les besoins du présent document, les matériaux sont classés en quatre groupes selon les valeurs de l'indice de résistance au cheminement (IRC). Ces valeurs sont déterminées en référence à la solution A de l'IEC 60112. Les groupes sont les suivants:

- groupe de matériau I: $600 \leq \text{IRC}$;
- groupe de matériau II: $400 \leq \text{IRC} < 600$;
- groupe de matériau IIIa: $175 \leq \text{IRC} < 400$;

- groupe de matériau IIIb: $100 \leq IRC < 175$.

5.3.2.5 Relation entre la ligne de fuite et la distance d'isolement

Une **ligne de fuite** ne peut pas être inférieure à la **distance d'isolement** associée, de sorte que la **ligne de fuite** la plus courte possible est égale à la **distance d'isolement** exigée. Cependant, il n'existe aucune relation physique entre la **distance d'isolement** minimale dans l'air et la **ligne de fuite** minimale acceptable, sauf cette limitation dimensionnelle.

Des **lignes de fuite** inférieures aux **distances d'isolement** exigées dans le cas A du Tableau F.2 ne peuvent être utilisées que dans des conditions de **degrés de pollution** 1 et 2 lorsque la **ligne de fuite** peut résister à la tension exigée pour la **distance d'isolement** associée (Tableau F.2). Pour les essais, voir 6.2.

5.3.3 Autres facteurs impliquant les lignes de fuite

5.3.3.1 Généralités

Les comités d'études doivent tenir compte des autres facteurs qui influencent la **ligne de fuite**, par exemple l'orientation et la forme de la surface isolante. En cas de facteurs d'influence spécifiques de la **ligne de fuite**, ces facteurs doivent être pris en compte.

5.3.3.2 Orientation des lignes de fuite

Si cela est nécessaire, le fabricant doit indiquer l'orientation prévue du matériel ou du composant afin que les **lignes de fuite** ne soient pas compromises par une accumulation de **pollution** pour laquelle elles ne sont pas conçues.

5.3.3.3 Forme de la surface isolante

La mise en forme des surfaces isolantes est efficace pour le dimensionnement des **lignes de fuite** uniquement avec le **degré de pollution** 3. Il convient que la surface de l'**isolation solide** comprenne, de préférence, des nervures et des rainures transversales destinées à rompre la continuité du chemin de fuite dû à la **pollution**. Les nervures et les rainures peuvent également être utilisées pour diriger l'écoulement d'eau de l'isolation qui est électriquement contrainte. Il convient d'éviter les joints ou les rainures reliant des parties conductrices car ils peuvent accumuler de la **pollution** ou retenir l'eau.

5.3.3.4 Durée de la contrainte de tension

La durée de la contrainte de tension influe sur le nombre de cas où le séchage peut produire des scintillations de surface d'une énergie suffisamment importante pour entraîner le cheminement. Le nombre de ces cas est considéré comme suffisamment important pour entraîner le cheminement:

- dans les matériels destinés à un usage continu mais qui ne produisent pas suffisamment de chaleur pour maintenir sèche la surface de l'isolation;
- dans les matériels sujets à condensation sur de longues périodes pendant lesquelles ils sont fréquemment activés et coupés;
- dans les appareils de connexion, côté entrée et entre les bornes de ligne et de charge, qui sont directement raccordés au **réseau d'alimentation**.

Les **lignes de fuite** indiquées dans le Tableau F.5 ont été déterminées pour une isolation destinée à être soumise à une contrainte de tension de longue durée.

Les comités d'études responsables du matériel dans lequel l'isolation est soumise à une contrainte de tension pendant une courte durée seulement peuvent envisager d'autoriser des **lignes de fuite** réduites.

5.3.3.5 Lignes de fuite lorsque plus d'un matériau est utilisé ou en présence de plus d'un degré de pollution

Une **ligne de fuite** peut être divisée en plusieurs parties de différents matériaux et/ou peut avoir différents **degrés de pollution** si une des **lignes de fuite** est dimensionnée pour résister à la tension totale ou si la distance totale est dimensionnée en fonction du matériau ayant l'indice de résistance au cheminement (IRC) le plus faible et le **degré de pollution** le plus élevé.

5.3.3.6 Lignes de fuite coupées par des parties conductrices flottantes

Une **ligne de fuite** peut être divisée en plusieurs parties, dans le même matériau isolant, y compris ou séparée par des conducteurs flottants sous réserve que la somme des distances le long de chaque partie individuelle soit supérieure ou égale à la **ligne de fuite** exigée si la partie flottante n'existait pas. Voir la Figure 14.

5.3.3.7 Réduction des lignes de fuite exigées par l'utilisation de nervures

Les **lignes de fuite** exigées qui sont supérieures ou égales à 8 mm avec un **degré de pollution** 3 peuvent être réduites par l'utilisation d'une nervure. Les valeurs de ces **lignes de fuite** réduites sont celles données dans le Tableau F.5 entre parenthèses (voir note de bas de page d) du Tableau F.5). La nervure doit avoir une largeur minimale (W) de 20 % et une hauteur minimale (H) de 25 % de la **ligne de fuite** exigée y compris la nervure telle qu'elle est mesurée à la Figure 2.

Lorsque plus d'une nervure est utilisée, la **ligne de fuite** exigée doit être divisée en sections égales au nombre de nervures désirées. Pour chaque section, les exigences de l'alinéa ci-dessus doivent s'appliquer. La distance minimale entre les nervures multiples doit être égale à la largeur minimale de la nervure applicable pour chaque section mesurée à partir de la base de la nervure.

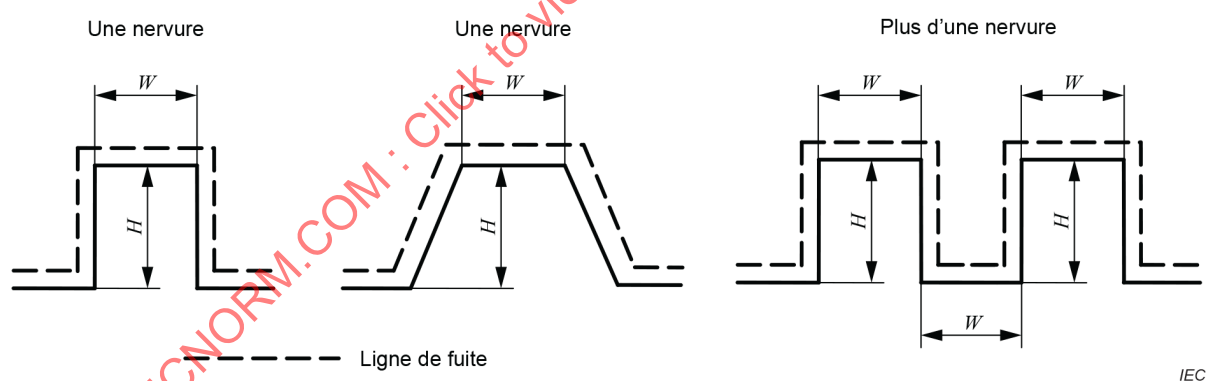


Figure 2 – Détermination de la largeur (W) et de la hauteur (H) d'une nervure

5.3.3.8 Ligne de fuite sur un composant monté sur un matériau pour circuit imprimé

Pour les **lignes de fuite** se trouvant sur des matériaux pour circuit imprimé utilisées uniquement aux **degrés de pollution** 1 et 2, un dimensionnement réduit est autorisé et peut être choisi dans le Tableau F.5. L'attention est attirée sur la possible réduction ou sur d'autres chemins de **lignes de fuite** du fait des composants.

L'utilisation des valeurs de dimensionnement réduit sur un matériau pour circuit imprimé au **degré de pollution** 2 (colonne 3 du Tableau F.5) pour les **lignes de fuite** peut exiger une protection supplémentaire contre la **pollution**.

5.3.4 Dimensionnement des lignes de fuite de l'isolation fonctionnelle

Les **lignes de fuite** de l'**isolation fonctionnelle** peuvent être dimensionnées comme indiqué dans le Tableau F.5 correspondant à la **tension locale en régime établi** le long de la **ligne de fuite** prise en considération.

NOTE 1 Les valeurs du Tableau F.5 peuvent être utilisées pour l'**isolation fonctionnelle**; cependant d'autres valeurs de **lignes de fuite** peuvent convenir.

NOTE 2 Pour les distances inférieures ou égales à 2 mm, l'IEC TR 63040 présente des essais, des recherches sur les paramètres d'influence pour fournir des distances pour l'isolation. L'utilisation du présent document est sous la responsabilité des comités d'études.

