

NORME  
INTERNATIONALE  
INTERNATIONAL  
STANDARD

CEI  
IEC  
71-1

Septième édition  
Seventh edition  
1993-12

---

---

**Coordination de l'isolement**

**Partie 1:**  
Définitions, principes et règles

**Insulation co-ordination**

**Part 1:**  
Definitions, principles and rules



Numéro de référence  
Reference number  
CEI/IEC 71-1: 1993

## Validité de la présente publication

Le contenu technique des publications de la CEI est constamment revu par la CEI afin qu'il reflète l'état actuel de la technique.

Des renseignements relatifs à la date de reconfirmation de la publication sont disponibles auprès du Bureau Central de la CEI.

Les renseignements relatifs à ces révisions, à l'établissement des éditions révisées et aux amendements peuvent être obtenus auprès des Comités nationaux de la CEI et dans les documents ci-dessous:

- **Bulletin de la CEI**
- **Annuaire de la CEI**  
Publié annuellement
- **Catalogue des publications de la CEI**  
Publié annuellement et mis à jour régulièrement

## Terminologie

En ce qui concerne la terminologie générale, le lecteur se reportera à la CEI 50: *Vocabulaire Electrotechnique International* (VEI), qui se présente sous forme de chapitres séparés traitant chacun d'un sujet défini. Des détails complets sur le VEI peuvent être obtenus sur demande. Voir également le dictionnaire multilingue de la CEI.

Les termes et définitions figurant dans la présente publication ont été soit tirés du VEI, soit spécifiquement approuvés aux fins de cette publication.

## Symboles graphiques et littéraux

Pour les symboles graphiques, les symboles littéraux et les signes d'usage général approuvés par la CEI, le lecteur consultera:

- la CEI 27: *Symboles littéraux à utiliser en électro-technique;*
- la CEI 417: *Symboles graphiques utilisables sur le matériel. Index, relevé et compilation des feuilles individuelles;*
- la CEI 617: *Symboles graphiques pour schémas;*

et pour les appareils électromédicaux,

- la CEI 878: *Symboles graphiques pour équipements électriques en pratique médicale.*

Les symboles et signes contenus dans la présente publication ont été soit tirés de la CEI 27, de la CEI 417, de la CEI 617 et/ou de la CEI 878, soit spécifiquement approuvés aux fins de cette publication.

## Publications de la CEI établies par le même comité d'études

L'attention du lecteur est attirée sur les listes figurant à la fin de cette publication, qui énumèrent les publications de la CEI préparées par le comité d'études qui a établi la présente publication.

## Validity of this publication

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC, thus ensuring that the content reflects current technology.

Information relating to the date of the reconfirmation of the publication is available from the IEC Central Office.

Information on the revision work, the issue of revised editions and amendments may be obtained from IEC National Committees and from the following IEC sources:

- **IEC Bulletin**
- **IEC Yearbook**  
Published yearly
- **Catalogue of IEC publications**  
Published yearly with regular updates

## Terminology

For general terminology, readers are referred to IEC 50: *International Electrotechnical Vocabulary* (IEV), which is issued in the form of separate chapters each dealing with a specific field. Full details of the IEV will be supplied on request. See also the IEC Multilingual Dictionary.

The terms and definitions contained in the present publication have either been taken from the IEV or have been specifically approved for the purpose of this publication.

## Graphical and letter symbols

For graphical symbols, and letter symbols and signs approved by the IEC for general use, readers are referred to publications:

- IEC 27: *Letter symbols to be used in electrical technology;*
- IEC 417: *Graphical symbols for use on equipment. Index, survey and compilation of the single sheets;*
- IEC 617: *Graphical symbols for diagrams;*

and for medical electrical equipment,

- IEC 878: *Graphical symbols for electromedical equipment in medical practice.*

The symbols and signs contained in the present publication have either been taken from IEC 27, IEC 417, IEC 617 and/or IEC 878, or have been specifically approved for the purpose of this publication.

## IEC publications prepared by the same technical committee

The attention of readers is drawn to the end pages of this publication which list the IEC publications issued by the technical committee which has prepared the present publication.

NORME  
INTERNATIONALE  
INTERNATIONAL  
STANDARD

CEI  
IEC  
71-1

Septième édition  
Seventh edition  
1993-12

---

---

**Coordination de l'isolement**

**Partie 1:**  
Définitions, principes et règles

**Insulation co-ordination**

**Part 1:**  
Definitions, principles and rules

© CEI 1993 Droits de reproduction réservés — Copyright — all rights reserved

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'éditeur.

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 the publisher.

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale 3, rue de Varembe Genève, Suisse



Commission Electrotechnique Internationale  
International Electrotechnical Commission  
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX  
PRICE CODE

T

Pour prix, voir catalogue en vigueur  
For price, see current catalogue

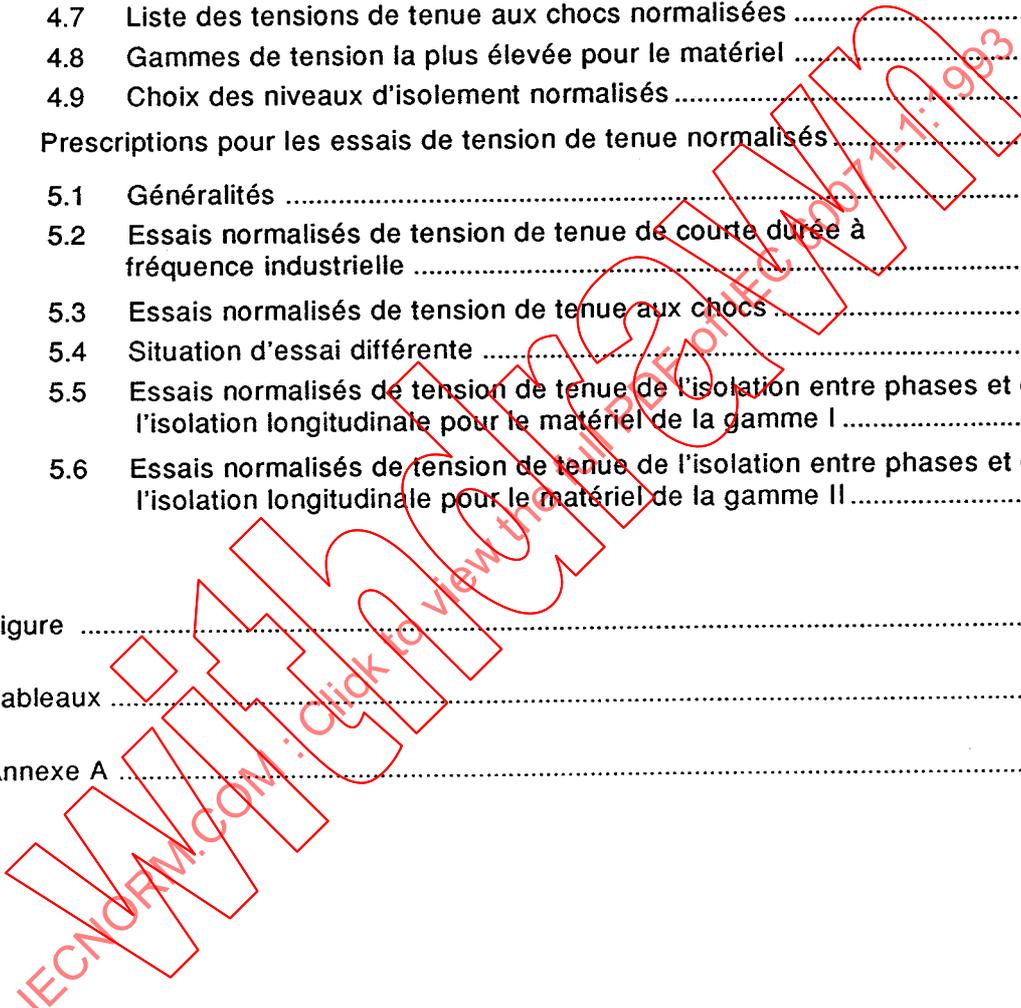
## SOMMAIRE

	Pages
AVANT-PROPOS .....	6
Articles	
1 Domaine d'application .....	8
2 Références normatives .....	8
3 Définitions .....	10
3.1 Coordination de l'isolement .....	10
3.2 Isolation externe .....	10
3.3 Isolation interne .....	10
3.4 Isolation autorégénératrice .....	10
3.5 Isolation non autorégénératrice .....	10
3.6 Borne de la configuration de l'isolement .....	10
3.7 Configuration de l'isolement .....	10
3.8 Tension nominale d'un réseau .....	12
3.9 Tension la plus élevée d'un réseau .....	12
3.10 Tension la plus élevée pour le matériel ( $U_m$ ) .....	12
3.11 Réseau à neutre isolé .....	12
3.12 Réseau à neutre directement à la terre .....	12
3.13 Réseau compensé non directement à la terre .....	12
3.14 Réseau compensé par bobine d'extinction .....	12
3.15 Facteur de défaut à la terre .....	12
3.16 Surtension .....	12
3.17 Classification des tensions et des surtensions .....	14
3.18 Formes de tension normalisées .....	14
3.19 Surtensions représentatives ( $U_{rp}$ ) .....	16
3.20 Dispositif de limitation des surtensions .....	16
3.21 Niveau de protection aux chocs de foudre (ou de manoeuvre) .....	16
3.22 Critère de performance .....	16
3.23 Tension de tenue .....	16
3.24 Tension de tenue de coordination ( $U_{cw}$ ) .....	16
3.25 Facteur de coordination ( $K_c$ ) .....	18
3.26 Conditions atmosphériques normalisées de référence .....	18
3.27 Tension de tenue spécifiée ( $U_{rw}$ ) .....	18
3.28 Facteur de correction atmosphérique ( $K_a$ ) .....	18
3.29 Facteur de sécurité ( $K_s$ ) .....	18
3.30 Tension de tenue normalisée ( $U_w$ ) .....	18
3.31 Facteur de conversion d'essai ( $K_f$ ) .....	18
3.32 Niveau d'isolement assigné .....	18
3.33 Niveau d'isolement normalisé .....	18
3.34 Essais de tension de tenue normalisés .....	18

