

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

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

RECOMMANDATION DE LA CEI

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

(affiliated to the International Organization for Standardization — ISO)

IEC RECOMMENDATION

Publication 71

Cinquième édition — Fifth edition

1972

Coordination de l'isolement

Insulation co-ordination



Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale

1, rue de Varembé

Genève, Suisse

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60071:1972

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

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

RECOMMANDATION DE LA CEI

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

(affiliated to the International Organization for Standardization — ISO)

IEC RECOMMENDATION

Publication 71

Cinquième édition — Fifth edition

1972

Coordination de l'isolement

Insulation co-ordination



Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé électronique ou mécanique y compris la photocopie et les microfilms sans l'accord écrit de l'éditeur

No part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means electronic or mechanical including photocopying and microfilm without permission in writing from the publisher

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale

1, rue de Varembe

Genève, Suisse

SOMMAIRE

	Pages
PRÉAMBULE	6
PRÉFACE	6
INTRODUCTION	8

CHAPITRE I CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES

SECTION UN — DOMAINE D'APPLICATION ET OBJET

Articles

1	Domaine d'application	12
2	Objet	12

SECTION DEUX — DÉFINITIONS

3	Tension nominale d'un réseau triphasé	12
4	Tension la plus élevée d'un réseau triphasé	12
5	Tension la plus élevée pour le matériel	14
6	Isolation externe	14
7	Isolation interne	14
8	Isolation externe pour le matériel d'intérieur	14
9	Isolation externe pour le matériel d'extérieur	14
10	Isolation autogénératrice	14
11	Isolation non autogénératrice	14
12	Essai de type	14
13	Essai individuel	16
14	Facteur de défaut à la terre	16
15	Surtension	16
16	Valeur en pour un (p u) (valeur relative) d'une surtension entre phase et terre	16
17	Valeur en pour un (p u) d'une surtension entre phases	16
18	Surtension de manœuvre	18
19	Surtension de foudre	18
20	Surtension statistique de manœuvre (de foudre)	18
21	Surtension maximale conventionnelle de manœuvre (de foudre)	18
22	Surtension temporaire	18
23	Tension de tenue statistique (90%) aux chocs (impulsions) de manœuvre (de foudre)	18
24	Tension de tenue conventionnelle aux chocs (impulsions) de manœuvre (de foudre)	18
25	Tension de tenue nominale aux chocs (impulsions) de manœuvre (de foudre)	20
26	Tension de tenue nominale de courte durée à fréquence industrielle	20
27	Niveau d'isolement	20
28	Facteur de sécurité statistique	20
29	Facteur de sécurité conventionnel	20
30	Niveau de protection d'un dispositif de protection	20
31	Facteurs de protection d'un dispositif de protection	22

CONTENTS

	Page
FOREWORD	7
PREFACE	7
INTRODUCTION	9

CHAPTER I — GENERAL CONSIDERATIONS

SECTION ONE — SCOPE AND OBJECT

Clause

1 Scope	13
2 Object	13

SECTION TWO — DEFINITIONS

3 Nominal voltage of a three-phase system	13
4 Highest voltage of a three-phase system	13
5 Highest voltage for equipment	15
6 External insulation	15
7 Internal insulation	15
8 Indoor external insulation	15
9 Outdoor external insulation	15
10 Self-restoring insulation	15
11 Non-self-restoring insulation	15
12 Type test	15
13 Routine test	17
14 Earth fault factor	17
15 Overvoltage	17
16 Phase-to-ground per unit overvoltage	17
17 Phase-to-phase per unit overvoltage	17
18 Switching overvoltage	19
19 Lightning overvoltage	19
20 Statistical switching (lightning) overvoltage	19
21 Conventional maximum switching (lightning) overvoltage	19
22 Temporary overvoltage	19
23 Statistical (90%) switching (lightning) impulse withstand voltage	19
24 Conventional switching (lightning) impulse withstand voltage	19
25 Rated switching (lightning) impulse withstand voltage	21
26 Rated short duration power-frequency withstand voltage	21
27 Rated insulation level	21
28 Statistical safety factor	21
29 Conventional safety factor	21
30 Protection level of a protective device	21
31 Protection factors of a protective device	23

SECTION TROIS — PRINCIPES DE BASE DE LA COORDINATION DE L'ISOLEMENT

32	Coordination de l'isolement	22
33	Contraintes diélectriques des isolations	22
34	Coordination pour les tensions d'exploitation normale et pour les surtensions temporaires	22
35	Coordination pour les surtensions de manœuvre et de foudre	24
36	Méthodes statistiques	24
37	Méthode conventionnelle (non statistique)	26

CHAPITRE II TENSIONS ÉGALES OU SUPÉRIEURES À 100 kV

SECTION QUATRE — NIVEAUX D'ISOLEMENT NORMALISÉS

38	Indications générales	28
39	Tableau des niveaux d'isolement normalisés pour la gamme des tensions les plus élevées pour le matériel égales ou supérieures à 300 kV	28
40	Tension de tenue nominale aux chocs de manœuvre	28
41	Tension de tenue nominale aux chocs de foudre	32
42	Tableau des niveaux d'isolement normalisés pour la gamme des tensions les plus élevées pour le matériel comprises entre 100 kV et 300 kV	32

SECTION CINQ — CONDITIONS GÉNÉRALES D'ESSAIS

43	Généralités	34
44	Essais de chocs (aux impulsions) de manœuvre et de foudre	36
45	Essai de décharge disruptive 50%	36
46	Essai de tenue sous 15 chocs	38
47	Essai de tenue conventionnel	38
48	Essai de tenue diélectrique de courte durée à fréquence industrielle	40

ANNEXE A — Méthodes conventionnelles et statistiques pour la coordination de l'isolement	42
--	----

FIGURES	52
---------	----

SECTION THREE — BASIC PRINCIPLES OF INSULATION CO-ORDINATION

32	Insulation co-ordination	23
33	Voltage stresses on the insulation	23
34	Co-ordination for voltages under normal operating conditions and for temporary overvoltages	23
35	Co-ordination for switching and lightning overvoltages	25
36	Statistical procedures	25
37	Conventional procedure (non statistical)	27

CHAPTER II VOLTAGES EQUAL TO OR GREATER THAN 100 kV

SECTION FOUR — STANDARD INSULATION LEVELS

38	General indications	29
39	Table of standard insulation levels for highest voltage for equipment equal to or greater than 300 kV	29
40	Rated switching impulse withstand voltage	29
41	Rated lightning impulse withstand voltage	33
42	Table of standard insulation levels for highest voltage for equipment between 100 kV and 300 kV	33

SECTION FIVE — GENERAL TESTING PROCEDURE

43	General	35
44	Switching and lightning impulse withstand tests	37
45	50% disruptive discharge test	37
46	15 impulses withstand test	39
47	Conventional impulse withstand test	39
48	Short duration power-frequency voltage withstand test	41

APPENDIX A — Conventional and statistical methods in insulation co-ordination	43
---	----

FIGURES	53
---------	----

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

COORDINATION DE L'ISOLEMENT

PRÉAMBULE

- 1) Les décisions ou accords officiels de la CEI 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 CEI 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 CEI 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 recommandation a été établie par le Comité d'Etudes N° 28 de la CEI Coordination de l'isolement. C'est la cinquième édition de la Publication 71 de la CEI Coordination de l'isolement, et elle remplace la quatrième édition, parue en 1967, en ce qui concerne les matériels de tension la plus élevée pour le matériel supérieure à 100 kV. Cette édition restera incomplète, car elle prépare en fait la sixième édition qui, reprenant les sections et articles de cette édition, sera complétée pour les gammes de tensions inférieures.

Le texte de la présente édition a été mis en chantier, puis discuté lors des réunions tenues à Tel-Aviv en 1966 et à Melbourne en 1969. Un projet définitif fut soumis à l'approbation des Comités nationaux suivant la Règle des Six Mois en juillet 1970. Des projets de modifications furent soumis à l'approbation des Comités nationaux suivant la Procédure des Deux Mois en août 1971.