Lorsque la **tension locale en régime établi** est utilisée pour le dimensionnement, il est autorisé d'interpoler les valeurs des tensions intermédiaires. Lors de l'interpolation, l'interpolation linéaire doit être utilisée et les valeurs doivent être arrondies au même nombre de chiffres que les valeurs prises dans les tableaux.

5.3.5 Dimensionnement des lignes de fuite de l'isolation principale, de l'isolation supplémentaire et de l'isolation renforcée

Les **lignes de fuite** de l'**isolation principale** et de l'**isolation supplémentaire** doivent être choisies dans le Tableau F.5 pour:

- les tensions rationalisées données dans les colonnes 2 et 3 du Tableau F.3 et les colonnes 2, 3 et 4 du Tableau F.4, correspondant à la tension nominale du **réseau d'alimentation**;
- la **tension assignée d'isolement**;
- la tension spécifiée en 4.2.5.

Lorsque le Tableau F.5 est utilisé, il est autorisé d'interpoler les valeurs des tensions intermédiaires. Lors de l'interpolation, l'interpolation linéaire doit être utilisée et les valeurs doivent être arrondies au même nombre de chiffres que les valeurs prises dans les tableaux.

Les **lignes de fuite** de la **double isolation** sont la somme des valeurs de l'**isolation principale** et de l'**isolation supplémentaire** qui composent le système de **double isolation**.

NOTE 1 Pour l'**isolation supplémentaire**, le **degré de pollution**, le matériau isolant, les contraintes mécaniques et les conditions d'environnement d'utilisation peuvent être différents de ceux de l'**isolation principale**.

Les **lignes de fuite** pour l'**isolation renforcée** doivent être égales au double de celles déterminées pour l'**isolation principale**.

NOTE 2 Lors du dimensionnement des **lignes de fuite** par rapport à des surfaces accessibles d'un matériau isolant, de telles surfaces sont par hypothèse recouvertes d'une feuille métallique. De plus amples informations peuvent être spécifiées par les comités d'études.

La comparaison entre les **distances d'isolement** minimales et les **lignes de fuite** spécifiées dans le présent document est donnée à l'Annexe E (voir Figure E.1).

5.4 Exigences pour la conception de l'isolation solide

5.4.1 Généralités

L'**isolation solide** de l'**isolation principale**, de l'**isolation supplémentaire** et de l'**isolation renforcée** doit être capable de supporter durablement les contraintes électriques et mécaniques ainsi que les effets thermiques et d'environnement pouvant se produire pendant la durée de vie prévue des matériels.

NOTE Le 5.4 ne fournit pas d'exigences pour l'**isolation solide** utilisée comme **isolation fonctionnelle**.

Les comités d'études doivent tenir compte de ces contraintes lors de la spécification des conditions d'essai.

5.4.2 Contrainte de tension

L'**isolation solide** doit supporter la contrainte de tension en tenant compte:

- des **surtensions transitoires** selon 5.4.3.1;
- des **surtensions de tenue temporaires** selon 5.4.3.2.
- des **tensions de crête répétitives** selon 5.4.3.3;
- des **tensions locales en régime établi** selon 5.4.3.4.

5.4.3 Tenue aux contraintes de tension

5.4.3.1 Surtensions transitoires

L'**isolation principale** et l'**isolation supplémentaire** doivent avoir:

- une exigence relative à la **tension de tenue aux chocs** correspondant à la tension nominale du **réseau d'alimentation** (voir 4.2.2.2) et à la **catégorie de surtension** appropriée, conformément au Tableau F.1; ou
- une **tension de tenue aux chocs**, relative à un circuit interne d'un matériel, qui a été spécifiée conformément aux **surtensions transitoires** prévisibles dans le circuit (voir 4.2.2.4).

L'**isolation renforcée** doit avoir une **tension de tenue aux chocs** correspondant à la **tension assignée de tenue aux chocs** immédiatement supérieure dans la série préférentielle de valeurs en 4.2.2.1 que celle spécifiée pour l'**isolation principale**. Si la **tension de tenue aux chocs** exigée pour l'**isolation principale** conformément à 4.2.2.1 diffère d'une valeur de la série préférentielle, l'**isolation renforcée** doit supporter 160 % de la valeur exigée pour l'**isolation principale**.

En ce qui concerne la vérification par des essais, se reporter à 6.4.4.

5.4.3.2 Surtensions de tenue temporaires

L'**isolation principale** et l'**isolation supplémentaire** de l'**isolation solide** doivent être conçues de façon à supporter les **surtensions de tenue temporaires** suivantes:

- **surtensions temporaires** de courte durée d'amplitude $U_0 + 1\,200\text{ V}$, avec une durée inférieure ou égale à 5 s;
- **surtensions temporaires** de longue durée d'amplitude $U_0 + 250\text{ V}$, avec une durée supérieure à 5 s;

où U_0 est la tension nominale phase neutre du réseau d'alimentation avec neutre à la terre.

La performance validée peut être déclarée par le fabricant comme une **surtension de tenue temporaire** assignée.

L'**isolation renforcée** doit résister à des valeurs égales au double des valeurs des **surtensions de tenue temporaires** spécifiées pour l'**isolation principale** sauf lorsque l'essai de **décharge partielle** est appliqué. Pour l'essai de **décharge partielle**, les facteurs donnés en 6.4.6.1 s'appliquent.

En ce qui concerne la vérification par des essais, se reporter à 6.4.5.

NOTE 1 Les valeurs sont conformes aux spécifications de l'Article 442 de l'IEC 60364-4-44:2007.

NOTE 2 Les valeurs sont des valeurs efficaces.

5.4.3.3 Tensions de crête répétitives

Il est possible de provisoirement partir du principe que les **tensions de crête répétitives** maximales du **réseau d'alimentation** sont égales à $F_4 \times \sqrt{2} U_0$, c'est-à-dire à 1,1 fois la valeur de crête de U_0 . En cas de présence de **tensions de crête répétitives**, la **tension d'extinction de décharge partielle** doit être au moins égale à:

- $F_1 \times F_4 \times \sqrt{2} U_0$, c'est-à-dire $1,32 \sqrt{2} U_0$ pour chaque **isolation principale** et **isolation supplémentaire**, et
- $F_1 \times F_3 \times F_4 \times \sqrt{2} U_0$, c'est-à-dire $1,65 \sqrt{2} U_0$ pour l'**isolation renforcée**.

NOTE $\sqrt{2} U_0$ est, dans les réseaux avec neutre à la terre, la valeur de crête de la tension phase-neutre fondamentale (non déformée) à la tension nominale du **réseau d'alimentation**. L'application des facteurs de multiplication utilisés dans le paragraphe ci-dessus est décrite à l'Annexe D.

Pour une explication des facteurs F , voir 6.4.6.1.

Dans les circuits internes, les **tensions de crête répétitives** les plus élevées doivent être évaluées à la place de $F_4 \times \sqrt{2} U_0$ et l'**isolation solide** doit également satisfaire aux exigences correspondantes.

En ce qui concerne la vérification par des essais, se reporter à 6.4.6.

5.4.3.4 Tensions en régime établi

La **tension locale en régime établi** et la **tension de crête en régime établi** représentent une contrainte de tension à long terme appliquée sur l'**isolation solide**.

Dans les cas où les **tensions locales en régime établi** ne sont pas sinusoïdales et qu'elles présentent des **tensions de crête répétitives** ou des **tensions de crête en régime établi** (voir la Figure 1), une attention particulière doit être prêtée à l'apparition d'éventuelles **décharges partielles**. De la même manière, lorsque des couches d'**isolation** et que des soufflures dans le matériau isolant moulé peuvent exister, une attention particulière doit être prêtée à l'apparition d'éventuelles **décharges partielles** susceptibles de détériorer l'**isolation solide**.

En ce qui concerne la vérification par des essais, se reporter à 6.4.6.

5.4.4 Tenue aux contraintes d'environnement

5.4.4.1 Tenue aux contraintes thermiques à court terme

L'**isolation solide** ne doit pas être affectée par des contraintes thermiques à court terme qui peuvent se produire en cours d'utilisation normale et, le cas échéant, en cours d'utilisation anormale. Les comités d'études doivent spécifier des niveaux de sévérité.

NOTE Des niveaux de sévérité normalisés sont spécifiés dans l'IEC 60068 (toutes les parties).

5.4.4.2 Tenue aux contraintes mécaniques

L'**isolation solide** ne doit pas être affectée par une vibration ou un choc mécanique susceptible de se produire en cours d'utilisation. Les comités d'études doivent spécifier des niveaux de sévérité.

NOTE Des niveaux de sévérité normalisés sont spécifiés dans l'IEC 60068 (toutes les parties).

5.4.4.3 Tenue aux contraintes thermiques à long terme

La dégradation thermique d'une **isolation solide** ne doit pas affecter la **coordination de l'isolement**, pendant la durée de vie prévue des matériels. Les comités d'études doivent spécifier si l'exécution d'un essai est nécessaire.

