

NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD

CEI
IEC
71-2

Troisième édition
Third edition
1996-12

Coordination de l'isolement –

**Partie 2:
Guide d'application**

Insulation co-ordination –

**Part 2:
Application guide**

© CEI 1996 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

XF

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

SOMMAIRE

	Pages
AVANT-PROPOS.....	8
Articles	
1 Généralités.....	10
1.1 Domaine d'application.....	10
1.2 Références normatives.....	10
1.3 Liste des symboles et définitions.....	12
2 Contraintes de tension représentatives en service.....	20
2.1 Origine et classification des contraintes de tension.....	20
2.2 Caractéristiques des dispositifs de protection contre les surtensions.....	22
2.3 Tensions et surtensions représentatives.....	26
3 Tension de tenue de coordination.....	56
3.1 Caractéristiques de tenue de l'isolation.....	56
3.2 Critère de performance.....	64
3.3 Procédures de coordination de l'isolement.....	66
4 Tension de tenue spécifiée.....	82
4.1 Remarques générales.....	82
4.2 Correction atmosphérique.....	82
4.3 Facteurs de sécurité.....	86
5 Tension de tenue normalisée et procédures d'essais.....	90
5.1 Remarques générales.....	90
5.2 Facteurs de conversion d'essai.....	92
5.3 Détermination de la tenue de l'isolement par des essais de type.....	94
6 Points particuliers concernant les lignes aériennes.....	102
6.1 Remarques générales.....	102
6.2 Coordination de l'isolement vis-à-vis des tensions d'exploitation et des surtensions temporaires.....	102
6.3 Coordination de l'isolement vis-à-vis des surtensions à front lent.....	104
6.4 Coordination de l'isolement vis-à-vis des surtensions de foudre.....	104
7 Points particuliers concernant les postes.....	106
7.1 Remarques générales.....	106
7.2 Coordination de l'isolement vis-à-vis des surtensions.....	110
Tableaux	
1 Lignes de fuite recommandées.....	70
2 Facteurs de conversion d'essai pour la gamme I, pour convertir les tensions de tenue spécifiées au choc de manoeuvre en tensions de tenue à fréquence industrielle de courte durée et en choc de foudre.....	92
3 Facteurs de conversion d'essai pour la gamme II, pour convertir les tensions de tenue spécifiées à fréquence industrielle de courte durée en tension de tenue au choc de manoeuvre.....	94
4 Sélectivité des procédures d'essai B et C de la CEI 60-1.....	98
A.1 Relation entre les tensions normalisées de tenue au choc de foudre et les distances d'air minimales.....	118
A.2 Relation entre les tensions normalisées de tenue au choc de manoeuvre et les distances d'air phase-terre minimales.....	120
A.3 Relation entre les tensions normalisées de tenue au choc de manoeuvre et les distances d'air phase-phase minimales.....	120
C.1 Tension d'amorçage en fonction de la probabilité d'amorçage – Isolation unique et 100 isolations en parallèle.....	134

CONTENTS

	Page
FOREWORD	9
Clause	
1 General.....	11
1.1 Scope	11
1.2 Normative references	11
1.3 List of symbols and definitions	13
2 Representative voltage stresses in service.....	21
2.1 Origin and classification of voltage stresses	21
2.2 Characteristics of overvoltage protective devices.....	23
2.3 Representative voltages and overvoltages.....	27
3 Co-ordination withstand voltage	57
3.1 Insulation strength characteristics	57
3.2 Performance criterion.....	65
3.3 Insulation co-ordination procedures.....	67
4 Required withstand voltage	83
4.1 General remarks	83
4.2 Atmospheric correction	83
4.3 Safety factors	87
5 Standard withstand voltage and testing procedures	91
5.1 General remarks	91
5.2 Test conversion factors.....	93
5.3 Determination of insulation withstand by type tests	95
6 Special considerations for overhead lines.....	103
6.1 General remarks	103
6.2 Insulation co-ordination for operating voltages and temporary overvoltages	103
6.3 Insulation co-ordination for slow-front overvoltages	105
6.4 Insulation co-ordination for lightning overvoltages.....	105
7 Special considerations for substations	107
7.1 General remarks	107
7.2 Insulation co-ordination for overvoltages	111
Tables	
1 Recommended creepage distances	71
2 Test conversion factors for range I, to convert required switching impulses withstand voltages to short-duration power-frequency and lightning impulse withstand voltages ...	93
3 Test conversion factors for range II to convert required short-duration power-frequency withstand voltages to switching impulse withstand voltages.....	95
4 Selectivity of test procedures B and C of IEC 60-1	99
A.1 Correlation between standard lightning impulse withstand voltages and minimum air clearances	119
A.2 Correlation between standard switching impulse withstand voltages and minimum phase-to-earth air clearances	121
A.3 Correlation between standard switching impulse withstand voltages and minimum phase-to-phase air clearances	121
C.1 Breakdown voltage versus cumulative flashover probability – Single insulation and 100 parallel insulations	135