Les pays suivants se sont prononcés explicitement en faveur de la publication

Afrique du Sud	Norvège
Australie	Pays-Bas
Belgique	Portugal
Canada	Roumanie
Danemark	Royaume-Uni
Etats-Unis d'Amérique	Suède
Finlande	Suisse
France	Turquie
Iran	Union des Républiques
Italie	Socialistes Soviétiques
Japon	Yougoslavie

Le Comité National Allemand a émis un vote négatif pour marquer son désaccord sur le changement de certaines tensions d'essais

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

INSULATION CO-ORDINATION

FOREWORD

- 1) The formal decisions or agreements of the IEC on technical matters, prepared by Technical Committees on which all the National Committees having a special interest therein are represented, express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the subjects dealt with
- 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 IEC expresses the wish that all National Committees having as yet no national rules, when preparing such rules, should use the IEC recommendations as the fundamental basis for these rules in so far 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 in so far as national conditions will permit. The National Committees pledge their influence towards that end

PREFACE

This Recommendation has been prepared by IEC Technical Committee No 28, Insulation Co-ordination. It is the fifth edition of IEC Publication 71, Insulation Co-ordination, and replaces the fourth edition which was published in 1967, as far as equipment of highest voltage for equipment higher than 100 kV is concerned. This edition will remain incomplete, as it in fact, prepares the sixth edition which, repeating sections and articles from that edition, will be completed for lower voltage levels.

The text of this edition was drafted and then discussed at the meetings held in Tel-Aviv in 1966 and in Melbourne in 1969. A final draft was submitted to the National Committees for approval under the Six Months' Rule in July 1970. Draft amendments were submitted to the National Committees for approval under the Two Months' Procedure in August 1971.

The following countries voted explicitly in favour of publication:

Australia	Portugal
Belgium	Romania
Canada	South Africa
Denmark	Sweden
Finland	Switzerland
France	Turkey
Iran	Union of Soviet
Italy	Socialist Republics
Japan	United Kingdom
Netherlands	United States of America
Norway	Yugoslavia

The German National Committee cast a negative vote to express a disagreement on the change in some test voltages.

INTRODUCTION

Compléments et modifications apportés à la précédente édition

La cinquième édition de la Publication 71 de la CEI diffère considérablement des précédentes

Tout d'abord, elle n'est pas complète : seul le chapitre I, avec les définitions et les principes de base, pourrait s'appliquer à toutes les tensions supérieures à 1 kV. Le chapitre II, avec les niveaux d'isolement normalisés, les conditions d'essais et l'annexe, n'est prévu que pour les matériels de tension la plus élevée au moins égale à 100 kV. Les sections quatre et cinq de la quatrième édition demeurent donc provisoirement valables pour les matériels de tension la plus élevée inférieure à 100 kV.

En second lieu, l'accent est mis sur les surtensions de manœuvre, facteur qui tend à devenir prédominant aux très hautes tensions. Pour les tensions les plus élevées pour le matériel supérieures ou égales à 300 kV, la tenue à ces surtensions devra être vérifiée par un essai aux chocs de manœuvre, et l'essai de 1 min à fréquence industrielle n'est plus recommandé dans cette gamme de tensions à des fins de coordination de l'isolement. Des essais à fréquence industrielle demeureront nécessaires pour démontrer la tenue à l'égard des tensions normales et des surtensions prolongées, en ce qui concerne le vieillissement des isolations internes ou le comportement sous pollution des isolations externes. Mais, pour cette gamme de très hautes tensions, la fixation de toutes prescriptions relatives aux essais à fréquence industrielle est entièrement laissée aux Comités d'Etudes chargés des différents matériels. Seules quelques indications générales leur sont données. En revanche, aucun essai aux chocs de manœuvre n'est prévu pour les tensions de 100 kV à 245 kV avant que la question n'ait fait l'objet de nouvelles études : les niveaux de tenue de la quatrième édition sont au moins provisoirement maintenus, qu'il s'agisse des essais aux chocs de foudre ou des essais de 1 min à fréquence industrielle.

En troisième lieu, les câbles ont été inclus dans le domaine d'application de la Recommandation pour les tensions les plus élevées pour le matériel au moins égales à 300 kV.

En quatrième lieu, des notions et un langage probabilistes ont été introduits en vue de leur utilisation au moins dans les approches les plus élaborées de la coordination de l'isolement. Cela en considération du fait que les ingénieurs, notamment ceux qui travaillent dans le domaine des très hautes tensions avec des calculatrices puissantes, sont maintenant à même de tirer parti de telles notions en vue d'atteindre une connaissance plus fine du comportement des réseaux et des matériels et de réaliser des économies.

L'approche traditionnelle des problèmes de coordination d'isolement consistait, et consiste encore, à évaluer la surtension maximale à laquelle un matériel peut être soumis à un emplacement particulier de réseau, et à choisir dans un tableau de valeurs normalisées une tension d'essai qui présente une marge de sécurité convenable. Aussi bien l'évaluation de la surtension que le choix de la marge de sécurité ont un caractère largement empirique, et, dans bien des cas, le choix du niveau d'isolement est encore plus simplement basé sur l'expérience acquise dans le réseau ou dans des réseaux analogues.

Une approche plus élaborée conduit à reconnaître que les surtensions sont des phénomènes aléatoires, et qu'il n'est pas économique de réaliser des matériels avec un degré de sécurité qui leur permette de supporter les surtensions les plus exceptionnelles. On reconnaît également que les essais ne démontrent pas le niveau de tenue avec une sécurité de 100%. En conséquence, on admet que des défauts d'isolement puissent se produire occasionnellement dans du matériel bien dimensionné, et que le problème est de limiter leur fréquence à la valeur la plus économique en prenant en considération le coût du matériel et la continuité du service. La coordination de l'isolement doit rationnellement être basée plutôt sur l'évaluation et la limitation du risque de défaut que sur le choix *a priori* d'une marge de sécurité.

Cela admis, il convient d'ajouter que le rapport entre la « tension de tenue nominale », qui doit pouvoir être appliquée à un matériel dans des conditions spécifiées, et la « surtension statistique » particulière, retenue comme représentative de la population de surtensions du réseau, intervient de la même façon qu'un « facteur de sécurité », si bien que la procédure « statistique », au moins sous cette forme simplifiée, ne diffère guère de la procédure traditionnelle ou « conventionnelle ». Mais, on pense que le nouveau langage proposé ici facilitera à l'ingénieur l'appréciation du caractère aléatoire et incertain des phénomènes cachés derrière les mots.

INTRODUCTION

Additions and modifications made to the earlier edition

This fifth edition of IEC Publication 71 differs to a considerable extent from the preceding ones

Firstly by not being complete, only the first chapter with definitions and basic principles, might apply to all voltages above 1 kV. The second chapter, standard insulation levels and test procedures, as well as the appendix, are intended for equipment having a highest voltage for equipment not less than 100 kV. Thus, for equipment having a highest voltage for equipment below 100 kV sections four and five in the fourth edition remain provisionally valid.

Secondly, stress is laid on switching overvoltages, a factor which tends to become predominant in the range of very high voltages. For highest voltages for equipment from 300 kV upwards, ability to withstand such overvoltages should be checked by a switching impulse test, and a 1 min power-frequency test is no longer recommended in this range of voltages for insulation co-ordination purposes. Power-frequency tests of one kind or another will remain necessary to ascertain a withstand to normal voltages and sustained overvoltages as regards ageing of internal insulation or behaviour of external insulation in polluted conditions. But, in this highest voltage range, any prescriptions concerning the appropriate power-frequency tests are left entirely with the Committees in charge of the various equipments. Only some general indications are given here. For voltages from 100 kV to 245 kV however, no switching impulse test will be introduced until the question has been further studied, the withstand levels of the fourth edition, both lightning-impulse and power-frequency 1 min, are maintained, and they are reproduced in the present publication.

Thirdly, for voltages equal to or greater than 300 kV, cables have been included in the scope of the Recommendation.

Fourthly, probabilistic concepts and a probabilistic language have been introduced into some procedures of insulation co-ordination. This acknowledges the fact that engineers, particularly those who work in the very high voltage field equipments, with the help of powerful computers, are now in a position to make use of such concepts, which afford a better knowledge of system and equipment behaviour and should contribute to a more economical design.

