

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

(affiliée à l'Organisation Internationale de Normalisation — ISO)

RECOMMANDATION DE LA C E I

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

(affiliated to the International Organization for Standardization — ISO)

IEC RECOMMENDATION

Publication 71

Deuxième édition — Second edition

1958

Directives pour la coordination de l'isolement

Recommendations for Insulation Co-ordination



Droits de reproduction réservés — Copyright all rights reserved

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale

1, rue de Varembe
Genève, Suisse

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60071-1:1958

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

(affiliée à l'Organisation Internationale de Normalisation — ISO)

RECOMMANDATION DE LA C E I

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

(affiliated to the International Organization for Standardization — ISO)

I E C. RECOMMENDATION

Publication 71

Deuxième édition — Second edition

1958

Directives pour la coordination de l'isolement

Recommendations for Insulation Co-ordination



Droits de reproduction réservés — Copyright all rights reserved

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale

1, rue de Varembé
Genève, Suisse

SOMMAIRE

PRÉAMBULE	4
PRÉFACE	4
CHAPITRE	
I Domaine d'application — Objet des directives	8
II Définitions	8
III Principes de base de la coordination des isolements	12
IV Niveaux d'isolements normalisés	12
V Conditions d'essais	20

INDEX

FOREWORD	5
PREFACE	5
SECTION	
I Scope and object of the Recommendations	9
II Definitions	9
III Basic principles of insulation co-ordination	13
IV Standard Insulation levels	13
V General testing procedure	21

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**DIRECTIVES POUR LA COORDINATION
DE L'ISOLEMENT**

(Deuxième édition)

PRÉAMBULE

- 1) Les décisions ou accords officiels de la C E I en ce qui concerne les questions techniques, préparés par des Comités d'Etudes 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
- 2) Ces décisions constituent des recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux
- 3) Dans le but d'encourager cette unification internationale, la C E I exprime le vœu que tous les Comités nationaux ne possédant pas encore de règles nationales, lorsqu'ils préparent ces règles, prennent comme base fondamentale de ces règles les recommandations de la C E I dans la mesure où les conditions nationales le permettent
- 4) On reconnaît qu'il est désirable que l'accord international sur ces questions soit suivi d'un effort pour harmoniser les règles nationales de normalisation avec ces recommandations dans la mesure où les conditions nationales le permettent. Les Comités nationaux s'engagent à user de leur influence dans ce but.

PRÉFACE

La présente publication est l'aboutissement des travaux du Comité d'Etudes N° 28 qui se sont succédé de 1948 à 1956.

Une première édition avait été publiée en 1954. Depuis lors des compléments et corrections ont été discutés aux réunions de Philadelphie (1954) et de Londres (1955).

Ces compléments et corrections ont été rassemblés dans un document qui a été soumis aux Comités nationaux suivant la Règle des Six Mois en février 1956, discuté à la réunion de Munich (1956) et a reçu l'approbation des Comités nationaux, sans aucun vote contre; mais avec observations de quelques-uns de ces comités. Il a été modifié en conséquence et soumis à la Procédure des Deux Mois en janvier 1957. Ce projet de compléments et corrections a été approuvé par les pays suivants:

Allemagne	Pays-Bas
Autriche	Pologne
Belgique	Royaume-Uni
Canada	Suède
Danemark	Suisse
Etats-Unis d'Amérique	Tchécoslovaquie
Finlande	Union Sud-Africaine
France	Union des Républiques Socialistes Soviétiques
Italie	Yougoslavie

Quelques Comités nationaux ayant encore envoyé des observations, essentiellement d'ordre rédactionnel et clarificateur, le Secrétariat et le Président du Comité d'Etudes N° 28 en ont tenu compte dans la rédaction finale des compléments et corrections. En vue d'assurer une meilleure présentation évitant toute erreur d'interprétation, il a été jugé approprié de refondre la première édition de la publication 71 avec le document de compléments et corrections.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**RECOMMENDATIONS FOR INSULATION
CO-ORDINATION**

(Second edition)

FOREWORD

- (1) The formal decisions or agreements of the I E C 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
- (2) They have the form of recommendations for international use and they are accepted by the National Committees in that sense
- (3) In order to promote this international unification, the I E C expresses the wish that all National Committees having as yet no national rules, when preparing such rules, should use the I E C recommendations as the fundamental basis for these rules insofar as national conditions will permit
- (4) The desirability is recognized of extending international agreement on these matters through an endeavour to harmonize national standardization rules with these recommendations insofar as national conditions will permit. The National Committees pledge their influence towards that end.

PREFACE

This publication is the result of the work of Technical Committee No 28 from 1948 to 1956

A first edition was published in 1954, and since that date additions and amendments have been discussed at Philadelphia (1954) and London (1955)

These additions and amendments were collected together in a document which was submitted to the National Committees for approval under the Six Months' Rule in February 1956, discussed at the Munich meeting (1956), and finally approved by the National Committees without any contrary vote, but with comments from some of these National Committees. It was consequently revised and submitted under the Two Months' Procedure in January 1957

The draft additions and amendments were explicitly approved by the following countries

Austria	Netherlands
Belgium	Poland
Canada	Sweden
Czechoslovakia	Switzerland
Denmark	Union of South Africa
Finland	United Kingdom
France	United States of America
Germany	Union of Soviet Socialist Republics
Italy	Yugoslavia

A few National Committees having made further comments, mainly of an editorial character or for greater clarity, these comments have been taken into account in the final wording of the document by the Secretariat and the Chairman of Technical Committee No 28

In order to obtain a better presentation and to avoid errors of interpretation it was deemed advisable to prepare a second edition of Publication 71, incorporating these additions and amendments

Remarque pour les Comités de la C E I chargés des matériels particuliers

La présente publication s'attache à formuler les conditions à satisfaire par l'isolation des diverses catégories de matériel, sous la forme de recommandations générales qui leur soient autant que possible communes; de façon que chaque Comité de la C E I chargé d'un matériel particulier les prenne en considération en *priorité* quand il établit le chapitre isolation de ses règles particulières, et évite de choisir pour son compte, *sauf justification motivée*, des conditions d'essais ou des valeurs numériques quelque peu différentes, en pesant éventuellement les avantages et les inconvénients respectifs d'une adaptation étroite à l'objet, et d'une base rationnelle et générale telle qu'appropriée à une normalisation internationale. Des recommandations communes se justifient par le fait que tous les matériels en situation exposée d'une même installation sont soumis à des tensions et surtensions indépendantes de la *nature* du matériel.