F.1	Constante d'amortissement par effet couronne K_{co}	174
F.2	Facteur A pour différents types de lignes aériennes	184
G.1	Facteurs d'intervalles K typiques pour l'amorçage phase-terre au choc de manoeuvre .	194
G.2	Facteur d'intervalle pour des géométries phase-phase typiques	196
H.1	Résumé des tensions de tenue spécifiées minimales pour l'exemple H.1.1	212
H.2	Résumé des tensions de tenue spécifiées minimales pour l'exemple H.1.2	216
H.3	Valeurs relatives à la procédure de coordination de l'isolement pour l'exemple H.3	248
Figures		
1	Plages de valeurs à 2 % des surtensions à front lent en extrémité de ligne dues à l'enclenchement ou au réenclenchement	38
2	Rapport entre les valeurs à 2 % des surtensions à front lent entre phases et phase-terre.....	40
3	Schéma du raccordement d'un parafoudre à l'objet protégé	54
4	Probabilité de décharge disruptive d'une isolation autorégénératrice sur une échelle linéaire	72
5	Probabilité de décharge disruptive d'une isolation autorégénératrice sur une échelle gaussienne.....	72
6	Evaluation du facteur de coordination déterministe K_{cd}	74
7	Evaluation du risque de défaillance.....	76
8	Risque de défaillance de l'isolation externe pour les surtensions à front lent en fonction du facteur de coordination statistique K_{cs}	80
9	Relation entre l'exposant m et la tension de tenue de coordination au choc de manoeuvre	86
10	Probabilité P qu'un matériel ait un comportement satisfaisant en essai en fonction de la différence K entre les tensions de tenue aux chocs réelle et assignée	98
11	Exemple de disposition schématique de poste utilisé pour la localisation des contraintes (voir 7.1)	106
B.1	Facteur de défaut à la terre k en fonction de X_0/X_1 pour $R_1/X_1 = R = 0$	124
B.2	Relation entre R_0/X_1 et X_0/X_1 pour des valeurs constantes du facteur de défaut à la terre k lorsque $R_1 = 0$	124
B.3	Relation entre R_0/X_1 et X_0/X_1 pour des valeurs constantes du facteur de défaut à la terre k lorsque $R_1 = 0,5 X_1$	126
B.4	Relation entre R_0/X_1 et X_0/X_1 pour des valeurs constantes du facteur de défaut à la terre k lorsque $R_1 = X_1$	126
B.5	Relation entre R_0/X_1 et X_0/X_1 pour des valeurs constantes du facteur de défaut à la terre k lorsque $R_1 = 2X_1$	128
C.1	Graphique de conversion donnant la réduction de la tension de tenue pour des intervalles d'air (destinés à assurer l'isolement) en parallèle.....	138
D.1	Exemple de courbes de surtensions entre phases à deux variables pour une même fonction de répartition de probabilité et des tangentes donnant les valeurs 2 % correspondantes.....	150
D.2	Principe de détermination de la surtension représentative entre phases U_{pre}	152
D.3	Configuration schématique de l'isolation phase-phase-terre	152
D.4	Description de la tension d'amorçage 50 % phase-phase-terre en onde de manoeuvre.	154