The traditional approach to insulation co-ordination was and still is to evaluate the highest overvoltage to which an equipment may be submitted at a certain location on a system, and select in a table of standardized values the withstand voltage presenting a suitable safety margin. Both overvoltage evaluation and safety margin selection are largely empirical, and, in many cases, the choice of the insulation level is still more readily based upon previous experience in the system or other similar systems.

In a more elaborate process, it is recognized that overvoltages are random phenomena and that it is uneconomical to design plant with such a high degree of safety that they can sustain the most frequent ones. It is also acknowledged that tests do not ascertain a withstand level with a 100% degree of confidence. In consequence it is realized that insulation failures can occur occasionally in well-designed plant, and that the problem is to limit their frequency of occurrence to the most economical value, taking into account equipment cost and service continuity. Insulation co-ordination should be more properly based upon an evaluation and limitation of the risk of failure than on the *a priori* choice of a safety margin.

This being admitted, it must be added that the ratio between the "rated withstand voltage" which has to be applied to an equipment in specified conditions, and the particular "statistical overvoltage" retained as representative of a population of overvoltages on the system, works in the same way as a "safety factor", so that the "statistical" procedure, at least in this simplified form, does not differ materially from the traditional or "conventional" one. But it is expected that the new language offered here will make it easier for the engineer to appreciate the random and uncertain character of the phenomena which are hidden behind the words.

Le domaine des méthodes statistiques, qui ne sont introduites ici que pour les matériels à très haute tension, pourrait s'étendre à tous les cas où un ajustement précis de l'isolement aux conditions du réseau serait estimé économique

Les autres changements que l'on constatera dans cette cinquième édition sont les suivants :

- On a introduit la notion d'isolations « autorégénératrices » ou « non autorégénératrices »
- On a abandonné la notion de situations « exposées » ou « non exposées », qui ne se rapportait qu'aux surtensions d'origine atmosphérique : la procédure proposée maintenant tient compte de toutes les surtensions, quelle que soit leur origine, étant entendu que les surtensions d'origine atmosphérique peuvent avoir des valeurs très réduites sur certains réseaux ou certaines parties de réseaux
- On a introduit des valeurs en pour un des niveaux de tenue et des niveaux de surtensions, en prenant dans tous les cas comme base normalisée de référence la valeur de crête de la tension entre phase et terre correspondant à la tension la plus élevée pour le matériel
- De même, on recommande de remplacer dorénavant le « facteur de mise à la terre » traditionnel par un « facteur de défaut à la terre » rapporté à la tension entre phase et terre et égal au produit du premier par $\sqrt{3}$
- Pour les essais de tenue aux chocs sur les isolations externes, à partir de 100 kV, on recommande désormais 15 applications du choc, avec deux amorçages permis au cours de l'essai : cet essai a à peu près la même sévérité pour la même valeur de la tension appliquée, mais est jugé plus sélectif, que l'essai précédemment employé avec cinq applications du choc, suivies éventuellement de dix nouvelles applications sans amorçage si un amorçage s'est produit au cours des cinq premières

Enfin, certaines modifications appréciables ont été apportées à la liste des valeurs normalisées parmi lesquelles on doit choisir les tensions d'essais de tenue au choc, ainsi qu'à la partie du tableau des niveaux d'isolement normalisés qui concerne les matériels de tension la plus élevée égale ou supérieure à 300 kV

- Dans la liste, les valeurs 850 kV et 950 kV ont été substituées à 825 kV et à 900 kV, de manière à obtenir un échelonnement plus régulier. La liste a été étendue de 2 300 kV à 2 900 kV
- Des niveaux d'isolement pour la tension de 765 kV ont été introduits dans le tableau
- Comme indiqué plus haut, il n'y a plus de tension d'essai à fréquence industrielle dans le tableau à partir de 300 kV, et des tensions de tenue nominales aux chocs de manœuvre ont été introduites. Elles reçoivent dans le tableau la première place, en partant de la considération que les surtensions de foudre peuvent généralement être ramenées au niveau qu'autorise la tenue de l'isolation aux surtensions de manœuvre
- La gamme des tensions de tenue nominales aux chocs de foudre associées à une valeur donnée de la tension la plus élevée pour le matériel a été considérablement abaissée

Travaux en cours

Etant donné les changements importants et les notions nouvelles introduits dans la présente publication, aussi bien que le fait qu'elle ne couvre pas toutes les tensions supérieures à 1 kV, il est évident qu'il reste beaucoup de travail à faire au sein du Comité d'Etudes N° 28 de la CEI

On compte qu'il sera possible dans un délai assez bref de publier une sixième édition de la Publication 71 incorporant à nouveau toutes les tensions supérieures à 1 kV. On compte aussi que la présente recommandation pourra, sans altérations majeures, constituer la partie générale de cette future édition (avec extension de l'essai de choc avec quinze applications aux matériels de toutes tensions), ainsi que la partie traitant des tensions égales ou supérieures à 300 kV

Le Comité d'Etudes N° 28 de la CEI prépare activement la deuxième édition de la Publication 71A Guide d'Application, et l'on espère qu'elle sera éditée peu après la sixième édition de la Publication 71. Pour le moment, la première édition du Guide est toujours valable pour les matériels dont la tension la plus élevée est inférieure à 300 kV. L'annexe de la présente publication a été introduite pour les tensions supérieures, en attendant que la question soit traitée plus complètement dans la seconde édition du Guide

The field of statistical procedures, which are at present introduced for very high voltage equipment only, might extend to all cases where a close adjustment of insulation to system conditions proves economical

Other modifications that appear in this new edition are the following

- The concept of “self-restoring” or “non-self-restoring” insulations has been introduced
- The concept of “exposed” or “non-exposed” installations which was limited to overvoltages of atmospheric origin, has now been abandoned. Under the procedure now proposed, all overvoltages, regardless of origin, are taken into account, noting that overvoltages of atmospheric origin may on certain systems or parts of systems be very much reduced
- Per unit values of the withstand and overvoltage levels have been introduced, taking in all cases as a standard reference basis, the peak value of the voltage to earth corresponding to the highest voltage for equipment
- Similarly, it is recommended to substitute from now on for the traditional “factor of earthing” an “earth fault factor”, referred to the voltage to earth and which is equal to the former multiplied by $\sqrt{3}$
- For the impulse voltage withstand tests on external insulations, at voltages from 100 kV upwards, 15 impulses are recommended, with two sparkovers permitted, this test has approximately the same severity for the same applied voltage, and is deemed more selective than the previous one with five impulses followed by ten additional ones without sparkover, if a sparkover has taken place during the first five

Finally, significant modifications have been introduced in the list of standard values among which impulse withstand test voltages shall be chosen, as well as in the part of the table of standard values of insulation levels which concerns highest voltages for equipment equal to or greater than 300 kV

- In the list of standard values, 850 kV and 950 kV have been substituted for 825 kV and 900 kV, in order to provide a more regular spacing. The list has been extended from 2 300 kV up to 2 900 kV
- Insulation levels for 765 kV have been inserted in the Table
- As mentioned above, power-frequency withstand voltages do not appear any more in the Table from 300 kV upwards, and rated switching impulse withstand voltages have been introduced. They are given first consideration in the Table, on the basis that lightning overvoltages are usually controllable to the level which is related to and determined by the switching surge strength of the insulation
- The range of recommended rated lightning impulse withstand voltages associated with a given highest voltage for equipment has been considerably brought down

Future work

It is evident from the important modifications and new concepts which have been introduced in the present Publication, as well as from the fact that it does not cover the complete range of voltages above 1 kV, that much work remains to be done in IEC Technical Committee No. 28

It is expected that it will be possible in the near future to issue a sixth edition of Publication 71 and a second edition of Publication 71A, incorporating all voltages above 1 kV. It is also expected that the present Recommendation will not require any major adjustments to constitute the general sections of this future edition (including generalization of the fifteen shot impulse tests to all voltages) as well as the section dealing with voltages equal to or greater than 300 kV

IEC Technical Committee No. 28 is actively preparing the second edition of Publication 71A, Application Guide, and it is expected that it will be issued shortly after the sixth edition of Publication 71. For the time being the first edition of the Guide is still applicable for equipment of higher voltage lower than 300 kV. For higher voltages the Appendix of the present Publication has been introduced, pending a fuller discussion of these problems in the second edition of the Guide

COORDINATION DE L'ISOLEMENT

CHAPITRE I : CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES

SECTION UN — DOMAINE D'APPLICATION ET OBJET

1 Domaine d'application

La présente recommandation s'applique aux matériels pour réseaux à tension alternative triphasée dont la tension la plus élevée pour le matériel est égale ou supérieure à 100 kV. Pour les matériels dont la tension la plus élevée pour le matériel est supérieure à 1 kV mais inférieure à 100 kV, la quatrième édition de la Publication 71 de la CEI (1967) reste valable.