Lorsqu'il s'agit de préciser les conditions et valeurs numériques ayant le consentement d'un accord international, la majorité des pays s'est ralliée après discussion à des conditions et valeurs communes; mais quelques Comités nationaux avaient des pratiques particulières ayant le support d'un usage prolongé regardé comme satisfaisant. Ils ont estimé que tant que des essais démonstratifs n'avaient pas été faits pour permettre de juger de la supériorité des conditions et valeurs numériques ayant obtenu la majorité des accords, sur celles en usage dans leur pays, il convenait de donner l'indication de leur propre pratique.

C'est ainsi que l'on a été conduit à indiquer, dans le présent texte, ces autres pratiques, *ce n'est là qu'une situation temporaire*, car il faut en arriver à ce que tous les pays s'alignent un jour sur la réglementation la meilleure, à la suite d'essais comparatifs concluants sanctionnés par les conditions du service; mais il est reconnu que cette étape finale peut demander quelques transitions.

Guide d'application

Les présentes recommandations seront complétées par la rédaction d'un guide d'application qui a été jugé nécessaire par la quasi-unanimité des Comités nationaux pour laisser aux Recommandations un caractère de brièveté et de précision, et donner aux utilisateurs des compléments ayant le support d'un consentement international.

Quelques projets successifs ont été établis jusqu'à présent, une nouvelle rédaction tenant compte des observations des Comités nationaux est en préparation. Elle comportera notamment, suivant la décision prise par le Comité, un chapitre sur les distances dans l'air entre parties sous tension remplaçant le chapitre VI de la première édition des présentes directives.

Nota : 1) Il est indiqué au Chapitre III «Principes de base de la coordination», que la notion de coordination implique essentiellement une corrélation entre les conditions de tenue au choc du matériel et les caractéristiques des dispositifs de protection contre les surtensions. La présente publication précise le tableau des *niveaux de tenue au choc* du matériel, on s'est assuré que ce tableau était en accord avec les caractéristiques des dispositifs de protection réalisables, comme il est indiqué page 12; l'ensemble de la question sera repris dans le guide d'application.

2) Quelques précisions ont été données sur les conditions de tenue de l'*isolation externe* d'un matériel, et sur les conditions de contrôle de cette tenue. Cette question, qui est importante pour ceux des appareils où l'isolation externe est un facteur essentiel de dimensionnement du matériel, devra être complétée pour tenir compte des conditions atmosphériques (séparées ou associées) de pluie, humidité, pollution.

En principe, il appartient au Comité d'Etudes N° 42 de la C E I d'indiquer les *conditions d'essais*, qui, du point de vue de la technique des essais, peuvent être normalisées; quand le Comité 42 aura terminé son travail, le chapitre V de la publication 71 sera modifié et abrégé. Il a été estimé qu'en attendant, il convenait de le conserver puisqu'il a été accepté par le Comité d'Etudes N° 28.

Indication sur l'état d'avancement des travaux du Comité d'Etudes N° 28

Diverses questions sont actuellement en cours de discussion au Comité d'Etudes N° 28, notamment le choix d'une suite de tensions de tenue au choc normalisées pour les plus hautes tensions (la suite des niveaux de tenue au choc 750, 825, 900, 1 050, 1 175, 1 300, 1 425, 1 550, 1 675 a été proposée), le choix des valeurs de cette liste qu'il convient d'associer à chacun des échelons de tension de réseaux, le choix de la valeur de tension de tenue à fréquence industrielle à leur faire correspondre.

Il est cependant apparu des discussions que la Publication 71, dans son état actuel (2^{me} édition) était regardée par la grande majorité des Comités nationaux comme donnant les réponses adéquates dans l'état actuel de la technique, pour guider les autres Comités de la C E I pour l'établissement de leurs règles de spécification de l'isolation.

Note for the I E C Specialized Equipment Technical Committees

The present publication aims at formulating the conditions to be fulfilled by the insulation of the various categories of equipment, in the form of general recommendations which should, as far as possible, be common to all of them. Each I E C Technical Committee concerned with a given equipment should consider these recommendations *in the first place* when drawing up the insulation section of its particular rules, and avoid choosing for its special use more or less different test conditions or numerical values, except when *fully justified*. When necessary, the respective advantages and drawbacks of a close adaptation to the case considered and a rational and general basis suitable for international standardization should be carefully weighed. Common recommendations are justified by the consideration that all equipment in a given exposed installation is subjected to voltages and overvoltages independent of the *nature* of the particular equipment.

When the question arose of specifying internationally accepted test conditions and numerical values, the majority of National Committees, after discussions, agreed to a common set of conditions and values. However, some National Committees had practices of their own, supported by long experience which they considered to be satisfactory. They deemed it proper, so long as tests had not been made demonstrating the superiority of the test conditions and numerical values approved by the majority over those in use in their own countries, that their particular practice should be indicated.

Consequently this has led to the inclusion in the present document of the indication of such other practices: *it is but a temporary situation*, as we must come one day to the point when all countries will accept the regulations found to be the best after conclusive tests confirmed by behaviour in service. It is recognized, however, that this final stage may require some intermediate steps.

Application guide

The present recommendations will be supplemented by the drafting of an application guide which was deemed necessary by the great majority of National Committees, in order that the Recommendations might keep their character of brevity and precision, and to provide the users with some guidance supported by international agreement.

Several successive drafts of such a guide have so far been drawn up. A new one which takes into account the observations of the National Committees is being prepared. This will include, according to the Committee's decision, a chapter on the minimum clearances in air between live parts, replacing Chapter VI of the first edition of the present recommendations.