F.1	Corona damping constant K_{co}	175
F.2	Factor A for various overhead lines.....	185
G.1	Typical gap factors K for switching impulse breakdown phase-to-earth.....	195
G.2	Gap factors for typical phase-to-phase geometries.....	197
H.1	Summary of minimum required withstand voltages obtained for example H.1.1.....	213
H.2	Summary of required withstand voltages obtained for example H.1.2	217
H.3	Values related to the insulation co-ordination procedure for example H.3	249
Figures		
1	Range of 2 % slow-front overvoltages at the receiving end due to line energization and re-energization.....	39
2	Ratio between the 2 % values of slow-front overvoltages phase-to-phase and phase-to-earth.....	41
3	Diagram for surge arrester connection to the protected object.....	55
4	Distributive discharge probability of self-restoring insulation described on a linear scale	73
5	Disruptive discharge probability of self-restoring insulation described on a Gaussian scale.....	73
6	Evaluation of deterministic co-ordination factor K_{cd}	75
7	Evaluation of the risk of failure.....	77
8	Risk of failure of external insulation for slow-front overvoltages as a function of the statistical co-ordination factor K_{cs}	81
9	Dependence of exponent m on the co-ordination switching impulse withstand voltage ..	87
10	Probability P of an equipment to pass the test dependent on the difference K between the actual and the rated impulse withstand voltage.....	99
11	Example of a schematic substation layout used for the overvoltage stress location (see 7.1)	107
B.1	Earth-fault factor k on a base of X_0/X_1 for $R_1/X_1 = R = 0$	125
B.2	Relationship between R_0/X_1 and X_0/X_1 for constant values of earth-fault factor k where $R_1 = 0$	125
B.3	Relationship between R_0/X_1 et X_0/X_1 for constant values of earth-fault factor k where $R_1 = 0,5 X_1$	127
B.4	Relationship between R_0/X_1 et X_0/X_1 for constant values of earth-fault factor k where $R_1 = X_1$	127
B.5	Relationship between R_0/X_1 et X_0/X_1 for constant values of earth-fault factor k where $R_1 = 2X_1$	129
C.1	Conversion chart for the reduction of the withstand voltage due to placing insulation configurations in parallel.....	139
D.1	Example for bivariate phase-to-phase overvoltage curves with constant probability density and tangents giving the relevant 2 % values.....	151
D.2	Principle of the determination of the representative phase-to-phase overvoltage U_{pre}	153
D.3	Schematic phase-phase-earth insulation configuration	153
D.4	Description of the 50 % switching impulse flashover voltage of a phase-phase-earth insulation.....	155

D.5	Angle d'inclinaison de la caractéristique de l'isolation entre phases dans la gamme b en fonction du rapport de la distance entre phases D à la hauteur au-dessus du sol Ht	156
E.1	Capacités réparties des enroulements d'un transformateur et circuit équivalent décrivant les enroulements	168
E.2	Valeurs du facteur J décrivant l'effet du couplage des enroulements sur la transmission des surtensions par voie inductive.....	170

Annexes

A	Distances dans l'air assurant une tension spécifiée de tenue aux chocs dans une installation	114
B	Détermination des surtensions temporaires dues à des défauts à la terre.....	122
C	Loi de probabilité de Weibull.....	130
D	Détermination de la surtension représentative à front lent due à l'enclenchement ou au réenclenchement d'une ligne.....	140
E	Surtensions transmises dans les transformateurs	158
F	Surtensions dues à la foudre	172
G	Calcul de la tenue diélectrique des intervalles d'air à partir des données expérimentales	186
H	Exemples de procédures de coordination de l'isolement.....	198
J	Bibliographie	250

D.5	Inclination angle of the phase-to-phase insulation characteristic in range b dependent on the ratio of the phase-phase clearance D to the height Ht above earth.....	157
E.1	Distributed capacitances of the windings of a transformer and the equivalent circuit describing the windings	169
E.2	Values of factor J describing the effect of the winding connections on the inductive surge transference	171
Annexes		
A	Clearances in air to assure a specified impulse withstand voltage installation.....	115
B	Determination of temporary overvoltages due to earth faults	123
C	Weibull probability distributions.....	131
D	Determination of the representative slow-front overvoltage due to line energization and re-energization.....	141
E	Transferred overvoltages in transformers.....	159
F	Lightning overvoltages.....	173
G	Calculation of air gap breakdown strength from experimental data	187
H	Examples of insulation co-ordination procedure	199
J	Bibliography	251