NOTE Se reporter également à l'IEC 60085 et à IEC 60216 (toutes les parties).

5.4.4.4 Tenue aux effets de l'humidité

La **coordination de l'isolement** doit être maintenue sous les conditions d'humidité, conformément aux exigences relatives aux matériels (voir également 6.4.3).

5.4.4.5 Autres facteurs influant sur l'isolation solide

Les matériels peuvent être soumis à d'autres contraintes, comme celles indiquées, par exemple, en 4.6.2.4 qui peuvent compromettre l'**isolation solide**. Les comités d'études doivent définir ces contraintes et spécifier les méthodes d'essai.

6 Essais et mesurages

6.1 Généralités

Les procédures d'essai suivantes s'appliquent aux **essais de type**, de telle manière qu'une détérioration potentielle du spécimen d'essai puisse être tolérée. Il est défini par hypothèse qu'il n'est pas prévu d'utiliser ultérieurement le spécimen d'essai.

Les procédures de vérification sont spécifiées pour:

- la vérification des **distances d'isolement** (voir 6.2);
- la vérification des **lignes de fuite** (voir 6.3);
- la vérification de l'**isolation solide** (voir 6.4);
- les essais diélectriques sur un matériel complet (voir 6.5);
- d'autres essais (voir 6.6).

Les comités d'études doivent étudier si des **essais de série sur prélèvement** ou des **essais individuels de série** doivent être effectués en complément aux **essais de type**, et spécifier les essais nécessaires à effectuer en tant qu'**essais individuels de série** et **sur prélèvement** afin de garantir la qualité du système d'isolation lors de la production. Les essais et le conditionnement, si nécessaire, doivent être spécifiés avec des paramètres d'essais adéquats permettant la détection de défauts sans détérioration de l'isolation (voir 6.6.2).

6.2 Vérification des distances d'isolement

6.2.1 Généralités

Deux cas doivent être pris en compte pour la vérification des **distances d'isolement**:

- pour les valeurs conformes au cas A du Tableau F.2, la vérification selon 6.8 est exigée et aucune vérification supplémentaire par un essai de tension n'est nécessaire;
- pour les valeurs inférieures à celles du cas A et supérieures à celles du cas B du Tableau F.2, la vérification doit être effectuée par l'essai de tension de choc conformément à 6.2.2.1.

Les contraintes des **distances d'isolement** causées par les **surtensions transitoires** sont évaluées par l'essai de tension de choc, qui peut être remplacé par un essai en tension alternative ou continue. Voir 6.2.2.1.3. Si la résistance aux **tensions locales en régime établi**, aux **tensions de crête répétitives** ou à la valeur de crête des **surtensions**

temporaires selon 5.2.2.4 est décisive pour le dimensionnement des **distances d'isolement** et si ces **distances d'isolement** sont inférieures aux valeurs du cas A du Tableau F.8, une tension d'essai en courant alternatif selon 6.2.2.1.3.2 est exigée.

Lorsque les **distances d'isolement** à l'intérieur d'un matériel sont vérifiées avec un essai de tension de choc, il est nécessaire de veiller à ce que la tension de choc spécifiée apparaisse pour la **distance d'isolement** en essai.

NOTE 1 L'essai diélectrique des **distances d'isolement** contraindra aussi l'**isolation solide** associée.

NOTE 2 Dans certains cas, ces essais sont également appliqués aux **lignes de fuite**, voir 5.3.2.5.

NOTE 3 Pour soumettre des matériels complets aux essais, voir 6.5.

6.2.2 Tensions d'essai

6.2.2.1 Essai diélectrique de tension de choc

6.2.2.1.1 Généralités

Cet essai a pour objet de vérifier que les **distances d'isolement** supportent les **surtensions transitoires** spécifiées. L'essai de tenue aux chocs est effectué avec une tension ayant une forme d'onde de 1,2/50 μ s avec les valeurs spécifiées dans le Tableau F.6. Pour la forme d'onde, le 7.1 de l'IEC 61180:2016 s'applique. Il est prévu pour simuler des **surtensions** d'origine atmosphérique et il tient aussi compte des **surtensions** dues aux manœuvres dans le **réseau d'alimentation (secteur)**.

Étant donnée la dispersion des résultats d'essai de tout essai de tension de choc, l'essai doit être effectué pour un minimum de trois chocs de chaque polarité, avec un intervalle d'au moins 1 s entre les impulsions.

L'impédance de sortie du générateur d'impulsions ne doit pas être supérieure à 500 Ω . Lors de l'essai d'un matériel comprenant des composants en dérivation sur le circuit d'essai, une impédance de générateur d'impulsions virtuelles nettement plus faible peut être spécifiée (voir l'IEC 61000-4-5:2014). Dans de tels cas, des effets de résonance potentiels qui peuvent augmenter la valeur de crête de la tension d'essai, doivent être pris en compte lors de la spécification des valeurs de tension d'essai.

Les comités d'études peuvent spécifier d'autres essais diélectriques, conformément à 6.2.2.1.3.

NOTE Les valeurs données dans le Tableau F.6 sont tirées des calculs de 6.2.2.1.4. Dans un souci d'exactitude des informations, elles sont données avec un niveau élevé de précision. Pour l'application pratique, les comités d'études peuvent choisir d'arrondir les valeurs.

6.2.2.1.2 Choix de la tension d'essai de choc

Si un essai diélectrique pour la **coordination de l'isolement** du matériel relatif aux **distances d'isolement** est exigé (pour des **distances d'isolement** inférieures à celles du cas A comme spécifié dans le Tableau F.2), le matériel doit être soumis à l'essai avec la tension d'essai de choc correspondant à la **tension assignée de tenue aux chocs** spécifiée conformément à 5.2.2.3. Les tensions d'essai de choc du Tableau F.6 sont applicables. Voir 6.2.2.1.4 pour les essais de choc à des altitudes différentes de 2 000 m.

Les comités d'études doivent spécifier des valeurs de température et d'humidité pour les conditions d'essai.

6.2.2.1.3 Variantes aux essais diélectriques de tension de choc

6.2.2.1.3.1 Généralités

Les comités d'études peuvent spécifier un essai en tension alternative ou continue, en variante, pour des matériels particuliers.

Alors que des essais avec des tensions alternatives et continues de même valeur de crête que les tensions d'essai de choc spécifiées dans le Tableau F.6 vérifient la capacité de tenue des **distances d'isolement**, ils contraignent plus sévèrement l'**isolation solide** car la tension est appliquée pendant une durée plus importante. Ils peuvent surcharger et détériorer certaines **isolations solides**. Il convient par conséquent que les comités d'études prennent ceci en considération s'ils spécifient des essais avec une tension alternative ou continue en variante à l'essai de tension de choc décrit en 6.4.5.

Alors qu'il est possible de remplacer un essai de tension de choc pour les **distances d'isolement** par un essai en tension alternative ou continue, il n'est en principe pas possible de remplacer un essai en tension alternative pour **isolation solide** par un essai de tension de choc. Les raisons essentielles sont la propagation différente des tensions de choc par rapport aux tensions à fréquence industrielle, en particulier dans les circuits complexes et le fait que les caractéristiques de résistance de l'**isolation solide** dépendent de la forme et de la durée de la contrainte de tension.

6.2.2.1.3.2 Essai diélectrique avec une tension alternative

La forme d'onde de la tension sinusoïdale d'essai à fréquence industrielle doit être pratiquement sinusoïdale. Cette exigence est satisfaite si le rapport entre la valeur de crête et la valeur efficace est égal à $\sqrt{2}$ avec une tolérance de $\pm 3 \%$. La valeur de crête doit être égale à la tension d'essai de choc du Tableau F.6 et appliquée pendant trois périodes de la tension d'essai en courant alternatif.

6.2.2.1.3.3 Essai diélectrique avec une tension continue

La tension d'essai en courant continu doit être en grande partie exempte d'ondulation. Cette exigence est satisfaite si le rapport entre les valeurs de crête de la tension et la valeur moyenne est égal à 1,0 avec une tolérance de $\pm 3 \%$. La valeur moyenne de la tension d'essai en courant continu doit être égale à la tension d'essai de choc du Tableau F.6 et appliquée trois fois durant 10 ms de chaque polarité.

6.2.2.1.4 Correction de l'altitude pour les essais à des altitudes différentes de 2 000 m

Conformément à 5.2.3.4, la **distance d'isolement** est valable pour le matériel utilisé jusqu'à 2 000 m au-dessus du niveau de la mer. À 2 000 m, la pression atmosphérique normale est de 80 kPa alors qu'au niveau de la mer, sa valeur est de 101,3 kPa. Voir également 4.7.2.