Notes : (1) It is mentioned in Section III "Basic principles of Insulation Co-ordination", that the notion of co-ordination basically implies a correlation between the impulse withstand conditions of equipment and the characteristics of overvoltage protective devices. The present publication contains a table of *impulse withstand levels* for equipments; it has been verified that this table was in accordance with the characteristics of currently obtainable protective devices, as mentioned on page 13. The whole matter will be taken up in the application guide.

(2) Some indications are given about the withstand conditions of *external insulation* of apparatus, and the corresponding test conditions for their checking. This question, which is important for apparatus of which the external insulation is a major factor in their design, will have to be supplemented with due regard to the atmospheric conditions (either separately or in combination) of rain, moisture, pollution. In principle, it is the responsibility of Technical Committee No. 42 to specify the *test procedures* which can be standardized. When T C 42 has concluded this work, Section V of Publication 71 will be amended and abridged. It has been deemed advisable, meanwhile, to retain it, since it has been accepted by Technical Committee No. 28.

Indications concerning the progress of the work of Technical Committee No. 28

Several questions are now under study in Technical Committee No. 28, more particularly the choice of a list of standardized impulse withstand voltages for the highest voltages (the series of impulse withstand values 750, 825, 900, 1 050, 1 175, 1 300, 1 425, 1 550, 1 675 kV has been proposed), the choice of the values in this list which should be associated with each of the highest system voltages, the choice of the value of the corresponding power-frequency withstand voltages.

It appeared, however, from the discussions that Publication 71, in its present state (second edition), was considered by the great majority of National Committees as supplying adequate answers in the present state of the art, to guide the other I E C Technical Committees in drawing up their insulation specifications.

I — DOMAINE D'APPLICATION — OBJET DES DIRECTIVES

Les présentes directives s'appliquent à tous les matériels pour réseaux à courants alternatifs d'une tension nominale supérieure à 1 kV qui sont utilisés dans les installations en situation exposée (voir définition 3)

Elles ne s'appliquent pas aux générateurs et machines tournantes (qui feront l'objet d'indications ultérieures), ni aux câbles souterrains et lignes aériennes

L'objet des présentes directives est de normaliser la spécification de l'isolement des divers matériels utilisés dans une installation donnée. Il appartient à chaque comité chargé d'une catégorie de matériel de réglementer les conditions d'essai appropriées à ce matériel, mais les valeurs des tensions d'essais doivent être conformes à la gamme des niveaux d'isolement normalisés que l'on trouvera aux pages 16 et 18 des présentes directives (1)

II — DÉFINITIONS

Les définitions suivantes sont adoptées dans le cadre des présentes directives

1 Tension nominale d'un réseau Valeur de la tension efficace entre phases par laquelle le réseau est dénommé

2 Tension la plus élevée d'un réseau Valeur la plus élevée de la tension efficace entre phases qui peut se présenter à un instant et en un point quelconques du réseau dans les conditions d'exploitation normales. Cette valeur ne tient pas compte des variations temporaires de tension dues aux défauts et au déclenchement brusque de charges importantes

3 Installation en situation exposée Installation dans laquelle le matériel est soumis à des surtensions d'origine atmosphérique

Nota : Ces installations sont généralement connectées à des lignes aériennes, soit directement ou par une courte longueur de câble

4 Installation en situation non exposée Installation dans laquelle le matériel n'est pas soumis à des surtensions d'origine atmosphérique

Nota : Ces installations sont généralement connectées à un réseau de câbles souterrains (2)

5 Isolement externe Isolement des parties externes d'un appareil qui comporte des distances de séparation dans l'air ou des surfaces isolantes dans l'air, soumises à la fois à une contrainte diélectrique et à l'influence de conditions atmosphériques ou d'agents extérieurs tels que l'humidité, la poussière, les animaux, la pollution, etc

1) Si l'on désire dans des cas exceptionnels avoir, pour une tension de réseau donnée un niveau d'isolement différent de celui du tableau, les tensions de tenue au choc devront être choisies parmi les chiffres figurant dans le tableau avec les tensions d'essai à fréquence industrielle correspondantes (Ces tensions d'essai à fréquence industrielle sont des valeurs minima, compte tenu des commentaires de la page 14)

2) Dans le cas d'une installation reliée au côté secondaire d'un transformateur dont le primaire est relié à une installation en situation exposée, la coordination de l'isolement demande examen particulier

I — SCOPE AND OBJECT OF THE RECOMMENDATIONS

The recommendations apply to all apparatus for a.c. systems, having nominal voltages above 1 kV, for use in exposed installations (see Definition 3)

They do not apply to generators and rotating machines (these types of apparatus will be considered subsequently), nor to underground cables and overhead lines

The object of the recommendations is to standardize the specification of the insulation of the various apparatus to be used in a given installation. Each apparatus committee is responsible for specifying a test procedure suitable for the apparatus concerned, but the values of the test voltages should conform with the recommended scale of standardized insulation levels (1) on Pages 17 and 19 of these recommendations

II — DEFINITIONS

The following definitions have been adopted for the purpose of these recommendations:

1 **The nominal voltage of a system** is the r.m.s. line-to-line voltage by which the system is designated

2 **The highest voltage of a system** is the highest r.m.s. line-to-line voltage which can be sustained under normal operating conditions at any time and at any point on the system. It excludes temporary voltage variations due to fault conditions and the sudden disconnection of large loads

3 **An exposed installation** is an installation in which the apparatus is subject to overvoltages of atmospheric origin

Note Such installations are usually connected to overhead transmission lines, either directly, or through a short length of cable

4 **A non-exposed installation** is an installation in which the apparatus is not subject to over-voltage of atmospheric origin

Note : Such installations are usually connected to cable networks (2)

5 **External insulation** is the insulation of the external part of apparatus consisting of gaps through air or across insulating surfaces in air, and subject at the same time to dielectric stresses and the effect of atmospheric and external conditions, such as humidity, dust, vermin, pollution, etc

(1) If in exceptional circumstances it is desired to have a different insulation level for a given system voltage, the impulse withstand voltages should be chosen in accordance with the numbers appearing in the relevant column in the table, together with the corresponding power frequency test voltages. (These power-frequency test voltages are minima values, taking into account the comments on Page 15)