La présente recommandation s'applique à tous les matériels, câbles souterrains compris (voir cependant article 42), cependant elle ne s'applique pas aux lignes aériennes bien que les méthodes générales d'essais de la section cinq puissent être appliquées aux matériels pour lignes aériennes.

La présente recommandation ne traite que de l'isolement entre phase et terre.

2 Objet

L'objet de la présente recommandation 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 spécifier le niveau d'isolement et de réglementer les conditions d'essais appropriées à ce matériel, en prenant en considération les recommandations données dans les sections suivantes, en particulier pour les essais prévus dans cette recommandation, les valeurs des tensions de tenue normalisées devront être conformes aux niveaux d'isolement normalisés, spécifiés dans la présente recommandation.

Cette recommandation sera complétée par une nouvelle édition du Guide d'Application, Publication 71A de la CEI. En attendant la publication de cette édition, l'annexe constitue un guide dans l'application de la recommandation aux matériels dont la tension la plus élevée pour le matériel est égale ou supérieure à 300 kV. Pour les tensions plus faibles, l'édition actuelle de la Publication 71A de la CEI (1962) reste valable.

SECTION DEUX — DÉFINITIONS

Les définitions suivantes ont été adoptées pour la présente recommandation.

3 Tension nominale d'un réseau triphasé

Valeur efficace de la tension entre phases par laquelle le réseau est dénommé, et à laquelle certaines caractéristiques de fonctionnement de ce réseau se réfèrent.

4 Tension la plus élevée d'un réseau triphasé

Valeur efficace de la tension entre phases la plus haute qui apparaît à un instant quelconque et en un point quelconque du réseau dans les conditions d'exploitation normales. Cette valeur ne tient pas compte des variations transitoires (par exemple dues aux manœuvres dans le réseau) ni des variations temporaires de la tension dues à des conditions anormales du réseau (par exemple dues aux défauts ou aux déclenchements brusques de charges importantes).

INSULATION CO-ORDINATION

CHAPTER I: GENERAL CONSIDERATIONS

SECTION ONE — SCOPE AND OBJECT

1 Scope

This Recommendation applies to equipment for three-phase a.c. systems, having a highest voltage for equipment of 100 kV or above. For equipment, having a highest voltage for equipment above 1 kV and less than 100 kV, the fourth edition of IEC Publication 71 (1967) remains valid.

This Recommendation applies to all equipment, including underground cables (see however Clause 42), however it does not apply to overhead lines, although the general test procedure of Section Five can be applied to the equipment of overhead lines.

This Recommendation covers only phase-to-ground insulation.

2 Object

The object of this Recommendation is to standardize the specification of the insulation of the various items of equipment used in a given installation. Each Apparatus Committee is responsible for specifying the insulation level and test procedure suitable for its equipment, taking into consideration the Recommendations given in the following sections, in particular, for the tests prescribed in this Recommendation the values of the rated withstand voltages should conform to the recommended scale of standardized insulation levels of this Recommendation.

This Recommendation will be supplemented by a new edition of the Application Guide, IEC Publication 71A. Pending this edition, the Appendix provides guidance in the application of the Recommendation to equipment having a highest voltage for equipment of 300 kV and above. For lower voltages the present edition of Publication 71A (1962) remains applicable.

SECTION TWO — DEFINITIONS

The following definitions have been adopted for the purpose of this Recommendation.

3 Nominal voltage of a three-phase system

The r.m.s. phase-to-phase voltage by which the system is designated and to which certain operating characteristics of the system are related.

4 Highest voltage of a three-phase system

The highest r.m.s. phase-to-phase voltage which occurs under normal operating conditions at any time and at any point of the system. It excludes voltage transients (such as those due to system switching) and temporary voltage variations due to abnormal system conditions (such as those due to fault conditions or the sudden disconnection of large loads).

5 Tension la plus élevée pour le matériel

Tension efficace entre phases la plus haute pour laquelle le matériel est spécifié en ce qui concerne son isolation ainsi que certaines autres caractéristiques qui sont éventuellement rattachées à cette tension dans les recommandations proposées pour chaque matériel

Cette tension est la valeur maximale de la tension la plus élevée du réseau pour laquelle le matériel peut être utilisé

Dans la présente recommandation, la tension la plus élevée pour le matériel est représentée par le symbole U_m

Note — Dans les réseaux dont la tension la plus élevée pour le matériel est égale ou supérieure à 100 kV, cette tension U_m en général ne diffère pas sensiblement de la tension la plus élevée de fonctionnement du réseau. Au-dessous de 100 kV, la tension U_m peut être supérieure à la tension la plus élevée du réseau, puisque chaque valeur normalisée de U_m est applicable à des réseaux dont les tensions nominales peuvent présenter entre elles des différences allant jusqu'à 10% (par exemple : $U_m = 72,5$ est applicable aux réseaux à 60 kV et à 66 kV), et dont les tensions les plus élevées présentent en conséquence des valeurs différentes

6 Isolation externe

Les distances dans l'air atmosphérique et les surfaces en contact avec l'atmosphère des isolations solides d'un matériel qui sont soumises aux contraintes diélectriques et à l'influence des conditions atmosphériques ou d'autres agents externes tels que la pollution, l'humidité, les animaux, etc

7 Isolation interne

Les éléments internes solides, liquides ou gazeux de l'isolation d'un matériel, qui sont à l'abri de l'influence des conditions atmosphériques ou d'autres agents externes tels que la pollution, l'humidité, les animaux, etc

8 Isolation externe pour matériel d'intérieur

Isolation externe destinée à être utilisée à l'intérieur d'un bâtiment et, par conséquent, à l'abri des intempéries

9 Isolation externe pour matériel d'extérieur

Isolation externe destinée à être utilisée à l'extérieur des bâtiments et pouvant, en conséquence, être soumise aux intempéries

10 Isolation autorégénératrice

Isolation qui retrouve intégralement ses propriétés isolantes après une décharge disruptive au cours d'un essai diélectrique, une telle isolation est généralement (mais pas nécessairement) une isolation externe

11 Isolation non autorégénératrice

Isolation qui perd ses propriétés isolantes, ou ne les retrouve pas intégralement, après une décharge disruptive au cours d'un essai diélectrique, une telle isolation est généralement (mais pas nécessairement) une isolation interne

12 Essai de type

Essai effectué sur un seul appareil d'un même modèle et exécuté en vue de démontrer que tous les appareils construits selon la même spécification et possédant les mêmes détails essentiels seraient capables de supporter le même essai. En général, il n'est pas répété à chaque fourniture

5 Highest voltage for equipment

The highest r m s phase-to-phase voltage for which the equipment is designed, in respect of its insulation as well as other characteristics which are referred to this voltage in the relevant equipment recommendations

This voltage is the maximum value of the highest voltage of the system for which the equipment may be used

In this Recommendation, the highest voltage for equipment will be represented by U_m

Note — In systems with highest voltage for equipment equal to or greater than 100 kV, this voltage U_m in general does not materially differ from the highest value of the system operating voltage

Below 100 kV, the voltage U_m may be higher than the highest system voltage, since each standard value of U_m applies to different systems the nominal voltage of which may differ by as much as 10% (for instance: $U_m = 72.5$ kV covers 60 kV and 66 kV), and thus also to different values of the highest operating voltage

6 External insulation

The distances in atmosphere and the surfaces in contact with open air of solid insulation of the equipment, which are subject to dielectric stresses and to the effects of atmospheric and other external conditions such as pollution, humidity, vermin, etc