## CONTENTS

	Page
FOREWORD .....	7
Clause	
1 Scope .....	9
2 Normative references .....	9
3 Definitions .....	11
3.1 Insulation co-ordination .....	11
3.2 External insulation .....	11
3.3 Internal insulation .....	11
3.4 Self-restoring insulation .....	11
3.5 Non-self-restoring insulation .....	11
3.6 Insulation configuration terminal .....	11
3.7 Insulation configuration .....	11
3.8 Nominal voltage of a system .....	13
3.9 Highest voltage of a system .....	13
3.10 Highest voltage for equipment ( $U_m$ ) .....	13
3.11 Isolated neutral system .....	13
3.12 Solidly earthed neutral system .....	13
3.13 Impedance earthed (neutral) system .....	13
3.14 Resonant earthed (neutral) system .....	13
3.15 Earth fault factor .....	13
3.16 Overvoltage .....	13
3.17 Classification of voltages and overvoltages .....	15
3.18 Standard voltage shapes .....	15
3.19 Representative overvoltages ( $U_{rp}$ ) .....	17
3.20 Overvoltage limiting device .....	17
3.21 Lightning (or switching) impulse protective level .....	17
3.22 Performance criterion .....	17
3.23 Withstand voltage .....	17
3.24 Co-ordination withstand voltage ( $U_{cw}$ ) .....	17
3.25 Co-ordination factor ( $K_c$ ) .....	19
3.26 Standard reference atmospheric conditions .....	19
3.27 Required withstand voltage ( $U_{rw}$ ) .....	19
3.28 Atmospheric correction factor ( $K_a$ ) .....	19
3.29 Safety factor ( $K_s$ ) .....	19
3.30 Standard withstand voltage ( $U_w$ ) .....	19
3.31 Test conversion factor ( $K_t$ ) .....	19
3.32 Rated insulation level .....	19
3.33 Standard insulation level .....	19
3.34 Standard withstand voltage tests .....	19

Articles	Pages
4 Procédure pour la coordination de l'isolement .....	20
4.1 Généralités sur la procédure .....	20
4.2 Détermination des surtensions représentatives ( $U_{rp}$ ) .....	20
4.3 Détermination des tensions de tenue de coordination ( $U_{cw}$ ) .....	22
4.4 Détermination des tensions de tenue spécifiées ( $U_{rw}$ ) .....	22
4.5 Choix du niveau d'isolement assigné .....	24
4.6 Liste des tensions de tenue normalisées de courte durée à fréquence industrielle .....	24
4.7 Liste des tensions de tenue aux chocs normalisées .....	26
4.8 Gammes de tension la plus élevée pour le matériel .....	26
4.9 Choix des niveaux d'isolement normalisés .....	26
5 Prescriptions pour les essais de tension de tenue normalisés .....	28
5.1 Généralités .....	28
5.2 Essais normalisés de tension de tenue de courte durée à fréquence industrielle .....	30
5.3 Essais normalisés de tension de tenue aux chocs .....	30
5.4 Situation d'essai différente .....	32
5.5 Essais normalisés de tension de tenue de l'isolation entre phases et de l'isolation longitudinale pour le matériel de la gamme I .....	32
5.6 Essais normalisés de tension de tenue de l'isolation entre phases et de l'isolation longitudinale pour le matériel de la gamme II .....	34
Figure .....	38
Tableaux .....	40
Annexe A .....	46



Clause	Page
4 Procedure for insulation co-ordination .....	21
4.1 General outline of the procedure .....	21
4.2 Determination of the representative overvoltages ( $U_{rp}$ ) .....	21
4.3 Determination of the co-ordination withstand voltages ( $U_{cw}$ ) .....	23
4.4 Determination of the required withstand voltages ( $U_{rw}$ ) .....	23
4.5 Selection of the rated insulation level .....	25
4.6 List of standard short-duration power frequency withstand voltages .....	25
4.7 List of standard impulse withstand voltages .....	27
4.8 Ranges for highest voltage for equipment .....	27
4.9 Selection of the standard insulation levels .....	27
5 Requirements for standard withstand voltage tests .....	29
5.1 General requirements .....	29
5.2 Standard short-duration power-frequency withstand voltage tests .....	31
5.3 Standard impulse withstand voltage tests .....	31
5.4 Alternative test situation .....	33
5.5 Phase-to-phase and longitudinal insulation standard withstand voltage tests for equipment in range I .....	33
5.6 Phase-to-phase and longitudinal insulation standard withstand voltage tests for equipment in range II .....	35
Figure .....	39
Tables .....	41
Annex A .....	47

# COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

## COORDINATION DE L'ISOLEMENT

### Partie 1: Définitions, principes et règles

#### AVANT-PROPOS

- 1) La CEI (Commission Electrotechnique Internationale) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, la CEI, entre autres activités, publie des Normes internationales. Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec la CEI, participent également aux travaux. La CEI collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de la CEI en ce qui concerne les questions techniques, préparés par les comités d'études où sont représentés tous les Comités nationaux s'intéressant à ces questions, expriment dans la plus grande mesure possible un accord international sur les sujets examinés.
- 3) Ces décisions constituent des recommandations internationales publiées sous forme de normes, de rapports techniques ou de guides et agréées comme telles par les Comités nationaux.
- 4) Dans le but d'encourager l'unification internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent à appliquer de façon transparente, dans toute la mesure possible, les Normes internationales de la CEI dans leurs normes nationales et régionales. Toute divergence entre la norme de la CEI et la norme nationale ou régionale correspondante doit être indiquée en termes clairs dans cette dernière.

La Norme internationale CEI 71-1 a été établie par le comité d'études 28 de la CEI: Coordination de l'isolement.

Cette septième édition annule et remplace la sixième édition parue en 1976 qui ne traitait que de la coordination de l'isolement entre phase et terre, et la première partie de la première édition - parue en 1982 - de la Publication 71-3 de la CEI qui traitait de la coordination de l'isolement entre phases.

Cette présente norme en est une révision technique et forme la première partie de la Publication 71 de la CEI.

La publication 71-2 (en préparation) constituera le Guide d'Application pour la coordination de l'isolement des matériels électriques.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

DIS	Rapport de vote
28(BC)58	28(BC)60

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

L'annexe A est donnée uniquement à titre d'information.

## INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

## INSULATION CO-ORDINATION

## Part 1: Definitions, principles and rules

## FOREWORD

- 1) The IEC (International Electrotechnical Commission) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of the IEC is to promote international cooperation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, the IEC publishes International Standards. 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. The 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 the IEC on technical matters, prepared by technical committees on which all the National Committees having a special interest therein are represented, express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the subjects dealt with.
- 3) They have the form of recommendations for international use published in the form of standards, technical reports or guides and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 4) In order to promote international unification, IEC National Committees undertake to apply IEC International Standards transparently to the maximum extent possible in their national and regional standards. Any divergence between the IEC Standard and the corresponding national or regional standard shall be clearly indicated in the latter.

International Standard IEC 71-1 has been prepared by IEC technical committee 28: Insulation co-ordination.

This seventh edition cancels and replaces the sixth edition published in 1976 which dealt only with insulation co-ordination between phase and earth, and the first part of the first edition – published in 1982 – of IEC Publication 71-3 which dealt with insulation co-ordination between phases.

This standard constitutes a technical revision and forms Part 1 of IEC Publication 71.

IEC Publication 71-2 (in preparation) will constitute the Application Guide for the insulation co-ordination of electrical equipment.

The text of this standard is based on the following documents:

DIS	Report on voting
28(CO)58	28(CO)60

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

Annex A is for information only.

## COORDINATION DE L'ISOLEMENT

### Partie 1: Définitions, principes et règles

#### 1 Domaine d'application

La présente partie de la Norme internationale CEI 71 s'applique aux réseaux à tension alternative triphasée dont la tension la plus élevée pour le matériel est supérieure à 1 kV. Elle spécifie la procédure pour le choix des tensions de tenue normalisées pour l'isolation phase-terre, l'isolation entre phases et l'isolation longitudinale du matériel et des installations de ces réseaux. Elle donne également les listes des valeurs normalisées parmi lesquelles doivent être choisies les tensions de tenue normalisées.

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

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

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

NOTE – Toutes les règles pour la coordination de l'isolement données dans la présente norme sont justifiées en détail dans le Guide d'application CEI 71-2 (en révision), en particulier en ce qui concerne l'association des tensions de tenue normalisées avec les tensions les plus élevées pour le matériel. Lorsque plusieurs séries de tensions de tenue normalisées sont associées à la même valeur de la tension la plus élevée pour le matériel, un guide est donné pour le choix de la série la plus appropriée.

#### 2 Références normatives

Les documents normatifs suivants contiennent des dispositions qui, par suite de la référence qui y est faite, constituent des dispositions valables pour la présente partie de la CEI 71-1. Au moment de la publication, les éditions indiquées étaient en vigueur. Tout document normatif est sujet à révision et les parties prenantes des accords fondés sur la présente partie de la CEI 71-1 sont invitées à rechercher la possibilité d'appliquer les éditions les plus récentes des documents normatifs indiqués ci-après. Les membres de la CEI et de l'ISO possèdent le registre des Normes internationales en vigueur.