(2) In the case of an installation connected to the secondary side of a transformer whose primary is in an exposed situation, the insulation co-ordination requires special consideration

6 Isolement interne Isolement des parties intérieures d'un appareil qui ne sont pas soumises à l'influence de conditions atmosphériques ou d'agents extérieurs tels que l'humidité, la poussière, la vermine, la pollution, etc

Exemple isolement immergé dans l'huile

Nota : Tous les matériels, sauf ceux raccordés par boîtes à câbles comportent à la fois une isolation interne et une isolation externe

7 Isolement pour matériel d'intérieur Isolement externe d'appareils destinés à être utilisés à l'intérieur des bâtiments et par conséquent à l'abri des intempéries

8 Isolement pour matériel d'extérieur Isolement externe d'appareils destinés à être utilisés à l'extérieur des bâtiments et pouvant, en conséquence, être soumis aux intempéries

9 Essai de type Essai exécuté sur un seul appareil d'un même modèle. Cet essai est exécuté en vue de démontrer que tous les appareils de la spécification considérée et ayant les mêmes détails essentiels seraient capables de supporter le même essai. Il n'est en général pas répété à chaque fourniture

10 Essai individuel Essai appliqué à tous les appareils d'une série

11 Un réseau à neutre isolé est un réseau dont le neutre n'a aucune connexion intentionnelle à la terre sauf à travers des appareils de signalisation, de mesure et de protection, de très grande impédance

12 Un réseau compensé par bobine d'extinction est un réseau dont le neutre est réuni à la terre par une bobine dont la réactance est de valeur telle que lors d'un défaut entre une phase du réseau et la terre, le courant inductif à fréquence industrielle qui circule entre le défaut et la bobine neutralise essentiellement la composante capacitive à fréquence fondamentale du courant de défaut

Nota Dans un réseau compensé par bobine d'extinction, le courant de défaut résultant est limité de telle sorte que l'arc de défaut dans l'air s'éteigne spontanément

13 Un réseau à neutre à la terre est un réseau dont le neutre est relié à la terre soit directement, soit par une résistance ou réactance de valeur assez faible pour réduire les oscillations transitoires et laisser passer un courant suffisant pour la protection sélective de terre

a) *Un réseau à neutre effectivement à la terre* en un emplacement déterminé est un réseau caractérisé par un coefficient de mise à la terre en cet emplacement qui ne dépasse pas 80%

Nota Cette condition est approximativement réalisée quand le rapport de la réactance homopolaire à la réactance directe est inférieur à 3 et le rapport de la résistance homopolaire à la résistance directe inférieur à 1 pour toutes les configurations du système

b) *Un réseau à neutre non effectivement à la terre* en un emplacement déterminé est un réseau caractérisé par un coefficient de mise à la terre en cet emplacement qui peut dépasser 80%

14 Le coefficient de mise à la terre à un emplacement déterminé d'un réseau triphasé (généralement le point d'installation d'un matériel), et pour une configuration donnée du réseau, est le rapport, exprimé en pour-cent, de la tension efficace la plus élevée à la fréquence du réseau entre une phase saine et la terre à cet emplacement pendant un défaut à la terre affectant une ou plusieurs phases, à la tension efficace entre phases à la fréquence du réseau qui serait obtenue au même emplacement avec disparition du défaut

Nota 1) En général, on suppose que le défaut se produit à l'emplacement pour lequel on calcule le coefficient, mais dans certains cas particuliers, qui se rencontrent surtout quand le coefficient de mise à la terre dépasse 100%, on pourra être amené à rechercher l'influence d'un emplacement différent du défaut sur la valeur la plus élevée de la tension à la terre

2) On retiendra le plus élevé des coefficients correspondant aux différentes configurations du réseau qui se présentent dans la pratique

Pour certains réseaux on pourra se contenter d'un seul coefficient caractérisant le réseau

Généralement on calculera le coefficient en fonction des impédances des différentes suites du réseau, en utilisant pour les générateurs les réactances subtransitoires

6 **Internal insulation** is the insulation of the internal parts of apparatus which is not subject to the effect of atmospheric and external conditions such as humidity, dust, vermin, pollution, etc

Example Oil-immersed insulation

Note All apparatus, except those with sealed cable terminals, have both internal and external insulation

7 **Indoor insulation** is external insulation which is designed to operate inside buildings and consequently not exposed to the weather

8 **Outdoor insulation** is external insulation which is designed to operate outside buildings and consequently exposed to the weather

9 **A type test** is a test of one piece of apparatus intended to show that all pieces of apparatus made to the same specification and having the same essential details would pass an identical test, it is usually not repeated on different deliveries

10 **A routine test** is a test to which each piece of apparatus is subjected

11 **An isolated neutral system** is a system which has no intentional connection to earth except through indicating, measuring, or protective devices of very high impedance

12 **A resonant earthed system (a system earthed through an arc-suppression coil)** is a system earthed through a reactor, the reactance being of such value that during a single line-to-earth fault, the power-frequency inductive current passed by this reactor essentially neutralizes the power-frequency capacitance component of the earth-fault current

Note : With resonant earthing of a system, the net current in the fault is limited to such an extent that an arcing fault in air would be self-extinguishing

13 **An earthed neutral system** is a system in which the neutral is connected to earth, either solidly, or through a resistance or reactance of low enough value to reduce materially transient oscillations and to give a current sufficient for selective earth fault protection

a) *A system with effectively earthed neutral* at a given location is a system characterized by a coefficient of earthing at this point which does not exceed 80%

Note : This condition is obtained approximately when, for all system configurations, the ratio of zero sequence reactance to the positive-sequence reactance is less than three and the ratio of zero-sequence resistance to positive-sequence reactance is less than one

b) *A system with non-effectively earthed neutral* at a given location is a system characterized by a coefficient of earthing at this point that may exceed 80%

14 **The coefficient of earthing** at a selected location of a three-phase system, (generally the point of installation of an equipment), for a given system layout, is the ratio, expressed as a percentage, of the highest r.m.s. line-to-earth power-frequency voltage on a sound phase at the selected location during a fault to earth affecting one or more phases, to the line-to-line r.m.s. power-frequency voltage which would be obtained at the selected location with the fault removed

Notes : (1) In general it will be presumed that the fault is located at the point for which the coefficient is desired, but in some special cases (which are to be expected mainly when the coefficient of earthing exceeds 100%) the effect of other fault locations on the highest value of the voltage to earth should be investigated.