Du fait de la dépendance de la pression barométrique, les **distances d'isolement** soumises à l'essai selon 6.2.2.1 le sont sous des tensions d'essai de choc plus élevées, à des emplacements d'altitude inférieure à 2 000 m. Le Tableau F.6 donne la valeur de la tension d'essai de choc pour la vérification des **distances d'isolement** à des altitudes inférieures à 2 000 m.

Pour la réalisation de l'essai, les facteurs de température, les variations d'humidité et climatiques de la pression de l'air ne sont pas pris en compte sous réserve qu'il existe des conditions normales de laboratoire.

Les conditions normales de laboratoire sont spécifiées dans l'IEC 60068-1:

- température: 15 °C à 35 °C;
- pression de l'air: 86 kPa à 106 kPa au niveau de la mer;
- humidité relative: 25 % à 75 %.

La base de calcul des valeurs au niveau de la mer et les données pour déterminer les valeurs d'essai à d'autres emplacements sont présentées ci-dessous.

Les facteurs de correction de l'altitude donnés dans le Tableau A.2 sont étudiés en rapport avec la courbe de la Figure A.1. La relation est la suivante:

$$k_u = \left(\frac{1}{k_d} \right)^m$$

où

k_u est la correction de l'altitude pour la correction de la **tension de tenue**;

k_d est la correction de l'altitude pour la correction de la **distance d'isolement** (voir Tableau F.10);

m est la pente du segment de droite approprié de la courbe 1 de la Figure A.1 (échelles logarithmiques sur les deux axes de coordonnées) et à la valeur:

$m = 0,916\ 3$ pour $0,001 < d < 0,01$ mm;

$m = 0,330\ 5$ pour $0,01 \leq d \leq 0,062\ 5$ mm;

$m = 0,636\ 1$ pour $0,062\ 5 < d \leq 1$ mm;

$m = 0,853\ 9$ pour $1 < d \leq 10$ mm;

$m = 0,924\ 3$ pour $10 < d \leq 100$ mm;

et d est la **distance d'isolement** à l'étude en millimètres.

Il résulte de l'application du facteur de correction de l'altitude pour la correction des **distances d'isolement** que pour la courbe 1 de la Figure A.1, les tensions varient selon cinq pas différents pour un seul pas de décalage de distance. La formule mathématique pour cette opération est indiquée ci-dessus. Le Tableau F.6 inclut ce calcul comme décrit précédemment.

En d'autres termes, chaque valeur de k_d (facteur de correction de l'altitude pour la correction des **distances d'isolement**) produit cinq valeurs différentes de k_u (facteur de correction de l'altitude pour la correction de la **tension de tenue**) à partir des cinq pentes différentes (m) de la **tension de tenue** en fonction de la **distance d'isolement** (m ayant une valeur différente pour chacune des cinq plages de **distances d'isolement**, comme énoncé ci-dessus).

6.3 Vérification des lignes de fuite

Les **lignes de fuite** doivent être vérifiées selon 6.8.

Dans certains cas, des essais doivent également être appliqués aux **lignes de fuite**, voir 5.3.2.5.

6.4 Vérification de l'isolation solide

6.4.1 Généralités

La capacité de résistance aux contraintes de tension de l'**isolation solide** doit être vérifiée par un essai de tension dans tous les cas. Les contraintes causées par les **surtensions transitoires** sont évaluées par l'essai de tension de choc de 6.4.4. Les contraintes causées par une contrainte de **tension locale en régime établi** en courant alternatif ne peuvent être évaluées que par l'essai en tension alternative de 6.4.5. L'essai en tension continue de 6.4.7 avec une tension d'essai égale à la valeur de crête de la tension en courant alternatif n'est pas entièrement équivalent à l'essai en tension alternative de 6.4.5 en raison des différentes caractéristiques de résistance de l'**isolation solide** pour ces types de tensions. Cependant, dans le cas d'une simple contrainte de tension en courant continu, l'essai en tension continue de 6.4.7 est approprié.

6.4.2 Choix des essais

L'**isolation solide** pouvant être exposée à des contraintes mécaniques pendant le fonctionnement, le stockage, le transport ou l'installation doit être soumise à l'essai en ce qui concerne les vibrations et les chocs mécaniques avant d'effectuer les essais diélectriques. Les comités d'études peuvent spécifier des méthodes d'essai.

Les essais concernant la **coordination de l'isolement** sont des **essais de type**. Les comités d'études doivent spécifier quels **essais de type** sont exigés, selon les contraintes respectives susceptibles de se produire dans les matériels.

NOTE 1 Des niveaux de sévérité normalisés sont spécifiés dans l'IEC 60068 (toutes les parties).

Pour l'essai de **double isolation** sur l'échantillon:

- lorsque les deux isolations peuvent être soumises à l'essai séparément, deux mesurages d'essai doivent être effectués afin de vérifier l'**isolation principale**, puis l'**isolation supplémentaire**;
- lorsque les deux isolations ne peuvent être soumises à l'essai séparément, un mesurage d'essai doit être effectué afin de vérifier les deux isolations en série avec la tension d'essai de l'**isolation renforcée**.

NOTE 2 En cas de grande différence de valeur entre les deux condensateurs le long de chaque isolation, la contrainte de cet essai peut être plus que la tension d'une **isolation principale** sur l'une des deux isolations. Cela peut obliger à surdimensionner une isolation, ou à équilibrer les condensateurs le long de chaque isolation.

Ils ont les objectifs suivants:

- a) L'essai en **tension de tenue aux chocs** doit vérifier l'aptitude de l'**isolation solide** à supporter la **tension assignée de tenue aux chocs** (voir 5.4.3.1).
- b) L'essai en tension alternative doit vérifier l'aptitude de l'**isolation solide** à supporter:
 - la **surtension temporaire** de courte durée (voir 5.4.3.2);
 - la **tension de crête répétitive** (voir 5.4.3.3);
 - la **tension locale en régime établi** (voir 5.4.3.4);
 - la **tension de crête en régime établi** (voir 5.4.3.4).

Si la valeur de crête de la tension d'essai en courant alternatif est supérieure ou égale à la **tension assignée de tenue aux chocs**, l'essai de tension de choc est couvert par l'essai en tension alternative.

L'**isolation solide** a des caractéristiques de résistance différentes par rapport aux **distances d'isolement**. Si la durée de contrainte est augmentée, la capacité de résistance est considérablement réduite. C'est pourquoi il n'est pas permis de remplacer l'essai en tension alternative, qui est spécifié pour la vérification de la capacité de résistance de l'**isolation solide**, par un essai de tension de choc.

- c) L'essai en **décharge partielle** doit vérifier qu'aucune **décharge partielle** n'est maintenue dans l'**isolation solide** à:
- la valeur de crête de la **surtension temporaire** à long terme (voir 5.4.3.2);
 - la **tension de crête répétitive** (voir 5.4.3.3);
 - la **tension locale en régime établi** (voir 5.4.3.4);
 - la **tension de crête en régime établi** (voir 5.4.3.4).
- d) Les essais de tension à haute fréquence pour des fréquences supérieures à 30 kHz doivent vérifier l'absence de défaillance causée par l'échauffement diélectrique et par **décharge partielle** conformément à 6.4.8.

NOTE 3 Les informations concernant les caractéristiques de résistance de l'isolation à de hautes fréquences supérieures à 30 kHz et les méthodes d'essai sont données dans l'IEC 60664-4.

Les **essais de décharge partielle** pour l'**isolation solide** doivent être spécifiés si la valeur de crête des tensions indiquées en c) dépasse 700 V et si la contrainte moyenne de champ est supérieure à 1 kV/mm. La contrainte moyenne de champ est la tension de crête divisée par la distance entre deux parties de potentiel différent.

La procédure de 6.5 s'applique lorsque les essais sont exécutés sur des matériels complets.

Les comités d'études doivent déclarer si l'essai de choc de l'**isolation solide** est couvert par l'essai en tension alternative de l'**isolation solide** ou si un essai de tension de choc séparé est exigé.

6.4.3 Conditionnement

Sauf spécification contraire, les essais doivent être effectués sur un nouveau spécimen d'essai. Le conditionnement du spécimen à température et humidité élevées est destiné à:

- reproduire les conditions les plus sévères en fonctionnement normal;
- mettre en évidence les faiblesses éventuelles qui ne sont pas présentes dans les nouvelles conditions.