CEI 38: 1983, *Tensions normales de la CEI*

CEI 60-1: 1989, *Techniques des essais à haute tension – Première partie: Définitions et prescriptions générales relatives aux essais*

## INSULATION CO-ORDINATION

### Part 1: Definitions, principles and rules

#### 1 Scope

This part of International Standard IEC 71 applies to three-phase a.c. systems having a highest voltage for equipment above 1 kV. It specifies the procedure for the selection of the standard withstand voltages for the phase-to-earth, phase-to-phase and longitudinal insulation of the equipment and the installations of these systems. It also gives the lists of the standardized values from which the standard withstand voltages shall be selected.

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

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

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

NOTE – In IEC 71-2 Application Guide, (under revision), all rules for insulation co-ordination given in this Standard are justified in detail, in particular the association of the standard withstand voltages with the highest voltage for equipment. When more than one set of standard withstand voltages is associated with the same highest voltage for equipment, guidance is provided for the selection of the most suitable set.

#### 2 Normative references

The following normative documents contain provisions which, through reference in this text, constitute provisions of this part of IEC 71-1. At the time of publication, the editions indicated were valid. All normative documents are subject to revision, and parties to agreements based on this part of IEC 71-1 are encouraged to investigate the possibility of applying the most recent editions of the normative documents indicated below. Members of IEC and ISO maintain registers of currently valid International Standards.

IEC 38: 1983, *IEC standard voltages*

IEC 60-1: 1989, *High-voltage test techniques – Part 1: General definitions and test requirements*

### 3 Définitions

Pour les besoins de la présente Norme internationale, les définitions suivantes s'appliquent.

**3.1 coordination de l'isolement:** Sélection de la tenue diélectrique des matériels, en fonction des tensions qui peuvent apparaître dans le réseau auquel ces matériels sont destinés et compte tenu de l'environnement en service et des caractéristiques des dispositifs de protection disponibles. [VEI 604-03-08, modifié]

NOTE - La «tenue diélectrique» des matériels est prise ici au sens de niveau d'isolement assigné ou de niveau d'isolement normalisé tels que définis respectivement en 3.32 et 3.33.

**3.2 isolation externe:** Distances dans l'air atmosphérique et sur les surfaces des isolations solides d'un matériel en contact avec l'air atmosphérique, qui sont soumises aux contraintes diélectriques et à l'influence des conditions atmosphériques ou d'autres agents externes tels que la pollution, l'humidité, les animaux, etc. [VEI 604-03-02, modifié]

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

**3.3 isolation interne:** Eléments internes solides, liquides ou gazeux de l'isolation d'un matériel qui sont à l'abri de l'influence des conditions atmosphériques ou d'autres agents externes. [VEI 604-03-03]

**3.4 isolation autorégénératrice:** Isolation qui retrouve intégralement ses propriétés isolantes après une décharge disruptive. [VEI 604-03-04]

**3.5 isolation non autorégénératrice:** Isolation qui perd ses propriétés isolantes, ou ne les retrouve pas intégralement, après une décharge disruptive. [VEI 604-03-05]

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

**3.6 borne de la configuration de l'isolation:** L'une ou l'autre des deux électrodes entre lesquelles peut être appliquée une tension qui contraint l'isolation. Les types de borne sont:

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

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

- **triphasée:** ayant trois bornes de phase, une borne de neutre et une borne de terre.
- **phase-terre:** configuration d'isolation triphasée dans laquelle on ne tient pas compte des bornes de deux phases et, sauf cas particuliers, dans laquelle la borne de neutre est mise à la terre.

### 3 Definitions

For the purposes of this International Standard, the following definitions apply.

**3.1 insulation co-ordination:** The selection of the dielectric strength of equipment in relation to the voltages which can appear on the system for which the equipment is intended and taking into account the service environment and the characteristics of the available protective devices. [IEV 604-03-08, modified]

NOTE – By "dielectric strength" of the equipment, is meant here its rated or its standard insulation level as defined in 3.32 and 3.33 respectively.

**3.2 external insulation:** The distances in atmospheric air, and the surfaces in contact with atmospheric air of solid insulation of the equipment which are subject to dielectric stresses and to the effects of atmospheric and other external conditions, such as pollution, humidity, vermin, etc. [IEV 604-03-02, modified]

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

**3.3 internal insulation:** The internal solid, liquid, or gaseous parts of the insulation of equipment which are protected from the effects of atmospheric and other external conditions. [IEV 604-03-03]

**3.4 self-restoring insulation:** Insulation which completely recovers its insulating properties after a disruptive discharge. [IEV 604-03-04]

**3.5 non-self-restoring insulation:** Insulation which loses its insulating properties, or does not recover them completely, after a disruptive discharge. [IEV 604-03-05]

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

**3.6 insulation configuration terminal:** Any of the electrodes between any two of which a voltage that stresses the insulation can be applied. The types of terminal are:

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

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

- **three-phase:** having three phase terminals, one neutral terminal and one earth terminal.
- **phase-to-earth:** a three-phase insulation configuration where two phase terminals are disregarded and, except in particular cases, the neutral terminal is earthed.

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

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

**3.8 tension nominale d'un réseau:** Valeur arrondie appropriée de la tension utilisée pour dénommer ou identifier un réseau. [VEI 601-01-21]

**3.9 tension la plus élevée d'un réseau:** Valeur la plus élevée de la tension qui se présente à un instant et en un point quelconque du réseau dans des conditions d'exploitation normales. [VEI 601-01-23]

**3.10 tension la plus élevée pour le matériel ( $U_m$ ):** Valeur efficace la plus élevée de la tension entre phases pour laquelle le matériel est spécifié en ce qui concerne son isolement ainsi que certaines autres caractéristiques qui sont éventuellement rattachées à cette tension dans les normes proposées pour chaque matériel. [VEI 604-03-01]

**3.11 réseau à neutre isolé:** Réseau dont aucun point neutre n'a de connexion intentionnelle avec la terre, à l'exception des liaisons à haute impédance destinées à des dispositifs de protection ou de mesure. [VEI 601-02-24]

**3.12 réseau à neutre directement à la terre:** Réseau dont le ou les points neutres sont reliés directement à la terre. [VEI 601-02-25]

**3.13 réseau à neutre non directement à la terre:** Réseau dont le ou les points neutres sont reliés à la terre par l'intermédiaire d'impédances destinées à limiter les courants de défaut à la terre. [VEI 601-02-26]

**3.14 réseau compensé par bobine d'extinction:** Réseau dont un ou plusieurs points neutres sont reliés à la terre par des réactances compensant approximativement la composante capacitive du courant de défaut monophasé à la terre. [VEI 601-02-27]

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

**3.15 facteur de défaut à la terre:** En un emplacement donné d'un réseau triphasé, et pour un schéma d'exploitation donné de ce réseau, rapport entre d'une part la tension efficace la plus élevée, à la fréquence du réseau, entre une phase saine et la terre pendant un défaut à la terre affectant une phase quelconque ou plusieurs phases en un point quelconque du réseau, et d'autre part la valeur efficace de la tension entre phase et terre à la fréquence du réseau qui serait obtenue à l'emplacement considéré en l'absence du défaut. [VEI 604-03-06]

**3.16 surtension:** Toute tension entre un conducteur de phase et la terre, ou entre conducteurs de phase, dont la valeur de crête dépasse la valeur de crête correspondant à la tension la plus élevée pour le matériel. [VEI 604-03-09, modifié]

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

**3.8 nominal voltage of a system:** A suitable approximate value of voltage used to designate or identify a system. [IEV 601-01-21]

**3.9 highest voltage of a system:** The highest value of operating voltage which occurs under normal operating conditions at any time and at any point in the system. [IEV 601-01-23]

**3.10 highest voltage for equipment ( $U_m$ ):** The highest r.m.s. value of phase-to-phase voltage for which the equipment is designed in respect of its insulation as well as other characteristics which relate to this voltage in the relevant equipment Standards. [IEV 604-03-01]

**3.11 isolated neutral system:** A system where the neutral point is not intentionally connected to earth, except for high impedance connections for protection or measurement purposes. [IEV 601-02-24]

**3.12 solidly earthed neutral system:** A system whose neutral point(s) is(are) earthed directly. [IEV 601-02-25]

**3.13 impedance earthed (neutral) system:** A system whose neutral point(s) is(are) earthed through impedances to limit earth fault currents. [IEV 601-02-26]

**3.14 resonant earthed (neutral) system:** A system in which one or more neutral points are connected to earth through reactances which approximately compensate the capacitive component of a single-phase-to-earth fault current. [IEV 601-02-27]

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

**3.15 earth fault factor:** At a given location of a three-phase system, and for a given system configuration, the ratio of the highest r.m.s. phase-to-earth power frequency voltage on a healthy phase during a fault to earth affecting one or more phases at any point on the system to the r.m.s. phase-to-earth power frequency voltage which would be obtained at the given location in the absence of any such fault. [IEV 604-03-06]

**3.16 overvoltage:** Any voltage between one phase conductor and earth or between phase conductors having a peak value exceeding the corresponding peak of the highest voltage for equipment. [IEV 604-03-09, modified]

## NOTES

1 Sauf indication contraire (telle que pour les parafoudres), les valeurs de surtensions exprimées en p.u. ont pour tension de référence  $U_m \times \sqrt{2}/\sqrt{3}$ .

2 Pour toute configuration d'isolement, une surtension est toute tension, entre ses bornes, supérieure à la valeur de crête de la tension à fréquence industrielle existant entre ces bornes lorsque toutes les bornes de phase du matériel sont portées à la tension la plus élevée pour le matériel.