(2) The highest value of the coefficient for the various system layouts which may occur in practice shall be used. For certain systems, a single coefficient may be sufficient to characterize the system. Generally, the coefficient will be calculated from the phase-sequence impedance components of the system, using for the generators the subtransient reactances

III — PRINCIPES DE BASE DE LA COORDINATION DES ISOLEMENTS

On entend par *Coordination des Isolements* l'ensemble des dispositions prises en vue d'éviter que des dommages ne soient causés au matériel électrique par les surtensions et de localiser les amorçages (lorsqu'il est impossible de les empêcher économiquement) en des points où ils ne peuvent pas causer de dommages. On y parvient en établissant la corrélation nécessaire entre les conditions de tenue de l'isolation du matériel électrique et les caractéristiques des dispositifs de protection contre les surtensions, respectivement caractérisées par un niveau de tenue au choc et un niveau de protection au choc, comme il est indiqué ci-dessous.

Surtensions considérées

Ces surtensions peuvent être d'origine atmosphérique ou être engendrées dans le réseau lui-même.

Les surtensions atmosphériques sont causées par la foudre et peuvent atteindre des valeurs très élevées; mais on peut limiter leur amplitude par des dispositifs de protection appropriés.

Les surtensions engendrées dans le réseau lui-même peuvent généralement être limitées en agissant sur les appareils de coupure eux-mêmes, sur la structure du réseau, ou par des dispositifs de protection appropriés.

Conditions de tenue de l'isolation d'un matériel

Les conditions de tenue de l'isolation d'un matériel conçu pour situation exposée s'expriment, pour l'objet des présentes directives, par une valeur de crête de tension de choc appelée son niveau de tenue au choc, et par une valeur efficace de tension alternative à fréquence industrielle appliquée pendant une minute, que l'appareil doit pouvoir supporter aux essais dans des conditions spécifiées.

Caractéristiques des dispositifs de protection

Un dispositif de protection est caractérisé par son niveau de protection au choc c'est-à-dire par la tension de crête la plus élevée qui peut apparaître à ses bornes dans des conditions spécifiées. Les niveaux de tenue des appareils indiqués dans les présentes directives ont été déterminés en vue de permettre leur corrélation avec les niveaux de protection que peuvent assurer les dispositifs de protection contre les surtensions que l'on trouve sur le marché.

IV — NIVEAUX D'ISOLEMENT NORMALISÉS

Le *niveau d'isolement* d'un matériel est défini par la combinaison des valeurs de tension (à la fois à fréquence industrielle et au choc) qui caractérisent l'isolation de ce matériel relativement à son aptitude à supporter les contraintes diélectriques.

Les tableaux ci-après donnent la liste des niveaux d'isolement normalisés.

La première colonne de ces tableaux indique la valeur U_m de la tension la plus élevée du réseau (1).

1) L'attention est attirée sur ce qu'il ne faut pas confondre cette tension U_m avec la tension nominale du réseau U_n . C'est à la tension la plus élevée du réseau seule que se rapportent les conditions d'isolation du matériel. Pour les valeurs nominales des tensions nominales des réseaux, voir la Publication C E I n° 38.

III — BASIC PRINCIPLES OF INSULATION CO-ORDINATION

Insulation co-ordination consists of the steps taken to prevent damage to electrical equipment due to overvoltages and to localize flashovers (when they cannot be economically prevented) to points where they will cause no damage. It is accomplished by establishing the necessary correlation between the insulation strength of electrical apparatus and the characteristics of the protective devices against overvoltages, as respectively characterized by an impulse withstand level and an impulse protection level, as stated below.

Overvoltages considered

These may be either overvoltages of atmospheric origin or generated within the system.

Overvoltages of atmospheric origin are caused by lightning and can attain very high values, but their amplitude can be limited by appropriate protective devices.

The overvoltages generated in the system itself can generally be limited by the design of the switching devices themselves, by suitable arrangement of the system, or by the provision of appropriate protective apparatus.

Insulation strength of apparatus

The insulation strength of apparatus for use in exposed installations is expressed, for the purpose of these recommendations, in terms of the crest value of an impulse voltage called its impulse withstand level, and the 1 m s value of the one-minute power-frequency voltage, which the apparatus can withstand during tests made under specified conditions.

Characteristics of protective devices

A protective device is characterized by its impulse protection level, that is, the highest voltage (crest value) which appears at its terminals under specified conditions. Insulation withstand levels of apparatus given in these recommendations have been determined with a view to obtain correlation with the protection levels of the overvoltage protective devices which are commercially available.

IV — STANDARD INSULATION LEVELS

The insulation level of an apparatus is defined as that combination of voltage values (both power-frequency and impulse) which characterizes the insulation of the apparatus with regard to its capability of withstanding the dielectric stresses.

The following tables give the list of standard insulation levels.

The first column gives the highest system voltage U_m (1).

(1) Attention is drawn to the fact that voltage U_m should not be mistaken for the nominal system voltage U_n . All questions related to the insulation of apparatus are referred to the highest system voltage only. For standard system voltages see IEC Publication No. 38.

Les valeurs des tensions de tenue au choc indiquées dans les tableaux pour une tension la plus élevée de réseau donnée sont celles qui conviennent aux réseaux normaux. Si pour des raisons spéciales (installations plus ou moins exposées à la foudre, à la pollution des surfaces isolantes dans l'air, ou plus ou moins efficacement protégées) on est conduit à choisir une valeur différente, il est recommandé dans un but de normalisation de la choisir parmi les valeurs normalisées du tableau.

Les essais de tenue au choc doivent être faits à sec aussi bien pour le matériel d'extérieur que d'intérieur.

Nota : Il est reconnu que la coordination doit être réalisée aussi bien sous pluie qu'à sec. La nécessité de vérifier cette condition par des essais de choc sous pluie est à l'étude; jusqu'à nouvel ordre, l'essai de choc sera exécuté à sec aussi bien pour le matériel d'extérieur que d'intérieur.