7 Internal insulation

The internal solid, liquid or gaseous parts of the insulation of equipment, which are protected from the effects of atmospheric and other external conditions such as pollution, humidity, vermin, etc

8 Indoor external insulation

External insulation which is designed to operate inside buildings and consequently not exposed to the weather

9 Outdoor external insulation

External insulation which is designed to operate outside buildings and consequently exposed to the weather

10 Self-restoring insulation

Insulation which completely recovers its insulating properties after a disruptive discharge caused by the application of a test voltage; insulation of this kind is generally, but not necessarily external insulation

11 Non-self-restoring insulation

An insulation which loses its insulating properties or does not recover them completely, after a disruptive discharge caused by the application of a test voltage, insulation of this kind is generally but not necessarily internal insulation

12 Type test

A test of one piece of equipment deemed to show that all pieces of equipment made to the same specification and having the same essential details would pass an identical test; it is usually not repeated on different deliveries

13 Essai individuel

Essai auquel tous les appareils d'une série sont soumis

14 Facteur de défaut à la terre

En un emplacement défini d'un réseau triphasé (qui sera généralement le point d'installation d'un matériel particulier) et pour un schéma d'exploitation donné de ce réseau, rapport entre la tension efficace la plus élevée à la fréquence du réseau entre une phase saine et la terre pendant un défaut à la terre (affectant une phase quelconque ou plusieurs en un point quelconque du réseau), et la tension efficace entre phase et terre à la fréquence du réseau qui serait obtenue à l'emplacement considéré avec disparition du défaut

Notes 1 — Ce facteur est un rapport numérique (supérieur à l'unité) qui caractérise d'une façon générale les conditions de mise à la terre du neutre d'un réseau, vues de l'emplacement considéré, indépendamment de la valeur particulière actuelle de la tension de fonctionnement à cet emplacement

Le « facteur de défaut à la terre » est le produit par $\sqrt{3}$ du « facteur de mise à la terre » dont l'usage a été général jusqu'ici

2 — Les facteurs de défaut à la terre sont calculables à partir des valeurs des impédances du réseau dans les systèmes de composantes symétriques, telles qu'elles sont vues de l'emplacement considéré, en adoptant pour les machines tournantes les réactances subtransitoires

3 — Le facteur de défaut à la terre n'est pas supérieur à 1,4 lorsque, pour tous les schémas d'exploitation possibles, la réactance homopolaire et la résistance homopolaire sont inférieures à respectivement trois fois et une fois la réactance directe

15 Surtension

Toute tension fonction du temps entre un conducteur de phase et la terre ou entre deux conducteurs de phase, dont la ou les valeurs de crête dépassent la valeur de crête ($U_m\sqrt{2}/\sqrt{3}$ ou $U_m\sqrt{2}$ respectivement) correspondant à la tension la plus élevée pour le matériel

Note — Les surtensions sont toujours des phénomènes transitoires. On distingue en gros les surtensions fortement amorties et de courte durée (voir articles 18 et 19) et les surtensions non ou faiblement amorties et de durée relativement longue (voir article 22). La frontière entre ces deux groupes ne peut cependant pas être fixée avec précision

16 Valeur en pour un (p u) (valeur relative) d'une surtension entre phase et terre

Rapport des valeurs de crête d'une surtension entre phase et terre et de la tension entre phase et terre qui correspond à la tension la plus élevée pour le matériel (soit $U_m\sqrt{2}/\sqrt{3}$)

17 Valeur en pour un (p u) d'une surtension entre phases

Rapport des valeurs de crête d'une surtension entre phases et de la tension entre phase et terre qui correspond à la tension la plus élevée pour le matériel (soit encore $U_m\sqrt{2}/\sqrt{3}$)

Ce rapport sera exprimé sous la forme $K\sqrt{3}$, en exprimant par K le rapport des valeurs de crête de la surtension entre phases et de la tension la plus élevée pour le matériel (soit $U_m\sqrt{2}$)

La valeur de crête correspondant à la tension la plus élevée pour le matériel (c'est-à-dire la valeur la plus faible d'une surtension entre phases) exprimée en « pour un » devra donc être écrite $1 \times \sqrt{3}$

Note — Les surtensions en pour un définies dans les articles 16 et 17 pour les besoins des études de coordination de l'isolement sont rapportées à la valeur de crête de la tension entre phase et terre correspondant à la tension la plus élevée pour le matériel, prise comme référence de base bien déterminée. Pour la mesure de surtensions dans des conditions variées au cours d'essais sur le réseau ou sur un modèle équivalent, il peut être commode de rapporter ces surtensions à la tension phase-terre qui existe, selon la nature de l'essai, soit juste avant, soit juste après la manœuvre. Dans de tels cas, il convient d'utiliser le terme « facteur de surtension » pour désigner le rapport considéré, et, comme les surtensions ne sont pas toujours proportionnelles à la tension du réseau, il est nécessaire de préciser celle-ci ainsi que toutes les conditions de l'essai réalisé

13 Routine test

A test to which each piece of equipment is subjected

14 Earth fault factor

At a selected location of a three-phase system (generally the point of installation of an equipment) for a given system layout, the ratio of the highest r.m.s. phase-to-ground power-frequency voltage on a sound phase during a fault to ground (affecting one or more phases at any point) to the r.m.s. phase-to-ground power-frequency voltage which would be obtained at the selected location with the fault removed

Notes 1 — This factor is a pure numerical ratio (higher than 1) and characterizes in general terms the grounding conditions of a system as viewed from the selected location, independently of the actual operating value of the voltage at that location

The “earth fault factor” is the product of $\sqrt{3}$ and the “factor of earthing” which has been in general use up to now

2 — The earth fault factors are calculated from the phase sequence impedance components of the system, as viewed from the selected location, using for any machines the subtransient reactances

3 — The earth fault factor does not exceed 1.4, if, for all system configurations, the zero-sequence reactance and resistance are less than, respectively, three and one time(s) the positive-sequence reactance

15 Overvoltage

Any time-dependent voltage between one phase and ground or between phases with peak value or values exceeding the corresponding peak value, $U_m \sqrt{2}/\sqrt{3}$ or $U_m \sqrt{2}$ respectively, derived from the highest voltage for equipment

Note — Overvoltages are always transitory phenomena. A rough distinction may be made between highly damped overvoltages of relatively short duration (see Clauses 18 and 19) and undamped or only weakly damped overvoltages of relatively long duration (see Clause 22). The border line between these two groups cannot be clearly fixed

16 Phase-to-ground per unit overvoltage

The ratio of the peak values of a phase-to-ground overvoltage and of the phase-to-ground voltage corresponding to the highest voltage for equipment (i.e. $U_m \sqrt{2}/\sqrt{3}$)

17 Phase-to-phase per unit overvoltage

The ratio of the peak values of a phase-to-phase overvoltage and of the phase-to-ground voltage corresponding to the highest voltage for equipment (i.e. again $U_m \sqrt{2}/\sqrt{3}$)

This ratio will be expressed by $K\sqrt{3}$, K being the ratio of the peak value of the phase-to-phase overvoltage to the peak value of the highest voltage for equipment (i.e. $U_m \sqrt{2}$)

The peak value of the highest voltage for equipment, (i.e. the lowest per unit value of a phase-to-phase overvoltage) will thus be expressed in p.u. value as $1 \times \sqrt{3}$

Note — The p.u. overvoltages defined in Clauses 16 and 17 for the purpose of insulation co-ordination studies are referred to the peak value of the phase to ground voltage corresponding to the highest voltage for equipment as a fixed reference basis. When overvoltages are measured in various conditions during tests on a system or an equivalent model, it may be convenient to refer these overvoltages to the phase to-ground voltage either prior to or after the switching operation, as appropriate. In such cases, the term “overvoltage factor” should be used for the ratio, and as the overvoltages are not always proportional to the system voltage, it is necessary to state the latter as well as all conditions of the test

18 Surtension de manœuvre

Surtension phase-terre ou entre phases apparaissant dans un réseau et engendrée par une manœuvre, un défaut ou une autre cause et dont la forme peut être assimilée, en ce qui concerne la coordination des isolements, à celle des impulsions normalisées (article 44) utilisées pour les essais de chocs (d'impulsions) de manœuvre. Les surtensions de ce type sont habituellement fortement amorties et de courte durée.