## 3.17 Classification des tensions et des surtensions

Les tensions et les surtensions sont réparties selon les catégories suivantes d'après leur forme et leur durée (voir aussi le tableau 1):

a) **tension permanente (à fréquence industrielle):** Tension à la fréquence du réseau, considérée comme ayant une valeur efficace constante, appliquée en permanence à toute paire de bornes d'une configuration d'isolement.

b) **surtension temporaire:** Surtension à fréquence industrielle de durée relativement longue. [VEI 604-03-12, modifié]

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

c) **surtension transitoire:** Surtension de courte durée, ne dépassant pas quelques millisecondes, oscillatoire ou non, généralement fortement amortie. [VEI 604-03-13]

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

Les surtensions transitoires sont divisées en:

- **surtension à front lent:** Surtension transitoire, généralement unidirectionnelle, de durée  $T_p$  jusqu'à la valeur de crête telle que  $20 \mu s < T_p \leq 5\,000 \mu s$  et de durée de queue  $T_2 \leq 20 \text{ ms}$ .

- **surtension à front rapide:** Surtension transitoire, généralement unidirectionnelle, de durée  $T_f$  jusqu'à la valeur de crête telle que  $0,1 \mu s < T_f \leq 20 \mu s$  et de durée de queue  $T_2 < 300 \mu s$ .

- **surtension à front très rapide:** Surtension transitoire, généralement unidirectionnelle, de durée jusqu'à la valeur de crête  $T_f \leq 0,1 \mu s$ , de durée totale  $< 3 \text{ ms}$  et avec des oscillations superposées de fréquence  $30 \text{ kHz} < f < 100 \text{ MHz}$ .

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

## 3.18 Formes de tension normalisées

Les formes de tension suivantes sont normalisées:

a) **La tension normalisée de courte durée à fréquence industrielle:** une tension sinusoïdale de fréquence comprise entre 48 Hz et 62 Hz et de durée égale à 60 s.

b) **La tension normalisée de choc de manoeuvre:** une tension de choc ayant une durée jusqu'à la crête de 250  $\mu s$  et une durée jusqu'à la mi-valeur de 2 500  $\mu s$ .

c) **La tension normalisée de choc de foudre:** une tension de choc ayant une durée de front de 1,2  $\mu s$  et une durée jusqu'à la mi-valeur de 50  $\mu s$ .

NOTE - Des définitions plus détaillées des formes de tension normalisées sont données dans la CEI 60-1 (voir aussi le tableau 1).

## NOTES

- 1 Unless otherwise clearly indicated, such as for surge arresters, overvoltage values expressed in p.u. shall be referred to  $U_m \times \sqrt{2}/\sqrt{3}$ .
- 2 For any insulation configuration, an overvoltage is any voltage across its terminals higher than the peak of the power-frequency voltage existing between them when all phase terminals of the equipment are energized with the highest voltage for equipment.

3.17 *Classification of voltages and overvoltages*

According to their shape and duration, voltages and overvoltages are divided in the following classes (see also table 1):

a) **continuous (power frequency) voltage:** Power-frequency voltage, considered having constant r.m.s. value, continuously applied to any pair of terminals of an insulation configuration.

b) **temporary overvoltage:** Power frequency overvoltage of relatively long duration. [IEV 604-03-12, modified]

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

c) **transient overvoltage:** Short-duration overvoltage of few milliseconds or less, oscillatory or non-oscillatory, usually highly damped. [IEV 604-03-13]

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

Transient overvoltages are divided into:

- **slow-front overvoltage:** Transient overvoltage, usually unidirectional, with time to peak  $20 \mu\text{s} < T_p \leq 5\,000 \mu\text{s}$ , and tail duration  $T_2 \leq 20 \text{ ms}$ .

- **fast-front overvoltage:** Transient overvoltage, usually unidirectional, with time to peak  $0,1 \mu\text{s} < T_1 \leq 20 \mu\text{s}$ , and tail duration  $T_2 < 300 \mu\text{s}$ .

- **very-fast-front overvoltage:** Transient overvoltage, usually unidirectional with time to peak  $T_f \leq 0,1 \mu\text{s}$ , total duration  $< 3 \text{ ms}$ , and with superimposed oscillations at frequency  $30 \text{ kHz} < f < 100 \text{ MHz}$ .

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

3.18 *Standard voltage shapes*

The following voltage shapes are standardized:

a) The **standard short-duration power-frequency voltage:** a sinusoidal voltage with frequency between 48 Hz and 62 Hz, and duration of 60 s.

b) The **standard switching impulse:** an impulse voltage having a time to peak of 250  $\mu\text{s}$  and a time to half-value of 2 500  $\mu\text{s}$ .

c) The **standard lightning impulse:** an impulse voltage having a front time of 1,2  $\mu\text{s}$  and a time to half-value of 50  $\mu\text{s}$ .

NOTE - More detailed definitions of these standard voltage shapes are given in IEC 60-1 (see also table 1).

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

**3.19 surtensions représentatives ( $U_{rp}$ ):** Surtensions supposées produire le même effet diélectrique sur l'isolation que les surtensions d'une catégorie donnée apparaissant en service et de diverses origines. Elles sont constituées de tensions ayant la forme normalisée de la catégorie en question et peuvent être définies par une valeur, un ensemble de valeurs ou une distribution statistique des valeurs qui caractérisent les conditions de service.

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

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

**3.21 niveau de protection aux chocs de foudre (ou de manoeuvre):** Valeur de crête maximale de la tension admissible aux bornes d'un dispositif de protection soumis, dans des conditions spécifiées, à des chocs de foudre (ou de manoeuvre). [VEI 604-03-56 et 604-03-57]

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

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

a) **tension de tenue présumée conventionnelle**, lorsque le nombre de décharges disruptives toléré est nul. Ceci est supposé correspondre à une probabilité de tenue  $P_w = 100 \%$ ;

b) **tension de tenue statistique**, lorsque le nombre de décharges disruptives toléré est relatif à une probabilité de tenue spécifiée. Dans la présente norme, la probabilité spécifiée est  $P_w = 90 \%$ .

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

**3.24 tension de tenue de coordination ( $U_{cw}$ ):** Pour chaque catégorie de tension, valeur de la tension de tenue de la configuration de l'isolation, dans les conditions réelles de service, qui satisfait au critère de performance.

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

**3.19 representative overvoltages ( $U_{rp}$ )**: Overvoltages assumed to produce the same dielectric effect on the insulation as overvoltages of a given class occurring in service due to various origins. They consist of voltages with the standard shape of the class, and may be defined by one value or a set of values or a frequency distribution of values that characterize the service conditions.

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

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

**3.21 lightning (or switching) impulse protective level**: The maximum permissible peak voltage value on the terminals of a protective device subjected to lightning (or switching) impulses under specific conditions. [IEV 604-03-56 and 604-03-57]

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

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

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

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

**3.24 co-ordination withstand voltage ( $U_{cw}$ )**: For each class of voltage, the value of the withstand voltage of the insulation configuration, in actual service conditions, that meets the performance criterion.

**3.25 facteur de coordination ( $K_c$ ):** Facteur par lequel la valeur de la surtension représentative doit être multipliée pour obtenir la valeur de la tension de tenue de coordination.

### 3.26 Conditions atmosphériques normalisées de référence

Les conditions atmosphériques normalisées de référence sont:

- température  $t_o = 20 \text{ °C}$
- pression  $b_o = 101,3 \text{ kPa (1 013 mbar)}$
- humidité absolue  $h_{ao} = 11 \text{ g/m}^3$

**3.27 tension de tenue spécifiée ( $U_{rw}$ ):** Tension d'essai que l'isolation doit tenir dans un essai de tenue normalisé pour s'assurer que l'isolation satisfera au critère de performance lorsqu'elle sera soumise à une catégorie donnée de surtensions dans les conditions réelles de service et pendant toute la durée de service. La tension de tenue spécifiée a la forme de la tension de tenue de coordination et elle est spécifiée en se référant à toutes les conditions de l'essai de tenue normalisé choisi pour vérifier cette tenue.

**3.28 facteur de correction atmosphérique ( $K_a$ ):** Facteur à appliquer à la tension de tenue de coordination pour tenir compte de la différence entre les conditions atmosphériques moyennes en service et les conditions atmosphériques normalisées de référence. Ce facteur ne s'applique qu'à l'isolation externe.

**3.29 facteur de sécurité ( $K_s$ ):** Facteur global à appliquer à la tension de tenue de coordination, après application du facteur de correction atmosphérique (si nécessaire), pour obtenir la tension de tenue spécifiée en tenant compte de toutes les autres différences entre les conditions en service et celles de l'essai de tenue normalisé.

**3.30 tension de tenue normalisée ( $U_w$ ):** Valeur normalisée de la tension d'essai appliquée dans un essai de tenue normalisé. C'est une valeur assignée de l'isolation qui permet de vérifier que l'isolation satisfait à une ou plusieurs des tensions de tenue spécifiées.

**3.31 facteur de conversion d'essai ( $K_f$ ):** Facteur appliqué à la tension de tenue spécifiée, dans le cas où la tension de tenue normalisée est de forme différente, pour obtenir la valeur limite inférieure de la tension d'essai de tenue normalisée qui peut être retenue pour vérifier cette tenue.

**3.32 niveau d'isolement assigné:** Ensemble de tensions de tenue normalisées qui caractérisent la rigidité diélectrique de l'isolation.