Les valeurs des tensions de tenue à fréquence industrielle à appliquer sont considérées différemment selon les pays et basées sur la pratique courante

d'un groupe de pays européens,
des Etats-Unis et du Canada,
de l'U R S S

a) *Pratique courante du groupe de pays européens*

Les valeurs des tensions de tenue à fréquence industrielle indiquées dans les tableaux pp 16 et 18 sont des minima qui conviennent aux réseaux normaux, et elles sont applicables aux matériels d'intérieur ou d'extérieur. Ces valeurs s'entendent pour les essais sous pluie normalisés; dans le cas du matériel d'extérieur, l'essai à sec pour ce genre de matériel étant exécuté à la même valeur que l'essai normalisé sous pluie.

Dans la gamme des tensions au-dessous de $U_m = 100$ kV, le tableau de la série I comporte, pour la tension de tenue à fréquence industrielle une minute, deux listes de chiffres: la liste 1, et la liste 2 qui indique des tensions un peu plus élevées. Les différents Comités chargés des matériels particuliers auront à choisir entre les valeurs de la liste 1 et celles de la liste 2. Cette distinction entre liste 1 et liste 2 n'est pas faite dans la gamme des tensions au-dessus de $U_m = 100$ kV.

b) *Pratique courante des Etats-Unis et du Canada*

Dans la pratique américaine la valeur de la tension d'essai à fréquence industrielle et sa durée d'application peuvent différer pour les différents genres de matériels, ainsi que les valeurs pour les essais à sec et les essais normalisés sous pluie.

c) *Pratique courante de l'U R S S*

Dans la pratique de l'U R S S les valeurs de la tension d'essai à fréquence industrielle diffèrent selon les différents genres de matériels, notamment les tensions d'essai sous pluie pour le matériel d'extérieur ne sont pas prises égales aux tensions d'essai à sec pour le matériel d'intérieur.

En conséquence, dans ces deux derniers cas b) et c), on recherchera les informations sur les valeurs des tensions d'essai dans les règles applicables aux différents matériels.

The impulse withstand values indicated in the tables for a given highest system voltage are those suitable for a normal system. If for special reasons (apparatus more or less exposed to lightning, more or less subject to atmospheric contamination or more or less effectively protected) it is considered necessary to choose a different value, it is recommended, in order to obtain standardization, that these should be taken from the standard values given in the table.

The impulse voltage test shall be made with the apparatus dry both for outdoor and indoor equipment.

Note It is recognized that co-ordination should be obtained equally under rain as well as under dry conditions. The necessity of verifying this by wet impulse tests is under consideration; provisionally the impulse voltage test is made with the apparatus dry both for indoor and outdoor equipment.

The application of *power-frequency withstand voltages* differs in the various countries and is based on the current practice in a group of European countries, or the U.S.A. and Canada, or the U.S.S.R.

(a) *Current practice of the group of European countries*

The power-frequency voltage values indicated in the tables on Pages 17 and 19 are minimum values which are suitable for normal systems, and they are applicable to indoor and outdoor equipment. These values apply to standard wet tests in the case of outdoor equipment; the dry test for this type of equipment is carried out at the same values as the standard wet test.

In the voltage range below $U_m = 100$ kV, the table of Series I includes, for the 1 minute power-frequency withstand voltage, two lists of numbers: *List 1*, and *List 2* which gives slightly higher voltages. The various Committees in charge of each type of equipment should choose between the values of List 1 and those of List 2. No such distinction is made for the range above $U_m = 100$ kV.

(b) *Current practice of the U.S.A. and Canada*

In American practice the power-frequency withstand voltage and its duration of application may differ according to the type of apparatus, and the values may also differ for dry or standard wet tests.

(c) *Current practice of the U.S.S.R.*

In the U.S.S.R. practice, the power-frequency withstand voltages differ according to the type of apparatus, particularly wet test values for outdoor equipment differ from dry test values for indoor equipment.

Therefore, in cases (b) and (c), information on the values of the test voltages should be obtained from the pertinent standards for the different types of equipment.

TABLEAU DES NIVEAUX D'ISOLEMENT NORMALISÉS

1 Gamme des tensions au-dessous de $U_m = 100$ kV

Dans cette gamme il est indiqué deux séries dites série I et série II correspondant l'une et l'autre à des valeurs suivant lesquelles de nombreux matériels ont été et sont actuellement réalisés

Il est recommandé à chaque Comité national d'utiliser seulement une de ces deux séries

SÉRIE I (basée sur la pratique courante d'un groupe de pays européens)

Tension la plus élevée du réseau (entre phases) U_m kV (eff)	Tension de tenue au choc onde 1/50 positive et négative kV (crête)	Tension d'essai à fréquence industrielle dans les conditions normalisées kV (eff)	
		Liste 1	Liste 2
3,6	45	16	21
7,2	60	22	27
12	75	28	35
17,5	95	38	45
24	125	50	55
36	170	70	75
52	250	95	105
72,5	325	140	140

L'objet des valeurs de la liste 2 n'est pas de résoudre le problème de la pollution atmosphérique des isolations externes. Un meilleur comportement à cet égard n'est pas lié à la simple augmentation de la tension d'essai. La question est en cours d'étude.

SÉRIE II (basée sur la pratique courante aux Etats-Unis et au Canada)

Tension la plus élevée du réseau (entre phases) U_m kV (eff)	Tension de tenue au choc onde 1/50 positive et négative kV (crête)	Tension d'essai à fréquence industrielle dans les conditions normalisées kV (eff)
2,75 2,75/4,76 5,5 8,25 5,5/9,52 13,2 7,92/13,7 8,32/14,5 14,5 15,5 25,8 31,0 38,0 48,3 72,5	Aux Etats-Unis et au Canada, les tensions de tenue à fréquence industrielle et au choc ne sont pas rattachées seulement à la tension la plus élevée du réseau mais aux différents genres d'appareils, et sont établies d'après les nécessités du service et la tenue de l'isolation inhérente aux différents genres d'appareils pour les diverses formes d'onde. En conséquence, on trouvera les valeurs des tensions d'essai dans les spécifications relatives à chaque catégorie de matériel.	

