

**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**

Troisième édition — Third edition

1960

---

**Recommandations 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

**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**

Troisième édition — Third edition

1960

---

**Recommandations 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

## SOMMAIRE

|                                                         | Pages |
|---------------------------------------------------------|-------|
| PRÉAMBULE                                               | 4     |
| PRÉFACE                                                 | 4     |
| CHAPITRE                                                |       |
| I Domaine d'application — Objet                         | 10    |
| II Définitions                                          | 10    |
| III Principes de base de la coordination des isolements | 14    |
| IV Niveaux d'isolements normalisés                      | 14    |
| V Conditions d'essais                                   | 22    |

## INDEX

|                                                  | Page |
|--------------------------------------------------|------|
| FOREWORD                                         | 5    |
| PREFACE                                          | 5    |
| SECTION                                          |      |
| I Scope and object                               | 11   |
| II Definitions                                   | 11   |
| III Basic principles of insulation co-ordination | 15   |
| IV Standard insulation levels                    | 15   |
| V General testing procedure                      | 23   |

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

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

(Troisième 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, Coordination de l'isolement, qui se sont succédés de 1948 à 1959

Une première édition a été publiée en 1954, une deuxième en 1958. Depuis lors, des compléments et corrections ont été discutés aux réunions de Stockholm, en 1958, et de Madrid, en 1959

Ces compléments et corrections ont été rassemblés dans un document qui a été soumis aux Comités nationaux pour approbation suivant la Règle des Six Mois en novembre 1958. Un projet révisé tenant compte des observations reçues a été soumis aux Comités nationaux pour approbation suivant la Procédure des Deux Mois en octobre 1959

Ce projet de compléments et corrections a été approuvé explicitement par les pays suivants

Allemagne  
Autriche  
Belgique  
Canada  
Danemark  
Etats-Unis d'Amérique  
Finlande  
France

Italie  
Pays-Bas  
Royaume-Uni  
Suède  
Suisse  
Tchécoslovaquie  
Union des Républiques Socialistes Soviétiques  
Yougoslavie

## INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

### RECOMMENDATIONS FOR INSULATION CO-ORDINATION

(Third 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 I E C Technical Committee No 28 Insulation co-ordination from 1948 to 1959.

A first edition was published in 1954 and a second edition in 1958. Since that date, additions and amendments were discussed at meetings in Stockholm in 1958 and Madrid 1959.

These additions and amendments were collected together in a document that was submitted to the National Committees for approval under the Six Months' Rule in November 1958. A number of comments were received and a revised draft was therefore submitted to the National Committees for approval under the Two Months' Procedure in October 1959.

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

Austria  
Belgium  
Canada  
Czechoslovakia  
Denmark  
Finland  
France  
Germany

Italy  
Netherlands  
Sweden  
Switzerland  
Union of Soviet Socialist Republics  
United Kingdom  
United States of America  
Yugoslavia

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 définitive des compléments et des corrections

En vue d'assurer une meilleure présentation évitant toute erreur d'interprétation, il a été jugé approprié d'établir une troisième édition de la Publication 71 incorporant ces compléments et corrections

### 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'est agi 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 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 bénéficiant d'un consentement international

*Notes* 1) Il est indiqué au Chapitre III: Principes de base de la coordination des isolements, 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 14; le choix du rapport à respecter entre les niveaux de tenue et de protection est 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, d'humidité, de 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

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 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 third edition of Publication 71, incorporating these additions and amendments

#### **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 one 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 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.

**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 15. The choice of the ratio between the withstand and protective levels is 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.



### Remarque sur la tendance à la réduction des niveaux d'isolement

Aux très hautes tensions, une tendance se marque dans certains pays vers des niveaux d'isolement encore plus réduits que ceux de la colonne II du tableau de la page 22, avec les valeurs

| $U_m$  | Choc     | Fréquence industrielle |
|--------|----------|------------------------|
| 145 kV | 450 kV   | 185 kV                 |
| 170 kV | 550 kV   | 230 kV                 |
| 245 kV | 750 kV   | 325 kV                 |
| 300 kV | 900 kV   | 395 kV                 |
| 420 kV | 1 300 kV | 570 kV                 |

Ces valeurs n'ont pas été retenues pour la présente publication, mais seront reconsidérées par la suite

### Remarque sur la tension de réseau $U_m = 362$ kV

L'adoption de cette tension comme tension normalisée C E I est encore en discussion au Comité d'Etudes N° 30. Au cas où elle serait adoptée, le Comité 28 a décidé qu'elle prendrait place dans le tableau de la page 22 entre les valeurs 300 et 420 kV, avec les valeurs suivantes des tensions d'essais:

| $U_m$  | Choc<br>Colonne II   | Fréquence industrielle<br>Colonne II |
|--------|----------------------|--------------------------------------|
| 362 kV | 1 300 kV<br>1 175 kV | 570 kV<br>510 kV                     |

(La tendance à des niveaux d'isolement encore plus réduits, mentionnée plus haut et non retenue pour la présente publication, conduira à envisager Choc 1 050 kV, Fréquence industrielle 460 kV )