**3.33 niveau d'isolement normalisé:** Niveau d'isolement assigné dont les tensions de tenue normalisées sont associées à  $U_m$  comme il est recommandé dans les tableaux 2 et 3.

**3.34 essais de tension de tenue normalisés:** Essai diélectrique effectué dans des conditions spécifiées pour démontrer que l'isolation satisfait à la tension de tenue normalisée. La présente norme couvre:

- les essais à la tension de courte durée à fréquence industrielle;
- les essais aux chocs de manoeuvre;
- les essais aux chocs de foudre;
- les essais à la tension combinée.

**3.25 co-ordination factor ( $K_c$ ):** The factor by which the value of the representative overvoltage must be multiplied in order to obtain the value of the co-ordination withstand voltage.

### 3.26 Standard reference atmospheric conditions

The standard reference atmospheric conditions are:

- temperature  $t_o$  = 20 °C
- pressure  $b_o$  = 101,3 kPa (1 013 mbar)
- absolute humidity  $h_{ao}$  = 11 g/m<sup>3</sup>

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

**3.28 atmospheric correction factor ( $K_a$ ):** The factor to be applied to the co-ordination withstand voltage to account for the difference between the average atmospheric conditions in service and the standard reference atmospheric conditions. It applies to external insulation only.

**3.29 safety factor ( $K_s$ ):** The overall factor to be applied to the co-ordination withstand voltage, after the application of the atmospheric correction factor (if required), to obtain the required withstand voltage, accounting for all other differences between the conditions in service and those in the standard withstand test.

**3.30 standard withstand voltage ( $U_w$ ):** The standard value of the test voltage applied in a standard withstand test. It is a rated value of the insulation and proves that the insulation complies with one or more required withstand voltages.

**3.31 test conversion factor ( $K_t$ ):** The factor applied to the required withstand voltage, in the case where the standard withstand voltage is selected of different shape, so as to obtain the lower limit of the standard withstand test voltage that can be assumed to prove it.

**3.32 rated insulation level:** A set of standard withstand voltages which characterize the dielectric strength of the insulation.

**3.33 standard insulation level:** A rated insulation level, the standard withstand voltages of which are associated to  $U_m$  as recommended in tables 2 and 3.

**3.34 standard withstand voltage tests:** A dielectric test performed in specified conditions to prove that the insulation complies with a standard withstand voltage. This standard covers:

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

## NOTES

- 1 Des informations détaillées complémentaires sur les essais de tension de tenue normalisés sont données dans la CEI 60-1 (voir également le tableau 1 pour les formes de la tension d'essai).
- 2 Il convient que les essais normalisés de tension de tenue aux chocs très rapides soient spécifiés par les comités chargés des matériels concernés, si nécessaire.

## 4 Procédure pour la coordination de l'isolement

### 4.1 Généralités sur la procédure

La procédure pour la coordination de l'isolement consiste à choisir un ensemble de tensions de tenue normalisées qui caractérise l'isolation du matériel entrant dans le domaine d'application de la présente norme. Cette procédure est indiquée sur la figure 1 et ses étapes sont décrites en 4.2 à 4.5. L'optimisation de la procédure peut nécessiter la reprise de quelques données d'entrée et la répétition d'une partie de cette procédure.

Les tensions de tenue normalisées doivent être choisies dans les listes de 4.6 et 4.7. L'ensemble des tensions normalisées choisies constitue un niveau d'isolement *assigné*. Si les tensions de tenue normalisées sont également associées à la même valeur de  $U_m$  conformément à 4.9, cet ensemble constitue un niveau d'isolement *normalisé*.

### 4.2 Détermination des surtensions représentatives ( $U_{rp}$ )

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

Pour chaque catégorie de surtension, cette analyse doit donc permettre de déterminer une surtension représentative prenant en compte les caractéristiques de l'isolation.

La surtension représentative peut être caractérisée par:

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

NOTE 1 - Dans le dernier cas, des caractéristiques complémentaires concernant les formes de surtension peuvent devoir être prises en considération.

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

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

## NOTES

- 1 More detailed information on the standard withstand voltage tests are given in IEC 60-1 (see also table 1 for the test voltage shapes).
- 2 The very-fast impulse standard withstand voltage tests should be specified by the relevant apparatus committees, if required.

## 4 Procedure for insulation co-ordination

### 4.1 General outline of the procedure

The procedure for insulation co-ordination consists of the selection of a set of standard withstand voltages which characterize the insulation of the equipment within the scope of this standard. This procedure is outlined in figure 1 and its steps are described in 4.2 to 4.5. The optimization of the procedure may require reconsideration of some input data and repetition of part of the procedure.

The standard withstand voltages shall be selected from the lists of 4.6 and 4.7. The set of selected standard voltages constitutes a *rated* insulation level. If the standard withstand voltages are also associated with the same  $U_m$  according to 4.9, this set constitutes a *standard* insulation level.

### 4.2 Determination of the representative overvoltages ( $U_{rp}$ )

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

For each class of overvoltage, this analysis shall then determine a representative overvoltage, taking into account the characteristics of the insulation.

The representative overvoltage may be characterized either by:

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

NOTE 1 - In the last case additional characteristics of the overvoltage shapes may have to be considered.

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

- for the **continuous power-frequency voltage**: a power-frequency voltage with r.m.s. value equal to the highest voltage of the system, and with duration corresponding to the lifetime of the equipment.
- for the **temporary overvoltage**: a standard power-frequency short-duration voltage with an r.m.s. value equal to the assumed maximum of the temporary overvoltages divided by  $\sqrt{2}$ .
- for the **slow-front overvoltage**: a standard switching impulse with peak value equal to the peak value of the assumed maximum of the slow-front overvoltages.
- for the **fast-front overvoltage**: a standard lightning impulse with peak value equal to the peak value of the assumed maximum of the fast-front overvoltages.

- pour la **surtension à front très rapide**: Les caractéristiques de cette catégorie de surtension sont spécifiées par les comités chargés des matériels concernés.
- pour la **surtension entre phases à front lent**: Une tension normalisée de choc de manoeuvre combinée de valeur de crête égale à la valeur de crête maximale présumée des surtensions entre phases à front lent.

NOTE 2 – Une caractéristique utile est le rapport réel  $\alpha$ , en service, de la valeur de crête de la composante négative  $U^-$ , à la valeur de crête  $U^+ + U^-$  de la surtension maximale présumée entre phases:  $\alpha = U^- / (U^+ + U^-)$ .

- pour la **surtension longitudinale à front lent [ou à front rapide]**: Une tension combinée composée d'une tension normalisée de choc de manoeuvre [ou de choc de foudre] et d'une tension à fréquence industrielle, chacune de valeur de crête égale aux deux valeurs de crête maximales présumées correspondantes et dont l'instant correspondant à la crête de la tension de choc coïncide avec celui de la crête de la tension à fréquence industrielle de polarité opposée.

#### 4.3 Détermination des tensions de tenue de coordination ( $U_{cw}$ )

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

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

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

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

#### 4.4 Détermination des tensions de tenue spécifiées ( $U_{rw}$ )

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

Les facteurs à appliquer doivent compenser:

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

- for the **very-fast-front overvoltage**: the characteristics for this class of overvoltage are specified by the relevant apparatus committees.
- for the **slow-front phase-to-phase overvoltage**: a standard combined switching impulse with peak value equal to the peak value of the assumed maximum of the slow-front phase-to-phase overvoltages.

NOTE 2 - An useful characteristic is the actual ratio,  $\alpha$ , in service of the peak value of the negative component,  $U^-$ , to the peak value,  $U^+ + U^-$ , of the assumed maximum phase-to-phase overvoltage:  $\alpha = U^-(U^+ + U^-)$ .

- for the **slow-front [or fast-front] longitudinal overvoltage**: a combined voltage consisting of a standard switching [or lightning] impulse and of a power-frequency voltage, each with peak value equal to the two relevant assumed maximum peak values, and with the instant of impulse peak coinciding with the peak of the power-frequency of opposite polarity.

#### 4.3 Determination of the co-ordination withstand voltages ( $U_{cw}$ )

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

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

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

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

#### 4.4 Determination of the required withstand voltages ( $U_{rw}$ )

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

The factors to be applied shall compensate for:

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

Si, cependant, ces facteurs ne peuvent pas être évalués individuellement, un facteur de sécurité global, déduit de l'expérience, doit être adopté.

Pour l'isolation externe uniquement, un facteur additionnel doit être appliqué pour tenir compte des différences entre les conditions atmosphériques normalisées de référence et celles attendues en service.

#### 4.5 Choix du niveau d'isolement assigné

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

La tension de tenue permanente de l'isolation, à fréquence industrielle, qui est sa tension la plus élevée pour le matériel, est alors choisie comme étant la plus proche valeur normalisée de  $U_m$  égale ou supérieure à la tension de tenue permanente à fréquence industrielle spécifiée.

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

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

La valeur de la tension de tenue est alors choisie dans la liste des tensions de tenue normalisées figurant en 4.6 et 4.7, comme la valeur la plus proche égale ou supérieure à:

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

NOTE - Ceci peut permettre l'adoption d'une seule tension de tenue normalisée pour démontrer la conformité à plus d'une tension de tenue spécifiée, donnant ainsi la possibilité de réduire le nombre des tensions de tenue normalisées qui conduisent à définir un niveau d'isolement assigné (voir 4.9, par exemple).

Le choix de la tension de tenue normalisée pour démontrer la conformité à la tension de tenue spécifiée à front très rapide doit être étudié par les comités chargés des matériels concernés.