19 Surtension de foudre

Surtension phase-terre ou entre phases apparaissant dans un réseau et engendrée par une décharge atmosphérique ou une autre cause, et dont la forme peut être assimilée, en ce qui concerne la coordination de l'isolément, à celle des impulsions normalisées (article 44) utilisées pour les essais de chocs (d'impulsions) de foudre. Les surtensions de ce type sont habituellement très fortement amorties et de très courte durée.

Note relative aux articles 18 et 19 — Pour les besoins de la coordination de l'isolément, les surtensions de manœuvre et de foudre sont classées non selon leur origine mais selon leur forme. Bien que, dans les réseaux existants, les surtensions puissent avoir des formes différant fortement des formes normalisées, on admet dans cette recommandation qu'il suffit pour décrire une surtension d'indiquer son classement et sa valeur de crête.

20 Surtension statistique de manœuvre (de foudre)

Surtension de manœuvre (de foudre) appliquée à un matériel du fait d'une perturbation d'un type déterminé affectant le réseau (mise sous tension d'une ligne, réenclenchement, apparition d'un défaut, décharge atmosphérique, etc.), et dont la valeur de crête a une probabilité d'être dépassée égale à une probabilité de référence spécifiée.

Une probabilité de référence de 2% est utilisée, pour les surtensions, dans l'annexe à cette recommandation.

21 Surtension maximale conventionnelle de manœuvre (de foudre)

Surtension de manœuvre (de foudre) dont la valeur est considérée par convention comme la surtension maximale à utiliser dans la méthode conventionnelle de coordination de l'isolément.

22 Surtension temporaire

Surtension oscillatoire entre phase et terre ou entre phases apparaissant en un point donné d'un réseau, de durée relativement longue et qui est non ou faiblement amortie.

Les surtensions temporaires sont habituellement occasionnées par des manœuvres ou par l'apparition de défauts (par exemple séparation brusque de charges importantes, défauts monophasés) ou par des non-linéarités (effets de ferro-résonance, harmoniques). On les caractérise par leur amplitude, leurs fréquences d'oscillation, leur durée totale ou leur amortissement.

23 Tension de tenue statistique (90%) aux chocs (impulsions) de manœuvre (de foudre)

Valeur de crête d'une surtension de manœuvre (de foudre) appliquée au cours des «essais de chocs» pour laquelle la probabilité de tenue est égale à une probabilité de référence fixée à l'avance.

Cette probabilité de référence est dans la présente recommandation choisie égale à 90%.

Au stade actuel, ce concept de tenue statistique n'est applicable qu'aux isolations autorégénératrices.

24 Tension de tenue conventionnelle aux chocs (impulsions) de manœuvre (de foudre)

Valeur de crête d'une surtension de manœuvre (de foudre) appliquée au cours des «essais de choc» pour laquelle une isolation ne doit être le siège d'aucune décharge disruptive lorsqu'elle est soumise à un nombre spécifié de «chocs» de cette valeur dans des conditions spécifiées.

Ce concept s'applique en particulier aux isolations non autorégénératrices.

18 Switching overvoltage

A phase-to-ground or a phase-to-phase overvoltage at a given location on a system due to one specific switching operation, fault, or other cause, the shape of which can be regarded for insulation co-ordination purposes as similar to that of the standard impulse (Clause 44) used for switching impulse tests. Such overvoltages are usually highly damped and of short duration.

19 Lightning overvoltage

A phase-to-ground or a phase-to-phase overvoltage at a given location on a system, due to one specific lightning discharge or other cause, the shape of which can be regarded, for insulation co-ordination purpose, as similar to that of the standard impulse (Clause 44) used for lightning impulse tests. Such overvoltages are usually very highly damped and of very short duration.

Note to Clauses 18 and 19 — For the purpose of insulation co-ordination switching and lightning overvoltages are classified according to their shape, regardless of their origin. Although considerable deviations from the standard shapes occur on actual systems, in this Recommendation it is considered sufficient to describe such overvoltages by their classification and peak value.

20 Statistical switching (lightning) overvoltage

Switching (lightning) overvoltage applied to equipment as a result of an event of one specific type on the system (line energization, reclosing, fault occurrence, lightning discharge, etc.), the peak value of which has a probability of being exceeded which is equal to a specified “reference probability”.

A reference overvoltage probability of 2% is used in the Appendix to this Recommendation.

21 Conventional maximum switching (lightning) overvoltage

A switching (lightning) overvoltage, which is conventionally considered as the maximum overvoltage in the conventional procedure of insulation co-ordination.

22 Temporary overvoltage

An oscillatory phase-to-ground or phase-to-phase overvoltage at a given location of relatively long duration and which is undamped or only weakly damped.

Temporary overvoltages usually originate from switching operations or faults (e.g. load rejection, single-phase faults) and/or from non-linearities (ferro-resonance effects, harmonics). They may be characterized by their amplitude, their oscillation frequencies, their total duration or their decrement.

23 Statistical (90%) switching (lightning) impulse withstand voltage

The peak value of a switching (lightning) impulse test voltage at which insulation exhibits under specified conditions a probability of withstand equal to a specified reference probability.

This reference probability is chosen as 90% in this Recommendation.

The concept of statistical withstand is at present applicable only to self-restoring insulation.

24 Conventional switching (lightning) impulse withstand voltage

The peak value of a switching (lightning) impulse test voltage at which an insulation shall not show any disruptive discharge when subjected to a specified number of applications of this impulse, under specified conditions.

This concept applies particularly to non-self-restoring insulations.

25 Tension de tenue nominale aux chocs (impulsions) de manœuvre (de foudre)

Valeur de crête de la tension de tenue aux chocs de manœuvre (de foudre) prescrite pour un matériel qui caractérise l'isolation de ce matériel en ce qui concerne les essais de tenue

Notes 1 — Suivant le type d'isolation et selon ce qui sera spécifié dans les recommandations pour les matériels particuliers, les essais diélectriques sont faits pour vérifier que :

- la tension de tenue statistique aux chocs de manœuvre (de foudre) n'est pas inférieure à la tension de tenue nominale aux chocs de manœuvre (de foudre) (voir article 36) ;
- la tension de tenue conventionnelle aux chocs de manœuvre (de foudre) est égale à la tension de tenue nominale aux chocs de manœuvre (de foudre) (voir article 37)

2 — Les formes normalisées des chocs utilisés pour les essais de tenue des matériels sont décrites à la section cinq

26 Tension de tenue nominale de courte durée à fréquence industrielle

Valeur efficace de la tension sinusoïdale à fréquence industrielle que l'isolation du matériel considéré doit supporter lors d'essais faits dans les conditions spécifiées, et pendant une durée spécifiée n'excédant généralement pas 1 min

27 Niveau d'isolement

- a) Pour les appareils dont la tension la plus élevée pour le matériel est égale ou supérieure à 100 kV, les tensions de tenue nominale aux chocs de manœuvre et de foudre
- b) Pour les matériels dont la tension la plus élevée pour le matériel est inférieure à 100 kV et, provisoirement, comprise entre 100 kV et 300 kV, les tensions de tenue nominale aux chocs de foudre et de tenue nominale de courte durée à fréquence industrielle

28 Facteur de sécurité statistique

Rapport entre une tension de tenue statistique aux chocs et la surtension statistique correspondante (de manœuvre ou de foudre) due à une perturbation d'un type déterminé, établi sur la base d'un risque accepté de défaut, en tenant compte des courbes de répartition statistique des surtensions et des tensions de tenue

Note — Des indications concernant la corrélation entre la valeur minimale du facteur de sécurité statistique et le risque de défaut à ne pas dépasser seront données dans la seconde édition du Guide d'Application

29 Facteur de sécurité conventionnel

Rapport entre une tension de tenue conventionnelle aux chocs et la surtension maximale conventionnelle correspondante, fixé sur la base de l'expérience pour tenir compte des écarts possibles de la tension de tenue réelle et des surtensions par rapport à leurs valeurs conventionnelles ainsi que de tout autre élément