Les comités d'études doivent spécifier les méthodes de conditionnement appropriées parmi les méthodes recommandées suivantes:

- a) chaleur sèche (IEC 60068-2-2), afin de permettre au spécimen d'atteindre un état de stabilité thermique qui peut ne pas exister immédiatement après sa fabrication;
- b) variation de température en fonction d'un taux de variation spécifié (essai Nb de l'IEC 60068-2-14:2009), afin de provoquer la formation de soufflures susceptibles d'apparaître durant le stockage, le transport et l'utilisation normale;
- c) choc thermique (variation rapide de température en fonction d'une durée de transfert spécifiée, essai Na de l'IEC 60068-2-14:2009), afin de provoquer la formation de soufflures susceptibles d'apparaître durant le stockage, le transport et l'utilisation normale;
- d) chaleur humide, essai continu (IEC 60068-2-78), afin d'évaluer l'effet de l'absorption d'eau dans l'**isolation solide** et ses conséquences sur les propriétés diélectriques.

En ce qui concerne les **essais de tension de tenue aux chocs**, de tension alternative à fréquence industrielle et de tension à haute fréquence, les méthodes de conditionnement a) et d) sont les plus importantes. En ce qui concerne les essais de **décharges partielles**, les méthodes de conditionnement b) et c) sont les plus appropriées.

Si le conditionnement d'une **isolation solide** est exigé, cette procédure doit être effectuée avant les **essais de type**. Les valeurs de température, d'humidité et de durée doivent être choisies parmi celles indiquées dans le Tableau F.7. Les comités d'études peuvent spécifier, si besoin, des valeurs de sévérité plus élevées.

Il peut être approprié de soumettre des composants au conditionnement avant les essais diélectriques, par exemple des éléments électriques, sous-ensembles, matériaux isolants et matériaux. Un tel conditionnement n'est pas exigé dans la mesure où les composants ont fait l'objet d'**essai de type** conformément à 6.4.3.

6.4.4 Essai de tension de choc

6.4.4.1 Méthode d'essai

Les méthodes d'essai de tension de choc de 6.2.2.1 s'appliquent aussi à l'**isolation solide** avec comme seule différence que les facteurs de correction d'altitude du Tableau F.6 ne sont pas applicables. L'essai doit être effectué pour cinq chocs de chaque polarité, avec un intervalle d'au moins 1 s entre les impulsions de choc. La forme d'onde de chaque impulsion de choc doit être enregistrée (voir 6.4.4.2).

6.4.4.2 Critères d'acceptation

Aucune **perforation** ou claquage partiel de l'**isolation solide** ne doit se produire pendant l'essai, mais des **décharges partielles** sont admises. Un claquage partiel est indiqué par un échelon dans la forme d'onde résultante et cet échelon apparaît prématurément dans les impulsions de choc successives.

NOTE Des **décharges partielles** au niveau des soufflures peuvent induire des échelons de tension de très courte durée qui peuvent se reproduire tout au long d'une impulsion.

6.4.5 Essai en tension alternative à fréquence industrielle

6.4.5.1 Méthode d'essai

La forme d'onde de la tension sinusoïdale d'essai à fréquence industrielle doit être pratiquement sinusoïdale. Cette exigence est satisfaite si le rapport entre la valeur de crête et la valeur efficace est égal à $\sqrt{2}$ avec une tolérance de $\pm 3\%$. La valeur de crête doit être égale à la valeur la plus élevée des tensions mentionnées en 6.4.2b).

Pour l'**isolation principale** et l'**isolation supplémentaire**, la tension d'essai a la même valeur que les tensions mentionnées en 6.4.2b). Pour l'**isolation renforcée**, la tension d'essai est le double de la valeur utilisée pour l'**isolation principale**.

La tension d'essai alternative doit être uniformément augmentée de 0 V à la valeur spécifiée en 5.4.3.2 dans un intervalle de temps maximal de 5 s et elle doit être maintenue à cette valeur pendant au moins 60 s.

Dans les cas où la **surtension temporaire** de courte durée constitue l'exigence la plus sévère en ce qui concerne l'amplitude de la tension d'essai, une réduction de la durée de l'essai à la valeur minimale de 5 s peut être envisagée par les comités d'études.

NOTE 1 Pour des types particuliers d'isolation, des durées d'essai plus longues peuvent être exigées pour détecter une faiblesse à l'intérieur de l'**isolation solide**.

NOTE 2 En cas d'essai vis-à-vis de contraintes importantes en régime établi comprenant des **tensions de crête répétitives** élevées, les comités d'études peuvent envisager l'introduction d'une marge de sécurité pour la tension d'essai.

Dans certains cas, il est nécessaire de remplacer la tension d'essai alternative par une tension d'essai continue d'une valeur égale à la valeur de crête de la tension alternative, cependant cet essai est moins strict que l'essai de tension alternative. Les comités d'études doivent tenir compte de cette situation (voir 6.4.7).

Le matériel d'essai doit satisfaire à l'IEC 61180:2016.

6.4.5.2 Critères d'acceptation

Aucun claquage de l'**isolation solide** ne doit se produire.

6.4.6 Essai de décharge partielle

6.4.6.1 Généralités

Le matériel d'essai doit satisfaire à l'IEC 61180 et la forme d'onde de la tension doit être celle définie en 6.1.1.1 de l'IEC 61180:2016. La **tension d'extinction de décharge partielle** doit être égale à la valeur la plus élevée des tensions mentionnées en 6.4.2c) en tenant compte des facteurs de multiplication F_1 , F_3 et F_4 dans la limite de ce qui est applicable. La valeur qui en résulte est représentée à la Figure 3 comme $U_{\text{test voltage}}$.

Les méthodes d'essai de décharge partielle sont décrites à l'Annexe C. Pendant l'exécution de l'essai, les facteurs de multiplication F_1 à F_4 ci-dessous sont utilisés. L'utilisation de ces facteurs est donnée à titre d'exemple pour la **tension de crête répétitive** U_{rp} , voir également l'Annexe D. Les facteurs doivent être appliqués de la même manière à la **tension de crête en régime établi** et à la valeur de crête de la **surtension temporaire** à long terme.

Dans l'essai de **décharge partielle**, la valeur de crête est applicable et il convient de convertir la valeur efficace de la **surtension temporaire** en valeur de crête.

F_1 Facteur de sécurité de base pour les essais de DP et le dimensionnement de l'**isolation principale** et de l'**isolation supplémentaire**.

La **tension d'extinction de décharge partielle** peut être influencée par les conditions d'environnement, telles que la température. Ces influences sont prises en compte par un facteur de sécurité de base F_1 égal à 1,2. En ce qui concerne l'**isolation principale** ou l'**isolation supplémentaire**, la **tension d'extinction de décharge partielle** est donc supérieure ou égale à $1,2 U_{\text{rp}}$.

F_2 Facteur d'hystérésis de DP.

Une hystérésis se produit entre la **tension de seuil de décharge partielle** et la **tension d'extinction de décharge partielle**. L'expérience pratique indique que ce facteur F_2 n'est pas supérieur à 1,25. Pour l'**isolation principale** et l'**isolation supplémentaire**, la valeur initiale de la tension d'essai est donc $F_1 \times F_2 \times U_{\text{rp}}$, c'est-à-dire $1,2 \times 1,25 U_{\text{rp}} = 1,5 U_{\text{rp}}$.

NOTE Ceci tient compte du fait que la DP peut être engendrée par des **surtensions transitoires** supérieures à **tension de seuil de décharge partielle** et maintenue, par exemple, par les valeurs de **tension de crête répétitive** supérieures à **tension d'extinction de décharge partielle**. Une telle situation peut exiger une combinaison entre les tensions de choc et les tensions alternatives durant l'essai ce qui n'est pas réalisable. C'est pourquoi un essai avec une tension alternative est exécuté en prenant une tension d'essai initialement augmentée.

F_3 Facteur de sécurité supplémentaire pour les essais de DP et le dimensionnement d'une **isolation renforcée**.

En ce qui concerne l'**isolation renforcée**, une appréciation du risque plus rigoureuse est exigée. Par conséquent, un facteur supplémentaire de sécurité $F_3 = 1,25$ est exigé. La valeur initiale de la tension d'essai est $F_1 \times F_2 \times F_3 \times U_{\text{rp}}$, c'est-à-dire $1,2 \times 1,25 \times 1,25 U_{\text{rp}} = 1,875 U_{\text{rp}}$.

F_4 Facteur couvrant les écarts par rapport à la tension nominale U_0 du **réseau d'alimentation**.

En ce qui concerne les circuits reliés au **réseau d'alimentation**, ce facteur tient compte de l'écart maximal par rapport à la tension nominale du **réseau d'alimentation**. Par conséquent, la tension de crête, à la tension nominale U_0 , doit être multipliée par $F_4 = 1,1$.