#### 4.6 Liste des tensions de tenue normalisées de courte durée à fréquence industrielle

Les valeurs efficaces suivantes, exprimées en kV, sont normalisées:

10	20	28	38	50	70	95	140
185	230	275	325	360	395	460	510
570	630	680					

If, however, these factors cannot be evaluated individually, an overall safety factor, derived from experience, shall be adopted.

For external insulation only, an additional factor shall be applied to account for the differences between the standard reference atmospheric conditions and those expected in service.

#### 4.5 Selection of the rated insulation level

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

The continuous power-frequency withstand voltage of the insulation, that is its highest voltage for equipment, is then chosen as the next standard value of  $U_m$  equal to or higher than the required **continuous power-frequency** withstand voltage.

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

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

The value of the withstand voltage is then selected in the list of the standard withstand voltages reported in 4.6 and 4.7, as the next value equal to or higher than:

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

NOTE - This may allow the adoption of a single standard withstand voltage to prove compliance with more than one required withstand voltage, thus giving the possibility of reducing the number of standard withstand voltages that would define a rated insulation level (see 4.9, for example).

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

#### 4.6 List of standard short-duration power frequency withstand voltages

The following r.m.s. values, expressed in kV, are standardized:

10	20	28	38	50	70	95	140
185	230	275	325	360	395	460	510
570	630	680					

#### 4.7 Liste des tensions de tenue aux chocs normalisées

Les valeurs de crête suivantes, exprimées en kV, sont normalisées:

20	40	60	75	95	125	145	170
250	325	450	550	650	750	850	950
1 050	1 175	1 300	1 425	1 550	1 675	1 800	1 950
2 100	2 250	2 400					

#### 4.8 Gammes de la tension la plus élevée pour le matériel

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

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

Gamme II: Au-dessus de 245 kV. Cette gamme couvre principalement les réseaux de transport.

#### 4.9 Choix des niveaux d'isolement normalisés

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

Les tensions de tenue normalisées sont associées à la tension la plus élevée pour le matériel selon le tableau 2 pour la gamme I et le tableau 3 pour la gamme II. Les associations obtenues en reliant les tensions de tenue normalisées de toutes les colonnes sans croiser les lignes horizontales marquées sont définies comme étant les niveaux d'isolement normalisés.

#### NOTES

1 Dans quelques pays, d'autres valeurs de  $U_m$  et de tensions de tenue assignées sont encore en usage pour la gamme I. Le tableau A.1 de l'annexe A indique ces valeurs, ainsi que les associations correspondantes, qui, cependant, ne constituent pas des niveaux d'isolement normalisés.

2 Si, pour l'essai de la tension de tenue aux *chocs de manoeuvre*, les comités chargés des matériels spécifient une composante positive inférieure à la composante négative, la tension de tenue spécifiée de l'isolation externe n'est pas démontrée à moins qu'un facteur de conversion d'essai adéquat ne soit introduit.

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

- Pour l'*isolation entre phases, gamme I*, les tensions de tenue normalisées de *courte durée à fréquence industrielle* et aux *chocs de foudre* entre phases sont égales aux tensions de tenue phase-terre correspondantes (tableau 2). Cependant, les valeurs entre parenthèses peuvent être insuffisantes pour démontrer que les tensions de tenue spécifiées sont satisfaisantes et des essais complémentaires de tenue entre phases peuvent être nécessaires.

- Pour l'*isolation entre phases, gamme II*, la tension de tenue normalisée aux *chocs de foudre* entre phases est égale à la tension de tenue aux chocs de foudre phase-terre.

#### 4.7 List of standard impulse withstand voltages

The following peak values, expressed in kV, are standardized:

20	40	60	75	95	125	145	170
250	325	450	550	650	750	850	950
1 050	1 175	1 300	1 425	1 550	1 675	1 800	1 950
2 100	2 250	2 400					

#### 4.8 Ranges for highest voltage for equipment

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

Range I: Above 1 kV to 245 kV included. This range covers both transmission and distribution systems. The different operational aspects, therefore, shall be taken into account in the selection of the rated insulation level of the equipment.

Range II: Above 245 kV. This range covers mainly transmission systems.

#### 4.9 Selection of the standard insulation levels

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

The standard withstand voltages are associated with the highest voltage for equipment according to table 2 for range I and table 3 for range II. The associations obtained by connecting standard withstand voltages of all columns without crossing horizontal marked lines are defined as standard insulation levels.

#### NOTES

1 In some countries other values of  $U_m$  and of rated withstand voltages are still in use for range I. Table A.1 of annex A reports these values as well as the relevant associations, which, however, do not constitute standard insulation levels.

2 If, for the *switching impulse* withstand voltage test, the apparatus committees specify a positive component lower than the negative, the required withstand voltage of the external insulation is not proven unless a suitable test conversion factor is introduced.

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

- For *phase-to-phase insulation, range I*, the standard short-duration *power-frequency* and *lightning impulse* phase-to-phase withstand voltages are equal to the relevant phase-to-earth withstand voltages (table 2). The values in brackets, however, may be insufficient to prove that the required withstand voltages are met and additional phase-to-phase withstand tests may be needed.
- For *phase-to-phase insulation, range II*, the standard *lightning impulse* withstand voltage phase-to-phase is equal to the lightning impulse phase-to-earth.

- Pour l'*isolation longitudinale, gamme I*, les tensions de tenue normalisées de *courte durée à fréquence industrielle* et aux *chocs de foudre* sont égales aux tensions de tenue phase-terre correspondantes (tableau 2).
- Pour l'*isolation longitudinale, gamme II*, la composante normalisée de *choc de manoeuvre* de la tension de tenue combinée est donnée dans le tableau 3, tandis que la valeur de crête de la composante à fréquence industrielle de polarité opposée est égale à  $U_m \times \sqrt{2/\sqrt{3}}$ , et la composante normalisée de *choc de foudre* de la tension de tenue combinée est égale à la tension de tenue phase-terre correspondante (tableau 3), tandis que la valeur de crête de la composante à fréquence industrielle de polarité opposée est égale à  $0,7 \times U_m \times \sqrt{2/\sqrt{3}}$ .

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

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

- Pour les matériels de la *gamme I*:
  - a) tension de tenue normalisée *aux chocs de foudre*, et
  - b) tension de tenue normalisée de *courte durée à fréquence industrielle*.
- Pour les matériels de la *gamme II*:
  - a) tension de tenue normalisée *aux chocs de manoeuvre*, et
  - b) tension de tenue normalisée *aux chocs de foudre*.

Si cela est justifié techniquement et économiquement, d'autres associations peuvent être adoptées. Les recommandations de 4.2 à 4.8 doivent être suivies dans chaque cas. L'ensemble résultant des tensions de tenue normalisées doit être désigné, par conséquent, comme étant le niveau d'isolement assigné. Des exemples particuliers sont:

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

## 5 Prescriptions pour les essais de tension de tenue normalisés

### 5.1 Généralités

Les essais de tension de tenue normalisés sont effectués pour démontrer, avec un degré de confiance convenable, que la tension de tenue réelle de l'isolation n'est pas inférieure à la tension de tenue spécifiée correspondante. Les tensions appliquées pour les essais de tension de tenue sont des tensions de tenue normalisées, sauf spécification contraire par le comité de produit concerné.

En général, les essais de tension de tenue sont des essais à sec effectués dans une situation normalisée (dispositions d'essai spécifiées par le comité de produit concerné et conditions atmosphériques normalisées de référence). Cependant, pour l'*isolation externe exposée*, les essais normalisés de *courte durée à fréquence industrielle* et aux *chocs de manoeuvre* sont effectués sous pluie dans les conditions spécifiées par la CEI 60-1.

- For *longitudinal insulation, range I*, the standard short-duration *power-frequency* and *lightning impulse* withstand voltages are equal to the relevant phase-to-earth withstand voltages (table 2).
- For *longitudinal insulation, range II*, the standard *switching impulse* component of the combined withstand voltage is given in table 3, while the peak value of the power-frequency component of opposite polarity is  $U_m \times \sqrt{2/\sqrt{3}}$ , and the standard *lightning impulse* component of the combined withstand voltage is equal to the relevant phase-to-earth withstand voltage (table 3), while the peak value of the power-frequency component of opposite polarity is  $0,7 \times U_m \times \sqrt{2/\sqrt{3}}$ .

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

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

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

If technically and economically justified, other associations may be adopted. The recommendations of 4.2 to 4.8 shall be followed in every case. The resulting set of standard withstand voltages shall be termed, therefore, rated insulation level. Particular examples are:

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

## 5 Requirements for standard withstand voltage tests

### 5.1 General requirements

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

In general, withstand voltage tests consist of dry tests performed in a standard situation (test arrangement specified by the relevant apparatus committees and standard reference atmospheric conditions). However, for non-weather-protected external insulation, the standard short-duration power-frequency and switching impulse withstand tests consist of wet tests performed under the conditions specified in IEC 60-1.

Pendant les essais sous pluie, la pluie doit être appliquée simultanément sur toutes les isolations dans l'air et sur les surfaces isolantes mises sous tension.

Si les conditions atmosphériques dans le laboratoire d'essai diffèrent des conditions normalisées, les tensions d'essai doivent être corrigées conformément à la CEI 60-1.

Toutes les tensions de tenue aux chocs doivent être vérifiées dans les deux polarités, à moins que le comité de produit concerné ne spécifie qu'une polarité.

Lorsqu'il est démontré qu'une condition (à sec ou sous pluie) ou une polarité, ou une combinaison des deux, donne la tension de tenue la plus basse, il suffit de vérifier la tension de tenue dans cette situation particulière.

Les défaillances de l'isolation se produisant pendant l'essai sont la base de l'acceptation ou du refus de l'objet essayé. Les comités de produit concernés ou le comité d'études 42 de la CEI doivent définir ce qui constitue une défaillance et les méthodes pour la détecter.