30 Niveau de protection d'un dispositif de protection

Valeurs de crête les plus élevées de la tension¹⁾ qui ne doivent pas être dépassées *aux bornes* d'un dispositif de protection soumis respectivement à des tensions de choc de manœuvre et de foudre, de formes normalisées et de valeurs nominales, et étant appliquées dans des conditions spécifiées

Note — On peut considérer, avec les mêmes acceptations qu'aux articles 20 et 21, un niveau de protection statistique et un niveau de protection conventionnel

1) Dans le cas des tensions de choc de foudre, il faut prendre la plus grande des tensions suivantes : tension maximale d'amorçage, tension maximale résiduelle sous courant nominal et tension maximale d'amorçage sur front d'onde divisée par 1,15

25 Rated switching (lightning) impulse withstand voltage

The prescribed peak value of the switching (lightning) impulse withstand voltage which characterizes the insulation of an equipment as regards the withstand tests

Notes 1 — Depending on the kind of insulation and conforming to what is specified in the relevant apparatus recommendations, dielectric tests are made to verify that:

- the statistical switching (lightning) impulse withstand voltage is not less than the rated impulse withstand voltage (see Clause 36);
- the conventional switching (lightning) impulse withstand voltage is equal to the rated impulse withstand voltage (see Clause 37)

2 — Standard impulse shapes used for withstand tests on equipment as well as test procedures are defined in Section Five

26 Rated short duration power-frequency withstand voltage

The prescribed 1 m s value of sinusoidal power-frequency voltage that the equipment shall withstand during tests made under specified conditions and for a specified time usually not exceeding 1 min

27 Rated insulation level

- a) For equipment with highest voltage for equipment equal to or greater than 300 kV, the rated switching and lightning impulse withstand voltages
- b) For equipment with highest voltage for equipment lower than 100 kV and provisionally between 100 kV and 300 kV the rated lightning impulse and short duration power-frequency withstand voltages

28 Statistical safety factor

The ratio for a given type of event, of the appropriate statistical (switching or lightning) impulse withstand voltage and the statistical overvoltage, established on the basis of a given risk of failure, taking into account the statistical distributions of withstand voltages and overvoltages

Note — Indications regarding the correlation between the minimum value of the statistical safety factor and the risk of failure not to be exceeded will be given in the second edition of the Application Guide

29 Conventional safety factor

The ratio of a conventional switching or lightning impulse withstand voltage to the corresponding conventional maximum overvoltage, established on the basis of experience and which takes into account the possible deviations of the actual withstand voltage and overvoltages from their conventional values as well as any other factors

30 Protection level of a protective device

The highest peak voltage values¹⁾ which should not be exceeded *at the terminals* of a protective device when respectively switching impulses and lightning impulses of standard shapes and rated values are applied under specified conditions

Note — Either the statistical or the conventional impulse protection level can be considered, with the same meaning as in Clauses 20 and 21

¹⁾ The value for lightning impulses is the highest value among maximum sparkover voltage, maximum residual voltage at rated current and maximum front of wave sparkover voltage divided by 1.15

31 Facteurs de protection d'un dispositif de protection

Rapports entre les valeurs des surtensions de manœuvre et de foudre caractérisant le niveau de protection d'un dispositif de protection respectivement pour les tensions de chocs de manœuvre et de foudre, et la *valeur de crête* de la tension nominale de ce dispositif de protection

Note — Dans le cas d'éclateurs de protection, on prend conventionnellement comme tension nominale du dispositif la tension entre phase et terre correspondant à la tension la plus élevée pour le matériel

SECTION TROIS — PRINCIPES DE BASE DE LA COORDINATION DE L'ISOLEMENT

32 Coordination de l'isolement

La coordination de l'isolement englobe la sélection de la tenue diélectrique des matériels et sa mise en œuvre, en fonction des tensions qui peuvent apparaître dans le réseau auquel ces matériels sont destinés et en considération des caractéristiques des dispositifs de protection disponibles, elle vise alors à réduire à un niveau acceptable, du point de vue de l'économie et de celui de l'exploitation, la probabilité que les contraintes diélectriques résultantes imposées aux matériels causent des dommages aux isolations des matériels ou affectent la continuité du service

33 Contraintes diélectriques des isolations

Le comportement d'une isolation doit être calculé et vérifié par des essais appropriés, pour les classes suivantes de contraintes diélectriques

- Tensions à fréquence industrielle dans les conditions normales d'exploitation, c'est-à-dire n'excédant pas la tension la plus élevée pour le matériel
- Surtensions temporaires
- Surtensions de manœuvre
- Surtensions de foudre

Le comportement de l'isolation à l'égard des deux premières classes de contraintes est vérifié par des essais diélectriques à fréquence industrielle. L'essai 1 min sous tension à fréquence industrielle utilisé actuellement n'est pas nécessairement le mieux adapté et d'autres essais plus appropriés peuvent être choisis.

La tenue sous la troisième classe de contraintes est vérifiée par un essai de choc de manœuvre si la tension la plus élevée pour le matériel est égale ou supérieure à 300 kV, et par un essai 1 min sous tension à fréquence industrielle si la tension la plus élevée pour le matériel est inférieure à 300 kV (cette limite de 300 kV est provisoire)

La tenue sous la quatrième classe de contraintes est vérifiée dans tous les cas par un essai de choc de foudre

34 Coordination pour les tensions d'exploitation normale et pour les surtensions temporaires

La coordination de l'isolement inclut la considération des contraintes diélectriques dans les conditions normales d'exploitation et pendant les surtensions temporaires, qui sont susceptibles d'affecter le bon fonctionnement des matériels ou leur durée de vie

A cet égard, on peut différencier les isolations selon qu'elles sont sujettes soit à la contamination soit au vieillissement. L'adaptation des matériels à l'égard de l'une ou l'autre de ces conditions doit être démontrée par des essais diélectriques à fréquence industrielle

31 Protection factors of a protective device

The ratios of the switching impulse and lightning impulse values of the protection level of a protective device to *the peak value* of the rated voltage of the protective device

Note — In the case of spark gaps, the phase to ground voltage corresponding to the highest voltage for equipment is used conventionally as the rated voltage

SECTION THREE — BASIC PRINCIPLES OF INSULATION CO-ORDINATION

32 Insulation co-ordination

Insulation co-ordination comprises the selection of the electric strength of equipment and its application, in relation to the voltages which can appear on the system for which the equipment is intended and taking into account the characteristics of available protective devices, so as to reduce to an economically and operationally acceptable level the probability that the resulting voltage stresses imposed on the equipment will cause damage to equipment insulation or affect continuity of service

33 Voltage stresses on the insulation

The performance of insulation should be assessed and verified by appropriate tests, for the following classes of dielectric stresses:

- Power-frequency voltages under normal operating conditions, i.e., not exceeding the highest voltage for equipment
- Temporary overvoltages
- Switching overvoltages
- Lightning overvoltages

The performance of insulation under the first two classes of stresses is checked by a dielectric test at power frequency, the present 1 min power-frequency overvoltage test is not necessarily the most suitable and another more appropriate test procedure may be chosen

The third class is checked by a switching impulse test when the highest voltage for equipment is 300 kV or above, and by a 1 min power-frequency test when highest voltage for equipment is below 300 kV (this 300 kV limit is provisional)

The fourth class is checked in all cases by a lightning impulse test

34 Co-ordination for voltages under normal operating conditions and for temporary overvoltages

The co-ordination of insulation involves consideration of those electric stresses under normal operating conditions and during temporary overvoltages which can affect the satisfactory performance of the equipment or its life

In this respect, insulation can be differentiated according to that which may be susceptible either to contamination or to ageing. The suitability of the equipment with respect to either of these conditions shall be demonstrated by power-frequency tests

Note — Jusqu'à présent, les valeurs fixées pour les tensions d'essais diélectriques à fréquence industrielle étaient assez élevées pour tenir compte, dans une certaine mesure, des effets des surs tensions de manœuvre en même temps que des tensions normales d'exploitation et des surs tensions temporaires. Avec l'introduction d'essais spécifiques sous chocs de manœuvre pour les appareils de tension la plus élevée pour le matériel de 300 kV ou plus et la disponibilité d'essais spécifiques des décharges partielles, les valeurs fixées pour les essais à fréquence industrielle peuvent être réduites et leur nature reconsidérée, de façon à les rendre plus représentatives des tensions en service normal et des surs tensions temporaires seulement, et les Comités responsables des matériels auront maintenant à entreprendre cette mise au point. En attendant que cela soit fait, l'essai diélectrique à fréquence industrielle tel qu'il est actuellement prescrit par les Comités responsables de chaque matériel continue évidemment à être applicable.