TABLE OF STANDARD INSULATION LEVELS

1 Range of voltages below $U_m = 100$ kV

In this range of voltages, two series are indicated, Series I and Series II, both corresponding to values according to which many apparatus have been and are at present designed

It is recommended that only one of the two series be used in any one country

SERIES I (based on current practice of a group of European countries)

Highest system voltage (line-to line) U_m kV (1 m s)	Impulse withstand voltage 1/50 wave positive and negative polarity kV (crest)	Power-frequency test under standard conditions kV (1 m s)	
		List 1	List 2
3.6	45	16	21
7.2	60	22	27
12	75	28	35
17.5	95	38	45
24	125	50	55
36	170	70	75
52	250	95	105
72.5	325	140	140

The values of list 2 are not intended as a solution to the problem of atmospheric pollution of external insulation, better performance in this respect cannot be obtained merely by increasing the test voltage. This question is being studied.

SERIES II (based on current practice in U.S.A. and Canada)

Highest system voltage (line-to line) U_m kV (1 m s)	Impulse withstand voltage 1/50 wave positive and negative polarity kV (crest)	Power-frequency test under standard conditions kV (1 m s)
2.75 2.75/4.76 5.5 8.25 5.5/9.52 13.2 7.92/13.7 8.32/14.5 14.5 15.5 25.8 31.0 38.0 48.3 72.5	In the United States and Canada, impulse and power-frequency withstand voltages are not correlated only with the highest system voltage but with the particular types of apparatus and are established by application requirement and the basic and inherent apparatus withstand strengths for various waveshapes. Therefore information on the values of the test voltages is to be obtained from the pertinent standards for the different types of equipment.	

2 Gamme des tensions à partir de $U_m = 100$ kV

A partir de U_m égal à 100 kV, on considère deux valeurs de tensions choc et fréquence industrielle pour chaque tension U_m :

- la valeur correspondant à la pleine isolation, applicable à des appareils placés sur des réseaux à neutre isolé ou compensés par bobine d'extinction ou non effectivement à la terre
- la valeur correspondant à l'isolation réduite, qui ne peut être appliquée que si les conditions de mise à la terre du réseau et les dispositifs de protection contre les surtensions sont adéquats

Tension la plus élevée du réseau (entre phases) U_m kV (eff)	Tension de tenue au choc onde pleine normalisée, polarité positive et négative (1)		Tension de tenue à fréquence industrielle dans les conditions normalisées (1)	
	pleine isolation kV (côte)	isolation réduite kV (côte)	pleine isolation kV (eff)	isolation réduite kV (eff)
100	450	380	185	150
123	550	450	230	185
145	650	550	275	230
170	750	650	325	275
245	1 050	900	460	395
300	— (2)	1 050	— (2)	460
420	— (2)	1 425	— (2)	630

- 1) Dans la pratique courante du groupe de pays européens, les tensions de tenue indiquées à fréquence industrielle et au choc sont d'application générale. Dans la pratique des Etats Unis et du Canada, ces valeurs ne sont applicables qu'à l'isolation interne de transformateurs dans l'huile. Pour les valeurs applicables aux autres appareils aux Etats Unis et au Canada, voir p. 14.
- 2) Pour les valeurs de tension U_m de 300 et 420 kV il n'est pas indiqué de valeurs de tensions de tenue pour la pleine isolation car les réseaux à neutre isolé ou compensés par bobine d'extinction ou à neutre effectivement à la terre ne sont pas envisagés à ces très hautes tensions.

En général, en passant de pleine isolation à isolation réduite on descend d'un échelon les tensions de tenue.

Pour les valeurs de tension U_m égales ou supérieures à 245 kV, des tensions de tenue d'isolement plus réduites que celles du tableau ci-dessus ont été utilisées, et leur introduction dans les directives est à l'étude. Par exemple, pour U_m égal à 245 kV, les valeurs de 825 kV pour la tension de tenue au choc et de 360 kV pour la tension de tenue à fréquence industrielle ont été adoptées dans quelques cas avec un niveau de protection adapté.

Pour U_m égal à 300 et 420 kV les valeurs « plus réduites » seront indiquées ultérieurement quand un accord aura pu se faire à leur sujet.

Nota : Le choix entre pleine isolation et isolation réduite (ou encore plus réduite à partir de $U_m = 245$ kV) n'est pas fait nécessairement d'après la tension U_m et les conditions de mise à la terre caractérisant le réseau. D'autres considérations peuvent intervenir (1).

1) C'est ainsi que, lorsqu'on utilise les parafoudres à résistance non linéaire pour la protection du matériel:

- 1) La tension nominale admise pour les parafoudres demande une considération particulière, leur niveau de protection étant pratiquement proportionnel à cette tension nominale. Il est généralement considéré comme satisfaisant d'utiliser un parafoudre de la tension normalisée immédiatement supérieure au produit de la tension la plus élevée du réseau (telle que définie au Chapitre II) par le coefficient de mise à la terre à son emplacement. Mais l'attention est attirée sur ce que la tension la plus élevée du réseau, ainsi définie, ne comprend pas certaines surélévations de tension temporaires, telles que celles dues au déclenchement brusque de charges importantes. Si le fonctionnement du parafoudre peut s'effectuer dans de telles conditions, on pourra être conduit à utiliser un parafoudre de tension nominale plus élevée, et à choisir en conséquence le niveau de tenue du matériel à protéger.
- 2) Un parafoudre de tension nominale donnée aura un niveau de protection d'autant plus bas que le rapport de sa tension résiduelle pour le courant nominal, à sa tension nominale, sera plus réduit (ce qui est le sens dans lequel progresse la technique), et le niveau de tenue du matériel au choc pourra alors être choisi d'autant plus bas pour les mêmes conditions de réseau.