Si la tension de tenue normalisée de l'isolation entre phases (ou longitudinale) est égale à celle de l'isolation phase-terre, il est recommandé d'effectuer simultanément les essais de l'isolation entre phases (ou longitudinale) et de l'isolation phase-terre, en connectant l'une des deux bornes de phase à la terre.

### 5.2 Essais de tension de tenue normalisés de courte durée à fréquence industrielle

Un essai normalisé de tension de tenue de courte durée à fréquence industrielle consiste en une seule application de la tension de tenue normalisée appropriée, aux bornes de la configuration de l'isolation.

Sauf spécification différente du comité de produit concerné, l'isolation est considérée comme ayant réussi l'essai si aucune décharge disruptive ne se produit. Cependant, si une décharge disruptive se produit sur l'isolation autorégénératrice pendant un essai sous pluie, l'essai peut être répété une fois et le matériel est considéré comme ayant réussi l'essai si aucune autre décharge disruptive ne se produit.

Lorsque l'essai ne peut pas être effectué (par exemple pour les transformateurs à isolation non uniforme), le comité de produit concerné peut spécifier des fréquences allant jusqu'à quelques centaines de hertz et des durées inférieures à une minute. Sauf justification contraire, les tensions d'essai doivent être les mêmes.

### 5.3 Essais normalisés de tension de tenue aux chocs

Un essai normalisé de tension de tenue aux chocs consiste en un nombre spécifié d'applications de la tension de tenue normalisée appropriée, aux bornes de la configuration de l'isolation. Différentes procédures d'essai peuvent être choisies pour démontrer que les tensions de tenue sont satisfaites avec un degré de confiance que l'expérience acquise a montré comme étant acceptable.

La procédure d'essai doit être choisie par le comité de produit parmi les procédures suivantes qui sont normalisées et complètement décrites dans la CEI 60-1:

- Essai de tenue à trois chocs, dans lequel aucune décharge disruptive n'est tolérée.
- Essai de tenue à 15 chocs, dans lequel pas plus de deux décharges disruptives sur l'isolation autorégénératrice ne sont tolérées.

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

If the atmospheric conditions in the test laboratory differ from standard conditions, the test voltages shall be corrected according to IEC 60-1.

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

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

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

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

#### 5.2 *Standard short-duration power-frequency withstand voltage tests*

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

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

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

#### 5.3 *Standard impulse withstand voltage tests*

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

The test procedure shall be selected by the apparatus committees from the following test procedures which are standardized and fully described in IEC 60-1:

- Three-impulse withstand test in which no disruptive discharge is tolerated.
- Fifteen-impulse withstand test in which up to two disruptive discharges on the self-restoring insulation are tolerated.

- Essai de tenue à trois chocs dans lequel une seule décharge disruptive sur l'isolation autorégénératrice est tolérée. Si elle se produit, neuf autres chocs sont appliqués pour lesquels aucune décharge disruptive n'est tolérée.
- Essai de tenue de montée et descente avec sept chocs par niveau, dans lequel des décharges disruptives sur l'isolation autorégénératrice sont tolérées.
- Essai de montée et descente avec un choc par niveau qui n'est recommandé que si l'écart type conventionnel,  $z$ , défini par la CEI 60-1, est connu. Les valeurs suggérées ici,  $z = 6 \%$  pour les chocs de manoeuvre et  $z = 3 \%$  pour les chocs de foudre, doivent être utilisées si, et seulement si, on sait que respectivement  $z \leq 6 \%$  et  $z \leq 3 \%$ . Autrement, d'autres méthodes doivent être utilisées.

Dans toutes les procédures d'essai décrites ci-dessus aucune décharge disruptive n'est tolérée sur l'isolation non autorégénératrice.

On ne peut donner aucune signification statistique à l'essai de tenue à trois chocs dans lequel aucune décharge n'est tolérée ( $P_w$  est supposée être 100 %). Son utilisation est limitée aux cas dans lesquels l'isolation non autorégénératrice pourrait être endommagée par un grand nombre d'applications de tension.

Lorsque l'on choisit un essai pour un matériel dans lequel l'isolation non autorégénératrice est en parallèle avec l'isolation autorégénératrice, il convient de prendre en sérieuse considération le fait que, dans certaines procédures d'essai, des tensions supérieures à la tension de tenue assignée peuvent être appliquées et que de nombreuses décharges disruptives peuvent se produire.

#### 5.4 Situation d'essai différente

Lorsqu'il est trop onéreux ou trop difficile, voire même impossible, d'effectuer les essais de tenue dans les conditions d'essai normalisées, les comités de produit ou le comité d'études 42 de la CEI doivent spécifier la meilleure solution pour prouver les tensions de tenue assignées concernées. Une possibilité est d'effectuer l'essai dans une autre situation d'essai.

Une situation d'essai différente consiste en une ou plusieurs conditions d'essais différentes des conditions normalisées (disposition d'essai, valeur ou type de tensions d'essai, etc.). Il est donc nécessaire de démontrer que les conditions physiques pour le développement d'une décharge disruptive, correspondant à la situation normalisée, ne sont pas changées.

NOTE - Un exemple typique de variante est l'utilisation d'une seule source de tension en isolant le châssis au lieu d'un essai de tension combiné pour les essais de l'isolation longitudinale. Dans ce cas, la démonstration citée ci-dessus concernant le développement d'une décharge disruptive est une condition très stricte de l'acceptation de la variante.

#### 5.5 Essais normalisés de tension de tenue de l'isolation entre phases et de l'isolation longitudinale pour le matériel de la gamme I

##### a) Essais à fréquence industrielle

L'isolement entre phases (ou longitudinal) de quelques matériels pour lesquels  $123 \text{ kV} \leq U_m \leq 245 \text{ kV}$  peut nécessiter une tension de tenue à fréquence industrielle supérieure à la tension de tenue à fréquence industrielle phase-terre donnée par le tableau 2. Dans de tels cas, il est préférable d'effectuer l'essai avec deux sources de tension. Une borne doit être portée à la tension de tenue à fréquence industrielle phase-terre et l'autre à une tension égale à la différence entre les tensions de tenue à fréquence industrielle entre phases (ou longitudinale) et phase-terre. La borne de terre doit être mise à la terre.

- Three-impulse withstand test in which one disruptive discharge on the self-restoring insulation is tolerated. If this occurs, nine additional impulses are applied during which no disruptive discharge is tolerated.
- The up-and-down withstand test with seven impulses per level in which disruptive discharges on self-restoring insulation are tolerated.
- The up-and-down test with one impulse per level, which is recommended only if the conventional deviation,  $z$ , defined in IEC 60-1 is known. The values suggested there,  $z = 6\%$  for switching and  $z = 3\%$  for lightning impulses, shall be used if, and only if, it is known that  $z \leq 6\%$  and  $z \leq 3\%$  respectively. Otherwise other methods shall be used.

In all the test procedures described above no disruptive discharge is tolerated on the non-self-restoring insulation.

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

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

#### 5.4 *Alternative test situation*

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

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

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

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

##### a) *Power-frequency tests*

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

En variante, l'essai peut être effectué:

- avec deux sources de tensions à fréquence industrielle égales et en opposition, chacune appliquant à une borne de phase la moitié de la tension de tenue à fréquence industrielle de l'isolation entre phases (ou longitudinale). La borne de terre doit être mise à la terre;
- avec une seule source de tension à fréquence industrielle. Il est permis de porter la borne de terre à une tension suffisante pour éviter une décharge disruptive à la terre ou à la borne de terre.

NOTE - Si, pendant l'essai, la borne mise à la terre en service est portée à une tension qui influence la contrainte électrique sur la borne de phase (comme cela se produit pour les isolations longitudinales dans un gaz comprimé qui correspondent à  $U_m \geq 72,5$  kV), des moyens doivent être employés pour maintenir cette tension aussi proche que possible de la différence entre la tension d'essai de l'isolation entre phases (ou longitudinale) et celle de l'isolation phase-terre.

b) *Essais aux chocs de foudre de l'isolation entre phases (ou longitudinale)*

L'isolement entre phases (ou longitudinal) peut exiger une tension de tenue aux chocs de foudre supérieure à la tension de tenue phase-terre normalisée du tableau 2. Dans de tels cas, les essais concernés doivent être effectués immédiatement après les essais de l'isolation phase-terre en augmentant la tension sans changer la disposition d'essai. Dans l'évaluation de l'essai, on ne considère pas les chocs ayant engendré une décharge disruptive à la terre.

Lorsque le nombre des décharges à la terre empêche d'effectuer l'essai, un essai combiné doit être utilisé avec une composante de choc égale à la tension de tenue aux chocs de foudre entre phase et terre et une composante à fréquence industrielle dont la crête est de polarité opposée et de valeur égale à la différence entre les tensions de tenue aux chocs de foudre entre phases (ou longitudinale) et phase-terre. En variante, le comité de produit concerné peut spécifier une augmentation de l'isolement externe phase-terre.

5.6 *Essais normalisés de tension de tenue de l'isolation entre phases et de l'isolation longitudinale pour le matériel de la gamme II*

L'essai de tension de tenue combinée doit être effectué en tenant compte des prescriptions suivantes:

- la configuration d'essai doit reproduire convenablement la configuration en service, en particulier en ce qui concerne l'influence du plan de terre;
- chaque composante de la tension d'essai doit avoir la valeur spécifiée en 4.9;
- la borne de terre doit être reliée à la terre;
- pour les essais entre phases, la borne de la troisième phase doit être soit enlevée, soit mise à la terre;
- pour les essais de l'isolation longitudinale, les bornes des deux autres phases doivent être soit enlevées, soit mises à la terre.