6.4.6.2 Vérification

L'essai doit vérifier qu'aucune **décharge partielle** n'est maintenue à la plus élevée des valeurs de 6.4.2c):

NOTE Dans des cas où, en complément, les valeurs réelles de **tension de seuil de décharge partielle** et de **tension d'extinction de décharge partielle** sont recherchées, la procédure de mesure est décrite à l'Article D.1.

L'essai de décharge partielle est généralement utilisé pour vérifier les composants, les petits ensembles et les petits matériels.

La valeur minimale exigée pour la tension d'extinction de décharge doit être supérieure d'un facteur F_1 à la plus élevée des valeurs mentionnées en 6.4.2c).

Selon le type de spécimen, les comités d'études doivent spécifier

- le circuit d'essai (voir l'Article C.1);
- le matériel de mesure (voir les Articles C.3 et D.2);
- la fréquence de mesure (voir C.3.1 et D.3.4);
- la procédure d'essai (voir 6.4.6.3).

6.4.6.3 Procédure d'essai

La valeur des tensions d'essai et l'utilisation des différents facteurs sont expliquées en 6.4.6.1. La tension doit être augmentée uniformément de 0 V à la valeur initiale de la tension d'essai. Cette valeur est ensuite maintenue constante pendant une durée spécifiée t_1 , ne dépassant pas 5 s. Si aucune **décharge partielle** n'est apparue, la tension d'essai est ensuite abaissée à zéro après t_1 . En présence d'une **décharge partielle**, la tension est abaissée à la tension d'essai U_t , qui est maintenue constante pendant une durée spécifiée t_2 , jusqu'à ce que la grandeur de la **décharge partielle** soit mesurée, voir Figure 3.

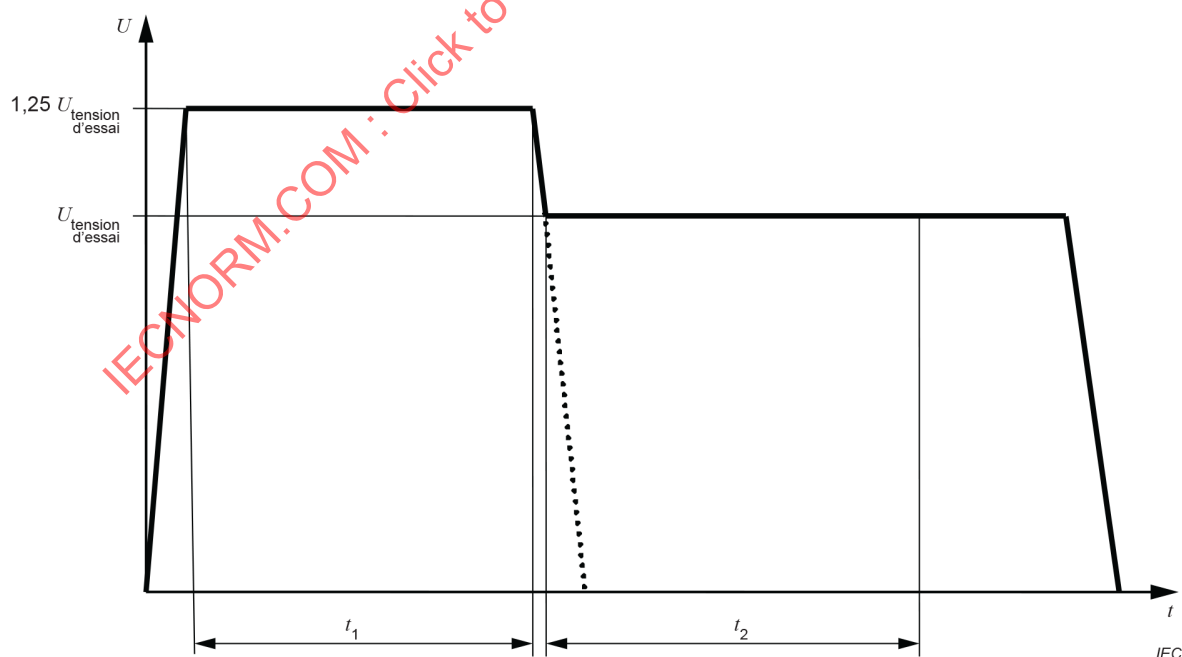


Figure 3 – Tensions d'essai

6.4.6.4 Critères d'acceptation

6.4.6.4.1 Grandeur de décharge spécifiée

Le but étant l'absence de **décharges partielles** permanentes en conditions de fonctionnement normal, la plus faible valeur, possible en pratique, doit être spécifiée (voir l'Annexe D).

NOTE 1 À l'exception des décharges provoquées par des décharges par effluves dans l'air (par exemple des transformateurs non moulés), les valeurs au-dessus de 10 pC ne sont pas convenables.

NOTE 2 Les valeurs aussi faibles que 2 pC sont possibles avec les appareils généralement disponibles.

Le niveau de bruit ne doit pas être déduit de la valeur de lecture de l'appareil de mesure des **décharges partielles**.

6.4.6.4.2 Résultat d'essai

L'**isolation solide** est considérée comme conforme si:

- aucun claquage ne s'est produit au niveau de l'isolation; et
- durant l'application de la tension d'essai des **décharges partielles** n'ont pas eu lieu, ou si après t_2 , la grandeur de décharge mesurée n'est pas supérieure à la grandeur de décharge spécifiée.

6.4.7 Essai en tension continue

L'essai en tension continue avec une tension d'essai égale à la valeur de crête de la tension alternative n'est pas entièrement équivalent à l'essai en tension alternative en raison des différentes caractéristiques de résistance de l'**isolation solide** pour ces types de tensions (voir 6.4.5.1). Cependant, dans le cas d'une simple contrainte de tension en courant continu, l'essai en tension continue est approprié.

La tension d'essai en courant continu doit être en grande partie exempte d'ondulation. Cette exigence est satisfaite si le rapport entre les valeurs de crête de la tension et la valeur moyenne est égal à 1,0 avec une tolérance de $\pm 3\%$. La valeur moyenne de la tension d'essai continue doit être égale à la valeur de crête de la tension d'essai alternative mentionnée en 6.4.2b).

Pour l'**isolation principale** et l'**isolation supplémentaire**, la tension d'essai a la même valeur que les tensions mentionnées en 6.4.2b). Pour l'**isolation renforcée**, la tension d'essai est le double de la valeur utilisée pour l'**isolation principale**.

La tension d'essai continue doit être uniformément augmentée de 0 V à la valeur spécifiée en 5.4.3.2 dans un intervalle de temps maximal de 5 s et elle doit être maintenue à cette valeur pendant au moins 60 s.

NOTE 1 Dans certains cas, le courant de charge dû aux condensateurs peut être trop élevé et un temps de montée plus long peut être nécessaire.

Le matériel d'essai est spécifié dans l'IEC 61180. Il est recommandé que le courant de sortie de court-circuit du générateur ne soit pas inférieur à 200 mA.

NOTE 2 Pour les tensions d'essai supérieures à 3 kV, il est suffisant que la puissance assignée du matériel d'essai soit supérieure ou égale à 600 VA.

Le courant de déclenchement du générateur doit être réglé sur une valeur de 100 mA ou pour les tensions d'essai supérieures à 6 kV sur la valeur la plus élevée possible.

NOTE 3 Pour les **essais individuels de série**, le courant de déclenchement peut être réglé à des niveaux inférieurs mais pas à moins de 10 mA.

6.4.8 Essai de tension à haute fréquence

Pour les tensions à haute fréquence supérieures à 30 kHz selon 6.4.2d), des essais en tension alternative supplémentaires ou de substitution conformément à 6.4.5 ou des **essais de décharges partielles** conformément à 6.4.6 peuvent être nécessaires.

NOTE Les informations concernant les caractéristiques de résistance de l'isolation à de hautes fréquences supérieures à 30 kHz et les méthodes d'essai sont données dans l'IEC 60664-4.

6.5 Exécution des essais diélectriques sur des matériels complets

6.5.1 Généralités

Lorsque l'essai de tension de choc est réalisé sur des matériels complets, l'affaiblissement ou l'amplification de la tension d'essai doivent être pris en compte. Il est nécessaire de veiller à appliquer la valeur exigée de la tension d'essai aux bornes du matériel en essai.

Les dispositifs de protection contre les surtensions doivent être déconnectés avant les essais diélectriques.

NOTE Si des condensateurs à haute capacité sont parallèles aux parties entre lesquelles il est nécessaire d'appliquer la tension d'essai, il peut être difficile, voire impossible, d'exécuter l'essai de tension alternative parce que le courant de charge est susceptible de dépasser les capacités du dispositif d'essai à haute tension (200 mA). Dans ce dernier cas, ces condensateurs parallèles peuvent être déconnectés avant l'essai. Si cela est impossible, l'essai en courant continu peut être pris en considération.