### Note on the trend towards reducing the insulation levels

For extra high voltages there is a trend in some countries towards reducing the insulation levels still further than indicated in Column II of the table of page 23, with the values

| <i>U<sub>m</sub></i> | <i>Impulse</i> | <i>Power frequency</i> |
|----------------------|----------------|------------------------|
| 145 kV               | 450 kV         | 185 kV                 |
| 170 kV               | 550 kV         | 230 kV                 |
| 245 kV               | 750 kV         | 325 kV                 |
| 300 kV               | 900 kV         | 395 kV                 |
| 420 kV               | 1 300 kV       | 570 kV                 |

These values have not been adopted for the present publication, but will be reconsidered in the future

### Note on the highest system voltage $U_m = 362$ kV

The choice of this voltage as a standard I E C value is still under discussion in Technical Committee No 30. Should this value be adopted, its place will be in the table, page 23, between the values 300 and 420 kV, with the following test voltages:

| <i>U<sub>m</sub></i> | <i>Impulse</i><br>Column II | <i>Power frequency</i><br>Column II |
|----------------------|-----------------------------|-------------------------------------|
| 362 kV               | 1 300 kV<br>1 175 kV        | 570 kV<br>510 kV                    |

(The trend towards still more reduced insulation levels, mentioned above and not adopted in the present publication, leads to the consideration of 1 050 kV impulse, 460 kV power frequency )

## RECOMMANDATIONS POUR LA COORDINATION DE L'ISOLEMENT

### I — DOMAINE D'APPLICATION — OBJET

Les présentes recommandations 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 recommandations 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 devront être conformes à la gamme des niveaux d'isolement normalisés que l'on trouvera aux pages 18 et 20 des présentes recommandations <sup>1)</sup>

### II — DÉFINITIONS

Les définitions suivantes sont adoptées dans le cadre des présentes recommandations

**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 du réseau quelconques 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

*Note* Ces installations sont généralement connectées à des lignes aériennes, 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

*Note* Ces installations sont généralement connectées à un réseau de câbles souterrains <sup>2)</sup>

**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 et associées aux tensions d'essai à fréquence industrielle correspondantes

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

## RECOMMENDATIONS FOR INSULATION CO-ORDINATION

### I — SCOPE AND OBJECT

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 <sup>1)</sup> on pages 19 and 21 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 overvoltages of atmospheric origin

*Note:* Such installations are usually connected to cable networks <sup>2)</sup>

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

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, les animaux, la pollution, etc

*Exemple* isolement immergé dans l'huile

*Note* 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

*Note* 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 le 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 %

*Note* 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** en 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

*Notes* a) Ce coefficient est un simple rapport numérique qui caractérise de façon générale les conditions de mise à la terre d'un réseau, vues de l'emplacement considéré, indépendamment de la valeur particulière de la tension de service du réseau en cet emplacement

b) Les coefficients de mise à la terre sont calculés en fonction des impédances des différentes suites du réseau vues de l'emplacement considéré, en utilisant pour les générateurs les réactances sub-transitoires. La règle pratique donnée à la note de la définition 13 résulte d'un tel calcul

c) Ce coefficient intervient dans les présentes recommandations pour le choix du niveau d'isolement du matériel à installer à l'emplacement considéré, notamment dans le cas de réseaux dont la tension la plus élevée  $U_m$  est égale ou supérieure à 100 kV (voir page 20),

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* a) This coefficient is a pure numerical ratio and characterizes in general terms the earthing conditions of a system as viewed from the selected location, independently of the actual operating values of the voltage at that location

b) The coefficients of earthing are calculated from the phase-sequence impedance components of the system as viewed from the selected location, using for the machines the subtransient reactances. The practical rule given in the note of Definition 13 results from such a calculation

c) This coefficient is used in the present Recommendations for the choice of the insulation level of the apparatus to be installed at a selected location, particularly in the case of systems having a highest voltage  $U_m$  of 100 kV or more (see page 21)



### 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 sursensions 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 sursensions, essentiellement caractérisées respectivement par un niveau de tenue au choc et un niveau de protection au choc, comme il est indiqué ci-dessous.

#### **Sursensions considérées**

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

Les sursensions 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 sursensions 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 sursensions 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 <sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> 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 normales des tensions nominales des réseaux, voir la Publication 38 de la C E I.

### 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 essentially characterized respectively 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 characterize 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  $U_m$  <sup>1)</sup>

---

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 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.

*Note* 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 pages 18 et 20 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 la pluie.

*Note* Les valeurs ci-dessus ne visent pas certains essais spéciaux à des matériels particuliers, essais qu'on trouvera dans les recommandations de la C E I relatives à ces matériels, comme par exemple le contrôle de la tension de tenue des sectionneurs sur distance d'ouverture.

Les essais du matériel d'extérieur sont exécutés sous pluie lorsque ce matériel possède une isolation interne et une isolation externe et que les parties comportant une isolation externe ne peuvent être essayées séparément (par exemple, il n'est pas nécessaire d'exécuter des essais sous pluie sur des transformateurs de puissance et condensateurs car leurs bornes sont essayées séparément sous pluie, d'autre part, il y a lieu d'exécuter les essais sous pluie des transformateurs de mesure type borne si leur borne ne peut être essayée séparément).