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

COORDINATION DE L'ISOLEMENT –

Partie 2: Guide d'application

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 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 condition fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de la CEI concernant des questions techniques, représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les documents produits se présentent sous la forme de recommandations internationales; ils sont publiés comme normes, rapports techniques ou guides et agréés comme tels 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 du 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.
- 5) La CEI n'a fixé aucune procédure concernant le marquage comme indication d'approbation et sa responsabilité n'est pas engagée quand un matériel est déclaré conforme à l'une de ses normes.
- 6) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Norme internationale peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale CEI 71-2 a été établie par le comité d'études 28 de la CEI: Coordination de l'isolement.

Cette troisième édition annule et remplace la deuxième édition parue en 1976, et constitue une révision technique.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
28/115/FDIS	28/117/RVD

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 fait partie intégrante de cette norme.

Les annexes B à J sont données uniquement à titre d'information.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

INSULATION CO-ORDINATION –

Part 2: Application guide

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 express, as nearly as possible an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested National Committees.
- 3) The documents produced have the form of recommendations for international use and are 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.
- 5) The IEC provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with one of its standards.
- 6) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this International Standard may be the subject of patent rights. The IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 71-2, has been prepared by IEC technical committee 28: Insulation co-ordination.

This third edition cancels and replaces the second edition published in 1976 and constitutes a technical revision.

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

FDIS	Report on voting
28/115/FDIS	28/117/RVD

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 forms an integral part of this standard.

Annexes B to J are for information only.

COORDINATION DE L'ISOLEMENT –

Partie 2: Guide d'application

1 Généralités

1.1 *Domaine d'application*

La présente partie de la CEI 71 constitue un guide d'application et concerne le choix des niveaux d'isolement des matériels ou des installations pour les réseaux triphasés. Son but est de donner des recommandations pour la détermination des tensions de tenue assignées pour les gammes I et II de la CEI 71-1 et de justifier l'association de ces valeurs assignées avec les valeurs normalisées des tensions les plus élevées pour le matériel.

Cette association ne couvre que les besoins de la coordination de l'isolement. Les exigences relatives à la sécurité des personnes ne sont pas traitées dans ce guide d'application.

Il traite des réseaux triphasés de tension nominale supérieure à 1 kV. Les valeurs qui en sont déduites ou qui y sont proposées ne sont généralement applicables qu'à ces seuls réseaux. Cependant, les principes présentés sont également valables pour les réseaux biphasés ou monophasés.

Il traite de l'isolement phase-terre, entre phases et longitudinal.

Ce guide d'application n'est pas destiné à détailler les essais de routine qui seront spécifiés par les comités de produits concernés.

Le contenu de ce guide suit strictement l'organigramme de la procédure de la coordination de l'isolement présenté à la figure 1 de la CEI 71-1. Les articles 2 à 5 correspondent à chacun des rectangles de l'organigramme et donnent des informations détaillées sur les principes de la procédure de coordination de l'isolement qui conduit à déterminer les niveaux de tenue spécifiés.

Ce guide insiste sur la nécessité de prendre en compte, dès le départ, toutes les origines, toutes les classes et tous les types de contraintes de tension en service quelle que soit la gamme de la tension la plus élevée pour le matériel. Ce n'est qu'à la fin de la procédure, au moment de sélectionner les tensions de tenue normalisées, que l'on applique le principe de couvrir une contrainte de tension particulière en service par une tension de tenue normalisée. Aussi le guide fait-il référence, à cette étape finale, aux corrélations établies dans la CEI 71-1 entre les niveaux d'isolement normalisés et la tension la plus élevée pour le matériel.

Les annexes contiennent des exemples et des informations détaillées qui expliquent ou corroborent les principes décrits dans le texte principal, et les techniques analytiques de base qui sont utilisées.