L'essai doit être répété dans toutes les combinaisons possibles des bornes de phase, à moins que des considérations de symétrie électrique ne les rendent pas nécessaires.

L'essai de tenue aux chocs de foudre de l'isolation longitudinale du matériel de la gamme II prouve également la tenue aux chocs de foudre entre phase et terre en position ouverte.

Alternatively the test may be performed:

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

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

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

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

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

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

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

- the test configuration shall suitably duplicate the service configuration, especially with reference to the influence of the earth plane;
- each component of the test voltage shall have the value specified in 4.9;
- the earth terminal shall be connected to earth;
- in phase-to-phase tests the terminal of the third phase shall be either removed or earthed;
- in longitudinal insulation tests the terminals of the other two phases shall be either removed or earthed.

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

The longitudinal insulation lightning impulse withstand test of equipment in range II also proves the phase-to-earth lightning impulse withstand in the open position.

Dans l'évaluation des résultats d'essai, toute décharge disruptive doit être prise en compte. Les comités de produit et la CEI 60-1 donnent des recommandations plus détaillées pour les essais.

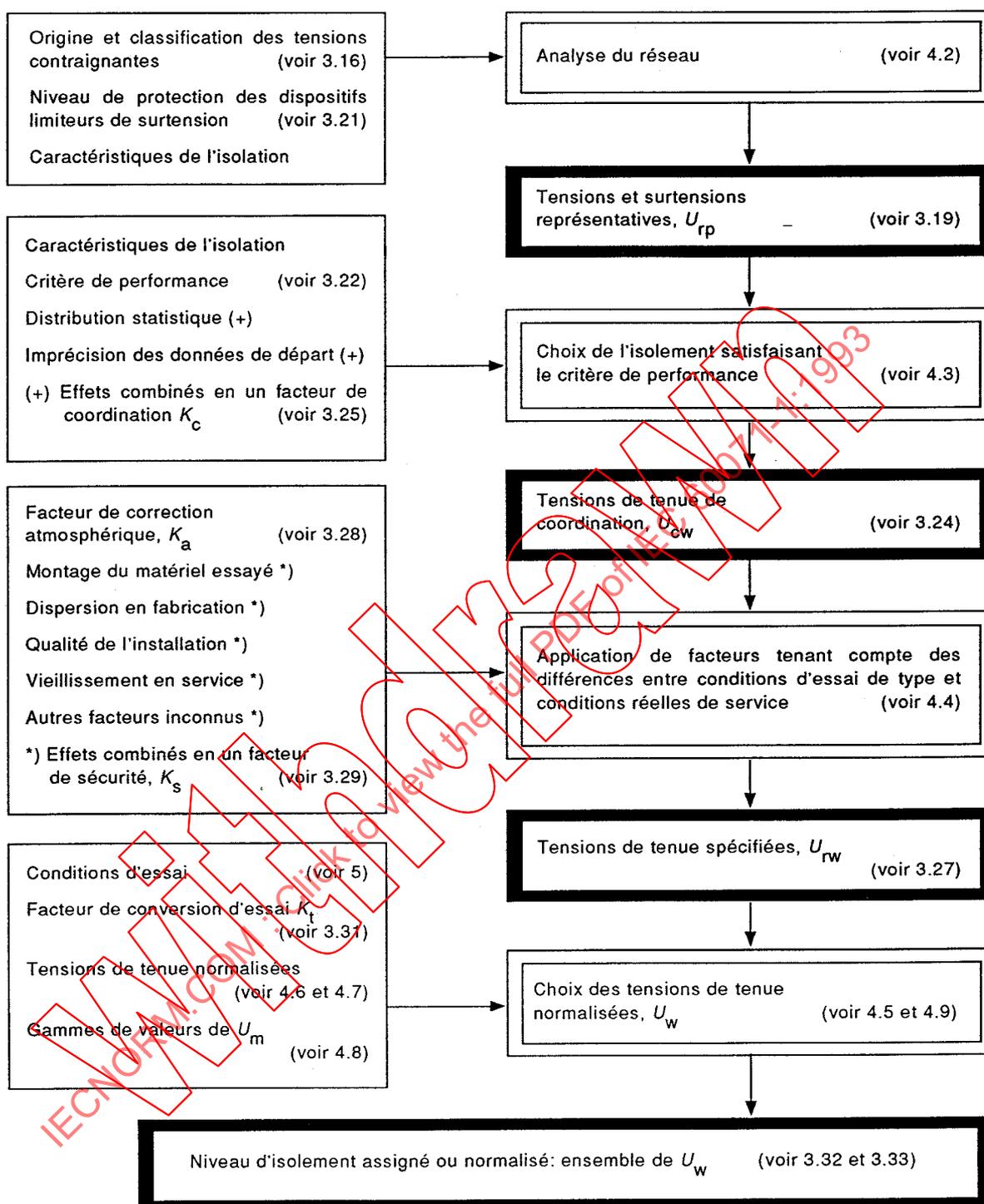
Pour des applications spéciales, les comités de produit concernés peuvent étendre à la gamme II les procédures d'essai de tenue aux chocs de foudre de l'isolation longitudinale applicables aux matériels de la gamme I.

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60077-1:1993  
Withdrawn

In the evaluation of the test results, any disruptive discharge is counted. More detailed recommendations for the tests are given by apparatus committees and IEC 60-1.

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

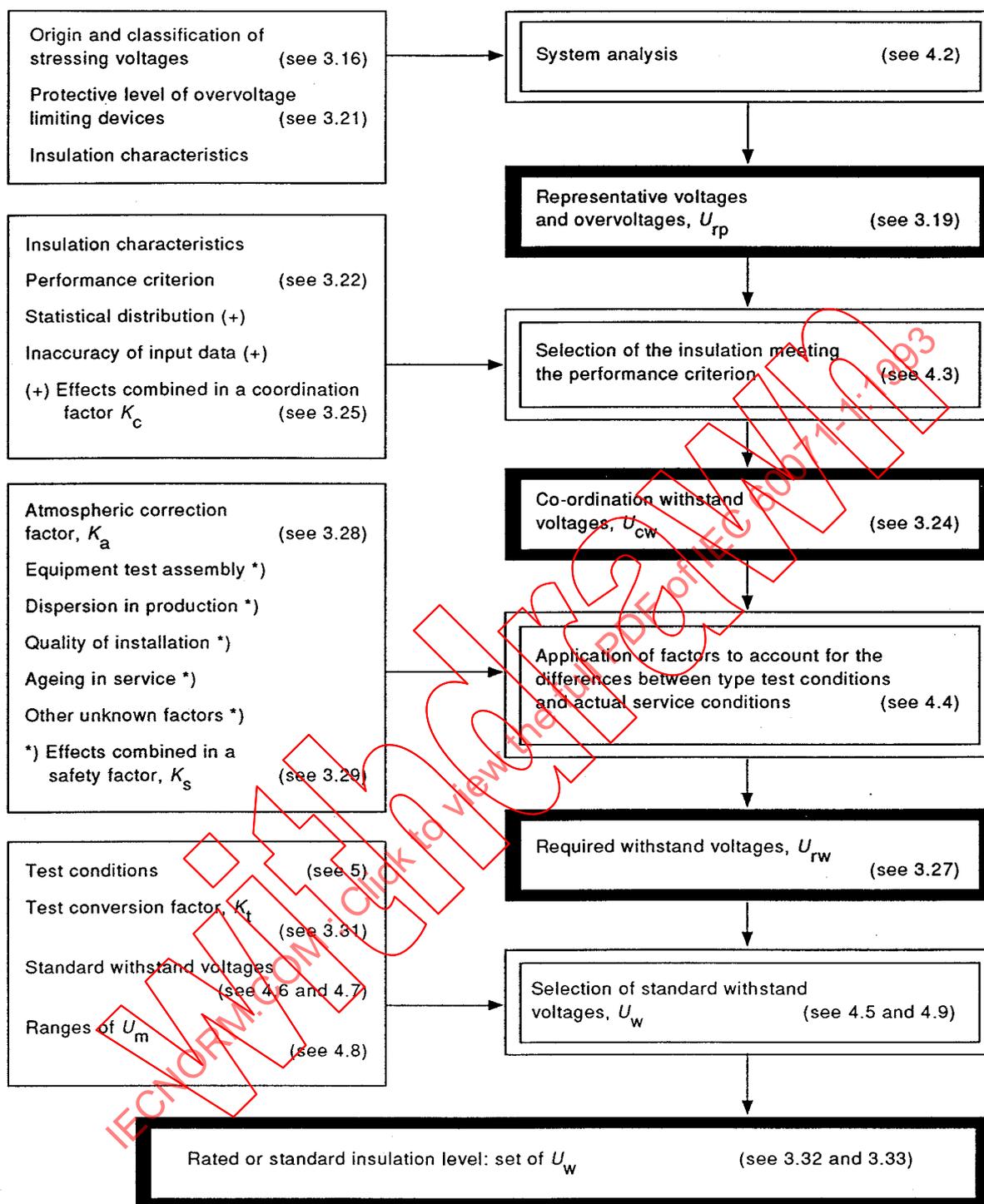
IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60077-1:1993  
Withdrawn



NOTE - Entre parenthèses, paragraphes où le terme est défini ou l'action décrite.

- rectangles indiquant les données à prendre en compte.
- == rectangles indiquant les actions à effectuer.
- === rectangles indiquant les résultats obtenus.

Figure 1 - Organigramme de détermination des niveaux d'isolement assignés et normalisés



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

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