6.5.2 Parties à soumettre à l'essai

La tension d'essai doit être appliquée entre les parties du matériel qui sont séparées électriquement l'une de l'autre.

Ces parties sont, par exemple

- des parties actives;
- des circuits séparés;
- des circuits mis à la terre;
- des surfaces accessibles.

Les parties non conductrices des surfaces accessibles doivent être recouvertes d'une feuille métallique. Si un revêtement complet de grandes enveloppes avec une feuille métallique n'est pas réalisable, un revêtement partiel est suffisant s'il est appliqué aux parties qui procurent la protection contre les chocs électriques.

6.5.3 Préparation des circuits du matériel

Pour l'essai, chaque circuit du matériel doit être préparé comme suit:

- les bornes externes du circuit, s'il y en a, doivent être connectées ensemble;
- l'appareillage à l'intérieur du matériel doit être en position fermée ou shunté;
- les bornes des composants bloquant la tension (tels que les diodes de redressement) doivent être connectées ensemble;
- les composants tels que les filtres contre les perturbations radioélectriques doivent être inclus dans l'essai au choc, mais il peut être nécessaire de les déconnecter pendant les essais en courant alternatif.

Pour l'essai, inclure certains composants spécifiques comme:

- les composants sensibles à la tension d'un circuit quelconque du matériel qui ne court-circuitent pas l'**isolation principale**, l'**isolation supplémentaire** ou l'**isolation renforcée** peuvent être shuntés en court-circuitant les bornes;

- les cartes de circuits imprimés enfichables préalablement soumises à l'essai et les modules préalablement soumis à l'essai comportant des connecteurs multipôles peuvent être retirés, déconnectés ou remplacés par des éléments factices, afin d'assurer que la tension d'essai se propage à l'intérieur du matériel pour les essais d'isolement avec l'ampleur nécessaire.

6.5.4 Valeurs de la tension d'essai

Les circuits raccordés au **réseau d'alimentation** sont soumis à l'essai conformément à 6.2 et 6.4.

La tension d'essai entre deux circuits du matériel doit avoir la valeur correspondant à la tension la plus élevée qui peut réellement apparaître entre ces circuits.

6.5.5 Critères d'essai

Il ne doit pas y avoir de décharge disruptive (**amorçage**, **contournement** ou **perforation**) pendant ces essais. Les **décharges partielles** dans les **distances d'isolement** qui ne provoquent pas de claquage ne sont pas retenues, sauf spécification contraire du comité d'études.

NOTE Un oscilloscope peut être utilisé pour observer la tension de choc afin de détecter une décharge disruptive.

6.6 Autres essais

6.6.1 Essai dans un but autre que la coordination de l'isolement

Les comités d'études spécifiant des essais diélectriques à des fins autres que la vérification de la **coordination de l'isolement** ne doivent pas spécifier des tensions d'essai plus élevées que celles exigées pour la **coordination de l'isolement**.

6.6.2 Essais individuels de série et sur prélèvement

Les **essais individuels de série et sur prélèvement** sont prévus afin d'assurer la qualité de la production. Il est de la responsabilité du comité d'études compétent, et en particulier du fabricant, de spécifier ces essais. Ils doivent être effectués avec les formes d'onde et les niveaux de tension, de sorte que les défauts soient détectés sans occasionner de dommage au matériel (**isolation solide** ou composants).

Les comités d'études qui spécifient les **essais de série sur prélèvement** et les **essais individuels de série** ne doivent en aucun cas spécifier des tensions d'essai supérieures à celles exigées pour les **essais de type**.

6.6.3 Exactitude de mesure des paramètres d'essai

Tous les paramètres d'essai importants doivent être mesurés avec une grande exactitude afin de donner des résultats d'essai bien définis et comparables. Dans un souci d'harmonisation, l'exactitude de mesure des dispositifs de mesure utilisés pour les paramètres de l'essai suivant est donnée dans le présent document:

- | | |
|---|----------|
| a) tension d'essai (alternative et continue): | ±3 %; |
| tension d'essai (choc): | ±5 %; |
| b) courant: | ±1,5 %; |
| c) fréquence: | ±0,2 %; |
| d) température: | |
| • inférieure à 100 °C | ±2 K; |
| • 100 °C jusqu'à 500 °C | ±3 %; |
| e) humidité relative: | ±3 % HR; |

NOTE L'exactitude donnée fait référence à celle du dispositif de mesure de l'humidité. Elle n'inclut pas l'uniformité d'humidité dans l'enceinte ni/ou l'influence de l'échantillon d'essai sur l'uniformité d'humidité. L'humidité de l'enceinte est mesurée à un seul emplacement avant l'essai de l'échantillon.

- f) grandeur de **décharge partielle**: $\pm 10\%$ ou ± 1 pC (les valeurs les plus élevées s'appliquent);
- g) durée (tension de choc) $\pm 20\%$;
durée (durée d'essai) $\pm 1\%$.

6.7 Mesurage de l'affaiblissement des surtensions transitoires

Le mesurage proposé (voir 4.2.2.5) de l'affaiblissement des tensions transitoires n'est possible qu'en utilisant un générateur d'impulsions adapté, avec une impédance de sortie très faible.

Ce mesurage peut être réalisé en utilisant le "générateur d'ondes combinées 1,2/50 μ s" conforme à l'IEC 61000-4-5 avec une impédance effective de sortie de 2 Ω .

NOTE L'impédance de sortie de 2 Ω est le cas le plus défavorable. Voir également l'Article C.1 de l'IEC 61000-4-5:2014, pour les différentes impédances de source par rapport à chaque mode de couplage.

6.8 Mesurage des distances d'isolement et des lignes de fuite

Les **distances d'isolement** et les **lignes de fuite** sont vérifiées au minimum par:

- mesurage physique ou,
- inspection du comité de conception, des dessins ou,
- conception assistée par ordinateur 2D ou 3D (CAO 2D ou 3D).

Les méthodes de mesure des **distances d'isolement** et des **lignes de fuite** sont indiquées de la Figure 4 à la Figure 14. Ces cas ne font pas de différence entre les intervalles et les rainures ou entre les types d'isolation. De même, lorsque l'exemple présenté constitue un angle, ces cas peuvent s'appliquer à tout angle.

Les hypothèses suivantes ont été formulées:

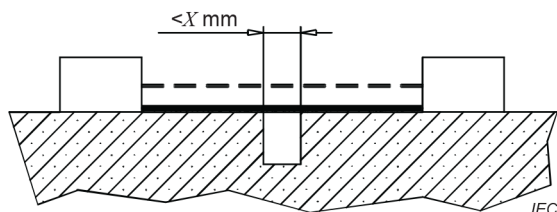
- Lorsque la distance au-dessus d'une rainure est inférieure à la largeur X spécifiée (voir Tableau 1), la **ligne de fuite** est mesurée en ligne droite au-dessus de la rainure et ne tient pas compte du contour de la rainure (voir Figure 4).
- lorsque la distance au-dessus d'une rainure est supérieure ou égale à la largeur X spécifiée (voir Tableau 1), la **ligne de fuite** est mesurée le long du contour de la rainure (voir Figure 5).
- tout logement est par hypothèse ponté par une liaison isolante de longueur égale à la largeur X spécifiée et placée dans la position la plus défavorable (voir Figure 6);
- les **distances d'isolement** et les **lignes de fuite** mesurées entre les parties mobiles l'une par rapport à l'autre sont mesurées lorsque ces parties se trouvent dans leurs positions les plus défavorables.

La dimension X , spécifiée dans les exemples suivants, a une valeur minimale dépendant du **degré de pollution** donné dans le Tableau 1.

Tableau 1 – Dimensionnement des rainures

Degré de pollution	Valeur minimale de la dimension X
1	0,25 mm
2	1,0 mm
3	1,5 mm

Si la **distance d'isolement** associée exigée est inférieure à 3 mm, la largeur X minimale peut être réduite au tiers de la valeur de la **distance d'isolement** associée.

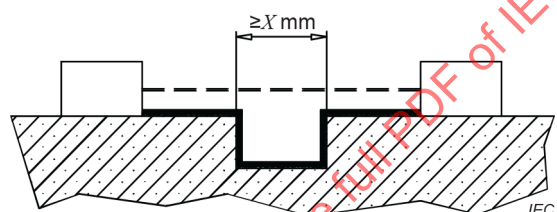


Condition: Ce chemin de ligne de fuite comprend une rainure à flancs parallèles ou convergents, de profondeur quelconque et de largeur inférieure à X mm.

Règle: La **distance d'isolement** et la **ligne de fuite** sont mesurées en ligne droite au-dessus de la rainure, comme indiqué ci-dessus.