1.2 *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. Au moment de la publication, les éditions indiquées étaient en vigueur. Tout document normatif est sujet à révision et les parties prenantes aux accords fondés sur la présente partie de la CEI 71 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.

INSULATION CO-ORDINATION –

Part 2: Application guide

1 General

1.1 Scope

This part of IEC 71 constitutes an application guide and deals with the selection of insulation levels of equipment or installations for three-phase electrical systems. Its aim is to give guidance for the determination of the rated withstand voltages for ranges I and II of IEC 71-1 and to justify the association of these rated values with the standardized highest voltages for equipment.

This association is for insulation co-ordination purposes only. The requirements for human safety are not covered by this application guide.

It covers three-phase systems with nominal voltages above 1 kV. The values derived or proposed herein are generally applicable only to such systems. However, the concepts presented are also valid for two-phase or single-phase systems.

It covers phase-to-earth, phase-to-phase and longitudinal insulation.

This application guide is not intended to deal with routine tests. These are to be specified by the relevant product committees.

The content of this guide strictly follows the flow chart of the insulation co-ordination process presented in figure 1 of IEC 71-1. Clauses 2 to 5 correspond to the squares in this flow chart and give detailed information on the concepts governing the insulation co-ordination process which leads to the establishment of the required withstand levels.

The guide emphasizes the necessity of considering, at the very beginning, all origins, all classes and all types of voltage stresses in service irrespective of the range of highest voltage for equipment. Only at the end of the process, when the selection of the standard withstand voltages takes place, does the principle of covering a particular service voltage stress by a standard withstand voltage apply. Also, at this final step, the guide refers to the correlation made in IEC 71-1 between the standard insulation levels and the highest voltage for equipment.

The annexes contain examples and detailed information which explain or support the concepts described in the main text, and the basic analytical techniques used.

1.2 Normative references

The following normative documents contain provisions which, through reference in this text, constitute provisions of this part of IEC 71. 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 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.

CEI 56: 1987, *Disjoncteurs à courant alternatif à haute tension*

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

CEI 71-1: 1993, *Coordination de l'isolement – Partie 1: Définitions, principes et règles*

CEI 99-1: 1991, *Parafoudres – Partie 1: Parafoudres à résistance variable avec éclateurs pour réseaux à courant alternatif*

CEI 99-4: 1991, *Parafoudres – Partie 4: Parafoudres à oxyde métallique sans éclateur pour réseaux à courant alternatif*

CEI 99-5: 1996, *Parafoudres – Partie 5: Recommandations pour le choix et l'utilisation – Section 1: Généralités*

CEI 505: 1975, *Guide pour l'évaluation et l'identification des systèmes d'isolation du matériel électrique*

CEI 507: 1991, *Essais sous pollution artificielle des isolateurs pour haute tension destinés aux réseaux à courant alternatif*

CEI 721-2-3: 1987, *Classification des conditions d'environnement – Partie 2: Conditions d'environnement présentes dans la nature. Pression atmosphérique*

CEI 815: 1986, *Guide pour le choix des isolateurs sous pollution*

IEC 56: 1987, *High-voltage alternating-current circuit-breakers*

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

IEC 71-1: 1993, *Insulation co-ordination – Part 1: Definitions, principles and rules*

IEC 99-1: 1991, *Surge arresters – Part 1: Non-linear resistor type gapped surge arresters for a.c. systems*

IEC 99-4: 1991, *Surge arresters – Part 4: Metal-oxide surge arresters without gaps for a.c. systems*

IEC 99-5: 1996, *Surge arresters – Part 5: Selection and application recommendations – Section 1: General*

IEC 505: 1975, *Guide for the evaluation and identification of insulation systems of electrical equipment*

IEC 507: 1991, *Artificial pollution test on high-voltage insulators to be used on a.c. systems*

IEC 721-2-3: 1987, *Classification of environmental conditions – Part 2: Environmental conditions appearing in nature – Air pressure*

IEC 815: 1986, *Guide for the selection of insulators in respect of polluted conditions*