2 Range of voltages from $U_m = 100$ kV upwards

From $U_m = 100$ kV upwards, two values of impulse and power-frequency test voltage are considered for each value U_m

- the full insulation value for apparatus on isolated neutral or resonant earthed systems or non-effectively earthed systems,
- the reduced insulation value, which may only be used if the earthing conditions and the protective equipment are adequate

Highest system voltage (line-to-line) U_m kV (1 m s)	Impulse withstand voltage standard full wave positive and negative polarity (1)		Power frequency test voltage under standard conditions (1)	
	full insulation kV (crest)	reduced insulation kV (crest)	full insulation kV (1 m s)	reduced insulation kV (1 m s)
100	450	380	185	150
123	550	450	230	185
145	650	550	275	230
170	750	650	325	275
245	1 050	900	460	395
300	— (2)	1 050	— (2)	460
420	— (2)	1 425	— (2)	630

(1) In the current practice of the group of European countries, the indicated impulse and power frequency withstand voltages are of general application. In United States and Canadian practice, these values are only applicable to the internal insulation of oil-immersed transformers. For the values applicable to other apparatus in the United States and Canada, see page 15.

(2) For U_m equal to 300 and 420 kV no full insulation value is indicated, as unearthed or non effectively earthed systems or resonant earthed systems are not considered in this range.

The reduced value is usually one step lower than the full value.

For values of U_m equal to or higher than 245 kV, still more reduced insulation values than those in the above table have been used, and their introduction in the recommendations is under study; for example, for U_m equal to 245 kV the values 825 kV for the impulse withstand value and 360 kV for the power-frequency value have been adopted in some cases with a suitable protection level.

For U_m equal to 300 and 420 kV the "more reduced" values will be indicated subsequently when an agreement has been reached on that point.

Note: The choice between full and reduced insulation (still more reduced from $U_m = 245$ upwards) is not necessarily made only according to the voltage U_m , and earthing conditions characterizing the system. Other considerations may have to be taken into account. (1)

(1) Thus, when non-linear resistance type arresters are utilized for the protection of the equipment:

(1) The rated voltage of the arresters requires careful consideration, as their protection level is practically proportional to this voltage.

It has generally been found satisfactory to use an arrester of rated voltage immediately higher than the product of the highest system voltage (as defined in Chapter II) by the coefficient of earthing at the arrester location. However, it should be noted that the highest system voltage, defined as above, does not include some temporary overvoltages such as those following sudden loss of large loads. If arrester operations are likely to take place during such conditions, it may be necessary to use an arrester with a higher voltage rating and choose accordingly the withstand level of the equipment to be protected.

(2) The protection level of a lightning arrester with a given rated voltage will become correspondingly lower as the ratio of its residual voltage at rated current to its rated voltage is decreased, which is the way in which the arc is proceeding, thus permitting for the same system conditions a correspondingly lower value of the impulse withstand level for the equipment to be protected.

V — CONDITIONS D'ESSAIS

Dans le but de vérifier qu'un appareil satisfait au niveau d'isolement spécifié, on le soumettra à des essais de tenue appropriés à tension de choc et à fréquence industrielle. Autant que cela est possible, ces essais devront se conformer aux directives suivantes, bien que de légères modifications soient permises pour les adapter aux caractéristiques particulières du genre d'appareil considéré, pourvu que les niveaux d'isolement normalisés ne soient pas modifiés.

1 Sauf spécification contraire, les essais de tension de choc sont des essais de type (1). Les essais sous pluie à fréquence industrielle applicables à l'isolement pour matériel d'extérieur sont des essais de type. Les essais à sec à fréquence industrielle sont des essais individuels.

2 Les essais de choc et à fréquence industrielle sont l'un et l'autre des essais de tenue définis comme valeur la plus élevée de la tension que l'appareil doit supporter sans contournement total ou partiel, perforation ou détérioration au cours d'essais effectués dans les conditions spécifiées.

3 Le matériel doit être capable de supporter l'essai de choc de forme d'onde normalisée pour les deux polarités de l'onde appliquée, cependant s'il est établi que l'essai est plus sévère pour une polarité déterminée de l'onde, il suffira d'adopter cette polarité.

4 Un nombre limité et adéquat de chocs devra être spécifié pour chaque genre de matériel par le Comité compétent.

Pour les isolements externes essayés séparément on applique cinq ondes pleines de l'amplitude spécifiée.

Si aucun contournement n'est constaté, l'isolement externe est déclaré bon, si l'on constate plus d'un contournement, l'appareil est considéré comme défectueux, s'il y a un seul contournement, on applique dix nouveaux chocs. Pour que l'isolement externe soit déclaré bon il faut qu'au cours de ces nouveaux essais aucun contournement ne soit constaté.

5 Les tensions d'essai au choc s'entendent (2) comme la valeur de crête d'une onde de choc pleine de la forme d'onde normalisée de polarité positive ou négative, et, dans le cas d'un isolement externe, pour les conditions atmosphériques normalisées :

760 mm de mercure

20°C

11 grammes de vapeur d'eau par mètre cube

La procédure des essais et la manière dont il convient de modifier les tensions d'essais lorsque les conditions ci-dessus ne sont pas réalisées sont du ressort du Comité d'Etudes N° 42 de la C E I.

6 La tension d'essai à fréquence industrielle s'entend comme la valeur efficace de la tension qui peut être tenue par l'isolement par rapport à la masse pendant une minute. Si la tension appliquée n'est pas sinusoïdale, la tension d'essai équivalente est la valeur efficace de l'onde sinusoïdale de même valeur de crête.

Nota : Pour essais à fréquence industrielle, il faut entendre aussi les essais à fréquence surélevée pouvant atteindre quelques centaines de Hz et de durée inférieure à 1 minute tels que les essais par tension induite des transformateurs à isolement gradué.

7 Des essais de tenue complémentaire en onde coupée peuvent être désirables pour vérifier l'isolement entre spires des transformateurs et réactances, ces essais seront spécifiés par les Comités spécialisés.

8 Pour tout genre d'appareils, le Comité d'Etudes N° 42 ou le Comité spécialisé spécifieront les méthodes appropriées de détection des défauts ou de disqualification de l'isolation au cours des essais.

1) Pour certains genres d'appareils des essais de choc individuels peuvent être spécifiés.

2) Voir la publication C E I n° 60: Spécifications générales pour les essais du choc.