----- Distance d'isolement ———— Ligne de fuite

Figure 4 – Au-dessus de la rainure

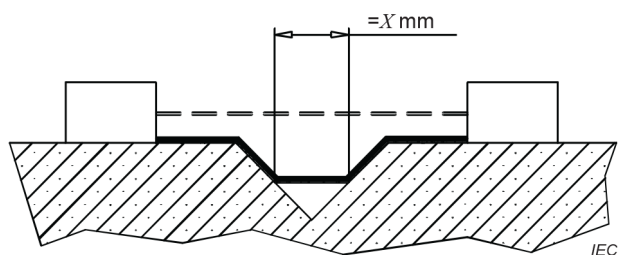


Condition: Ce chemin de ligne de fuite comprend une rainure à flancs parallèles, de profondeur quelconque et de largeur égale ou supérieure à X mm.

Règle: La **distance d'isolement** est la distance en ligne droite. Le chemin de la **ligne de fuite** longe le contour de la rainure.

----- Distance d'isolement ———— Ligne de fuite

Figure 5 – Contour de la rainure

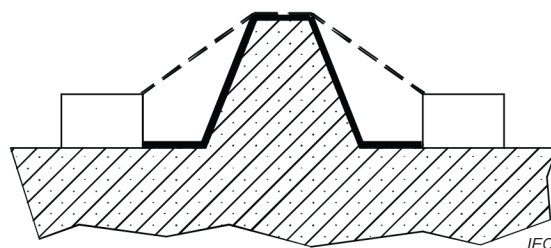


Condition: Ce chemin de ligne de fuite comprend une rainure en V dont la largeur est supérieure à X mm.

Règle: La **distance d'isolement** est la distance en ligne droite. Le chemin de la **ligne de fuite** longe le contour de la rainure, mais couvre le bas de la rainure par une liaison isolante de X mm.

----- Distance d'isolement ———— Ligne de fuite

Figure 6 – Contour de la rainure avec angle

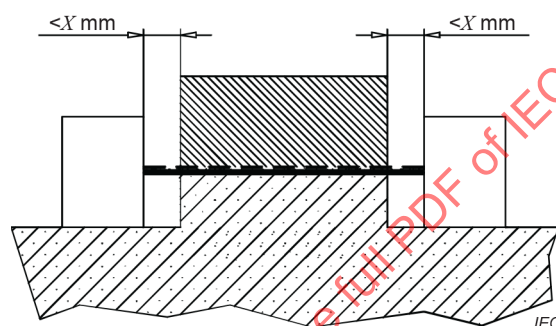


Condition: Ce chemin de ligne de fuite comprend une nervure.

Règle: La **distance d'isolement** est le chemin dans l'air le plus court au-dessus du sommet de la nervure. Le chemin de la **ligne de fuite** longe le contour de la nervure.

----- Distance d'isolement Ligne de fuite

Figure 7 – Contour de la nervure

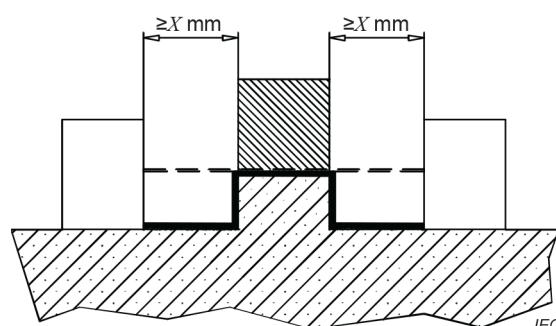


Condition: Ce chemin de ligne de fuite comprend un joint non collé avec des rainures de largeur inférieure à X mm de chaque côté.

Règle: Le chemin de la **ligne de fuite** et de la **distance d'isolement** est la distance en ligne droite indiquée ci-dessus.

----- Distance d'isolement Ligne de fuite

Figure 8 – Joint non collé avec des rainures de largeur inférieure à X

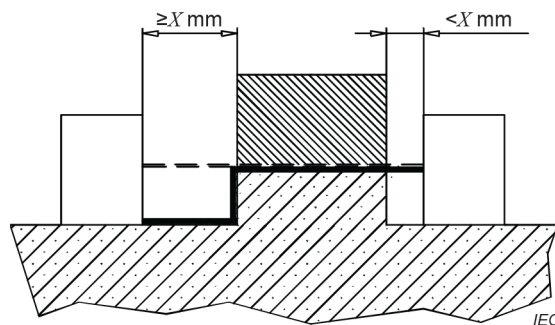


Condition: Ce chemin de ligne de fuite comprend un joint non collé avec des rainures de largeur égale ou supérieure à X mm de chaque côté.

Règle: La **distance d'isolement** est la distance en ligne droite. Le chemin de la **ligne de fuite** longe le contour de la rainure.

----- Distance d'isolement Ligne de fuite

Figure 9 – Joint non collé avec des rainures de largeur égale ou supérieure à X

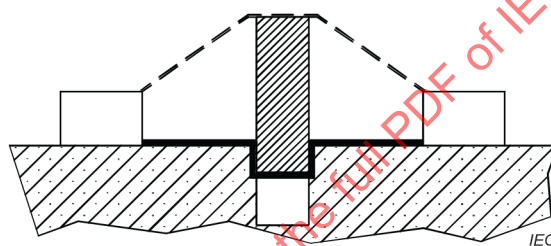


Condition: Ce chemin de ligne de fuite comprend un joint non collé avec, d'un côté une rainure de largeur inférieure à X mm et, de l'autre côté, une rainure de largeur égale ou supérieure à X mm.

Règle: Les chemins de la **distance d'isolement** et de la **ligne de fuite** sont indiqués ci-dessus.

--- Distance d'isolement Ligne de fuite

Figure 10 – Joint non collé avec d'un côté une rainure de largeur inférieure à X

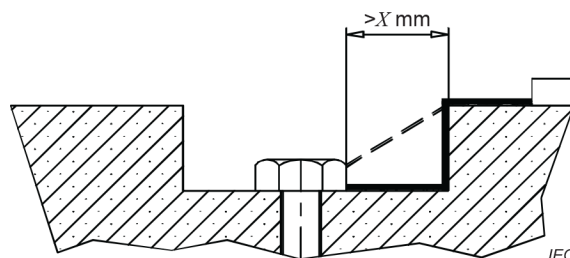


Condition: La **ligne de fuite** à travers le joint non collé est inférieure à la **ligne de fuite** au-dessus de la barrière, mais supérieure à la **distance d'isolement** au-dessus du sommet de la barrière.

Règle: La **distance d'isolement** est le chemin dans l'air le plus court au-dessus du sommet de la barrière.

--- Distance d'isolement Ligne de fuite

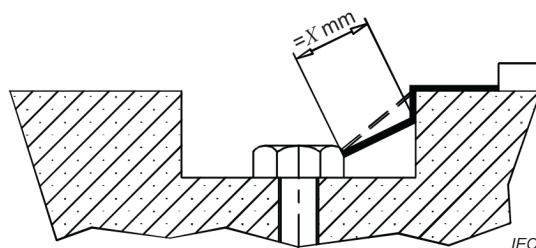
Figure 11 – Ligne de fuite et distance d'isolement à travers un joint non collé



Distance suffisante entre tête de vis et paroi du logement pour être prise en compte.

--- Distance d'isolement Ligne de fuite

Figure 12 – Ligne de fuite et distance d'isolement par rapport à une tête de vis de largeur supérieure à X

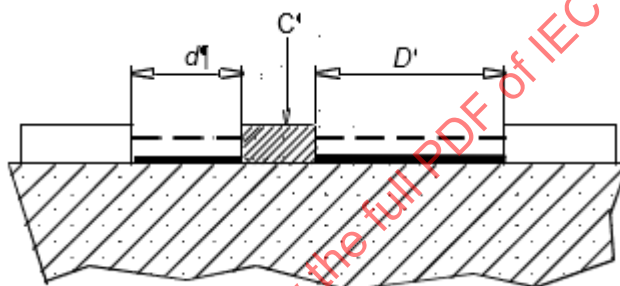


Distance trop faible entre tête de vis et paroi du logement pour être prise en compte.

Le mesurage de la **ligne de fuite** s'effectue de la tête de vis à la paroi quand la distance est égale à X mm.

— — — — — Distance d'isolement Ligne de fuite

Figure 13 – Ligne de fuite et distance d'isolement par rapport à une tête de vis de largeur inférieure à X



C: partie conductrice flottante

Distance d'isolement = $d + D$

Ligne de fuite = $d + D$

— — — — — Distance d'isolement Ligne de fuite

NOTE Voir le Tableau F.2 pour le **distance d'isolement** minimale de d or D

Figure 14 – Ligne de fuite et distance d'isolement avec une partie conductrice flottante