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), ainsi que pour le choix entre les listes 1 et 2 dans le cas a), on recherchera les informations sur les conditions d'essais et 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 such values 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 coordination 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,  
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 19 and 21 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.

*Note* The above values are not applicable to special tests required for certain types of equipment, which are described in the I E C recommendations for these types of equipment, such as the withstand test voltage of isolators (disconnectors) between open contacts.

Wet tests are carried out on outdoor equipment if this equipment has internal and external insulation and if its parts with external insulation cannot be tested separately. (For instance, it is not necessary to carry out wet tests on power transformers and capacitors because their bushings are tested separately under wet conditions, on the other hand wet tests may have to be carried out on instrument transformers if their bushings are not tested separately.)

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)*, and also for the choice between list 1 and list 2 in case *a)*, information on the values of the test voltages and conditions of test 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

Pour le choix entre liste 1 et liste 2, voir page 16

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

| Tension la plus élevée<br>du réseau<br>(entre phases) $U_m$<br>kV (eff) | Tension d'essai<br>de tenue au choc<br>onde pleine normalisée,<br>polarités positive et négative<br>kV (crête) | Tension d'essai à fréquence industrielle<br>dans les conditions normalisées<br>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<br>du réseau (entre phases) $U_m$<br>kV (eff) | Tension d'essai de tenue au choc onde pleine<br>normalisée, polarités positive et négative<br>kV (crête) |                                 | Tension d'essai de tenue à<br>fréquence industrielle dans<br>les conditions normalisées<br>kV (eff) |
|----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                      | Appareils de distribution<br>$\leq 500$ kVA                                                              | Appareils de plus de<br>500 kVA |                                                                                                     |
| 2,75                                                                 | 45                                                                                                       | 60                              | 15                                                                                                  |
| 5,5                                                                  | 60                                                                                                       | 75                              | 19                                                                                                  |
| 9,52                                                                 | 75                                                                                                       | 95                              | 26                                                                                                  |
| 15,5                                                                 | 95                                                                                                       | 110                             | 34                                                                                                  |
| 25,8                                                                 | 150                                                                                                      |                                 | 50                                                                                                  |
| 38                                                                   | 200                                                                                                      |                                 | 70                                                                                                  |
| 48,3                                                                 | 250                                                                                                      |                                 | 95                                                                                                  |
| 72,5                                                                 | 350                                                                                                      |                                 | 140                                                                                                 |

Note applicable à la série II:

- 1) Ces valeurs ne sont applicables qu'à l'isolation interne des transformateurs immergés dans l'huile Pour les autres matériels les valeurs des tensions d'essai, tant à fréquence industrielle qu'au choc, sont indiquées dans les règles applicables à ces matériels
- 2) Les transformateurs monophasés pour tension la plus élevée entre bornes de 9,52 kV et au-dessous, sont établis pour les connexions étoile et triangle et isolés pour la tension d'essai correspondant à la connexion étoile Les tensions d'essai de ces transformateurs quand ils sont couplés en triangle, sont par conséquent d'un échelon plus élevé que celles correspondant à la tension la plus élevée du réseau

# 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

For the choice between list 1 and list 2, see page 17

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

| Highest system voltage<br>(line-to-line) $U_m$<br>kV (r m s) | Impulse withstand test voltage with standard full wave positive and negative polarity<br>kV (crest) | Power-frequency test under standard conditions<br>kV (r 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<br>(line-to-line) $U_m$<br>kV (r m s) | Impulse withstand test voltage with standard full wave positive and negative polarity<br>kV (crest) |                        | Power-frequency withstand test voltage under standard conditions<br>kV (r m s) |
|--------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|
|                                                              | Distribution<br>500 kVA and below                                                                   | Power<br>above 500 kVA |                                                                                |
| 2.75                                                         | 45                                                                                                  | 60                     | 15                                                                             |
| 5.5                                                          | 60                                                                                                  | 75                     | 19                                                                             |
| 9.52                                                         | 75                                                                                                  | 95                     | 26                                                                             |
| 15.5                                                         | 95                                                                                                  | 110                    | 34                                                                             |
| 25.8                                                         | 150                                                                                                 |                        | 50                                                                             |
| 38                                                           | 200                                                                                                 |                        | 70                                                                             |
| 48.3                                                         | 250                                                                                                 |                        | 95                                                                             |
| 72.5                                                         | 350                                                                                                 |                        | 140                                                                            |

Note applicable to Series II

- 1) These values are only applicable to the internal insulation of oil-immersed transformers. For other types of equipment the impulses and power-frequency test values should be obtained from the pertinent standards for those types of equipment.
- 2) Single-phase transformers for highest voltage rating between terminals of 9.52 kV and below are designed for both star and delta connection and are insulated for the test voltage corresponding to the star connection. The test voltages for such transformers when operated delta connected are therefore one step higher than needed for their highest system voltage.