Pour spécifier des essais représentatifs des contraintes subies dans les conditions normales d'exploitation ou pendant les surs tensions temporaires, on devra admettre que

- a) En ce qui concerne les tensions dans les conditions normales de service, l'isolation doit permettre le fonctionnement permanent à la tension la plus élevée pour le matériel.
- b) En ce qui concerne les surs tensions temporaires, celles-ci ne dépassent pas habituellement $1,5 U_m \sqrt{2}/\sqrt{3}$ entre phase et terre pendant une seconde, à chaque apparition, si les conditions d'exploitation du réseau sont plus sévères, il pourra être nécessaire de les considérer spécialement.

Il appartient aux Comités d'Etudes responsables des matériels de prescrire les essais qu'ils jugent utiles et de fixer les tensions et autres conditions d'essais, ces dernières devant être en accord avec les instructions données par le Comité d'Etudes N° 42 de la CEI: Techniques des essais à haute tension, et dans le cadre des recommandations générales suivantes.

- c) Les essais à fréquence industrielle destinés à vérifier la tenue sous pollution superficielle devront être effectués à une tension au moins égale à $U_m/\sqrt{3}$ entre phase et terre, et dans les conditions de pollution prescrites dans les Publications de la CEI appropriées.
- d) Les essais à fréquence industrielle destinés à vérifier dans la mesure du possible qu'il ne se produira pas de détérioration sensible de l'isolation pendant la durée de vie prévue du matériel du fait des décharges partielles, et que, dans les conditions les plus sévères, l'isolation n'est pas le siège d'instabilité thermique, doivent être effectués à une tension entre phase et terre supérieure à $U_m/\sqrt{3}$ pendant une durée spécifiée et de telle manière que toutes les parties soient soumises pendant l'essai à des contraintes proportionnelles à celles qui sont appliquées en service normal.

35 Coordination pour les surs tensions de manœuvre et de foudre

Une première étape consiste à prévoir l'amplitude des surs tensions de manœuvre et de foudre en considérant les situations du réseau susceptibles de se présenter et les paramètres électriques du réseau et des matériels qui le composent, ainsi que leur limitation par des parafoudres ou des éclateurs éventuels.

Là où sont installés des parafoudres, leur choix doit prendre en considération l'amplitude et la durée des surs tensions temporaires au cours desquelles on peut leur demander de fonctionner correctement en continuant à assurer une marge adéquate de protection [voir aussi la Publication 99-1A de la CEI Premier complément à la Publication 99-1 (1970)].

La tenue des isolations des matériels aux contraintes de manœuvre et de foudre doit alors être choisie suffisamment au-dessus des contraintes de surs tensions que l'on a prévues pour qu'on soit assuré que le risque de défaut d'isolement est assez petit pour être acceptable tant du point de vue de l'exploitation que du point de vue économique.

La façon de procéder peut être statistique ou non statistique. Quelques règles générales de ces deux façons de procéder dans la coordination de l'isolement pourront être trouvées dans la seconde édition du Guide d'Application. Des exemples sont donnés dans l'annexe à cette recommandation.

36 Méthodes statistiques

Une solution rigoureuse du problème de coordination de l'isolement pour les surs tensions de manœuvre et de foudre exigerait qu'aussi bien les surs tensions de chaque catégorie que la tenue de l'isolation

Note — Up to the present, the values of the power frequency withstand test voltages have been high enough to take some account of the effects of switching overvoltages, as well as of normal operating voltages and temporary overvoltages. With the introduction of tests specific to switching impulses for equipment having highest voltage equal to or greater than 300 kV, and the availability of tests specific to partial discharges, the values of the power frequency test voltages can be reduced, and their nature reconsidered so as to be more representative of normal operating voltages and temporary overvoltages only; this revision should now be undertaken by the relevant Apparatus Committees. Until this can be done the power frequency tests at present prescribed by the relevant Apparatus Committees will, of course, continue to apply.

In specifying tests representative of stresses under normal operating conditions and temporary overvoltages, it should be assumed that

- a) As regards the voltage under normal operating conditions, the insulation shall withstand permanent operation at the highest voltage for equipment
- b) As regards the temporary phase-to-ground overvoltages, these will not exceed in usual cases $1.5 U_m \sqrt{2/\sqrt{3}}$ phase-to-ground for one second on each occasion, special consideration may be required when system conditions are more severe

It will be for the appropriate Apparatus Committees to prescribe suitable tests and to specify test voltages as well as other test conditions, the latter in agreement with recommendations given by IEC Technical Committee No. 42 (High-Voltage Testing Techniques), and within the general recommendations given hereafter

- c) Power-frequency tests intended to verify the ability to withstand surface contamination should be carried out at a voltage not less than $U_m/\sqrt{3}$ phase-to-ground and with contamination conditions as specified in the appropriate IEC Publications
- d) Power-frequency tests intended to verify, as far as practicable, that there will be no significant deterioration of the insulation due to partial discharges during the expected working life of equipment and that in the most severe conditions the insulation is not liable to thermal instability should be performed at some voltage above $U_m/\sqrt{3}$ phase-to-ground, with some specified time of application and in such a manner that all elements are stressed in the same proportions as would apply in normal service

35 Co-ordination for switching and lightning overvoltages

A first step is the prediction of the magnitudes of the switching and lightning overvoltages, considering credible system contingencies and the electrical parameters of the system and of the equipment as well as the limiting effect of any surge diverters or spark-gaps

Where surge diverters are installed, their choice must take into consideration the magnitude and duration of the temporary overvoltages during which they may be required to operate satisfactorily while continuing to provide an adequate margin of protection (see also IEC Publication 99-1A, First Supplement to Publication 99-1 (1970))

The insulation strength of equipment for switching and lightning stresses must then be chosen sufficiently above the predicted transient overvoltage stresses to ensure that the requisites of insulation co-ordination are satisfied

A statistical or a non-statistical procedure may be considered. Some general rules for procedure in statistical and conventional approaches to insulation co-ordination will be found in the second edition of the Application Guide. Examples are given in the Appendix

36 Statistical procedures

A rigorous solution to the insulation co-ordination problem for switching or lightning overvoltages would require that both the overvoltage stresses of each category and the insulation strength for

aux chocs de manœuvre et de foudre soient décrites par les courbes de répartition de leurs probabilités respectives

Cependant, il est possible en pratique d'accepter certaines hypothèses simplificatrices sur la forme générale des courbes de probabilité (par exemple distribution selon la loi normale, et écart type connu pour un matériel donné) qui permettent de remplacer chaque courbe par un seul point correspondant à une valeur donnée de la probabilité. L'ordonnée d'un tel point est appelée « surtension statistique » (définition 20) sur les courbes de probabilité des surtensions, ou « tension de tenue statistique aux chocs » (définition 23) sur les courbes de probabilité de tenue. La probabilité de référence a été fixée à 90% pour les tensions de tenue aux chocs des matériels. Le choix de la probabilité de référence des surtensions de 2% utilisée dans l'annexe sera discuté dans la deuxième édition du Guide d'Application.

La coordination de l'isolement à l'égard d'une catégorie définie de surtensions, dans ce contexte statistique simplifié, consiste à choisir une marge, caractérisée par le facteur de sécurité statistique, entre la tension de tenue statistique à ces surtensions et la surtension statistique, de manière à viser une probabilité de défaut (exprimable numériquement) considérée comme acceptable du point de vue de la sécurité du service et du prix des installations.

Les valeurs minimales acceptables des tensions de tenue statistiques aux chocs (impulsions) de manœuvre ou de foudre ayant ainsi été déterminées permettront de choisir parmi les valeurs normalisées données dans la Section Quatre les tensions nominales de tenue aux surtensions de manœuvre et de foudre. Des essais nécessitant un nombre relativement grand de chocs doivent alors être faits afin de vérifier avec un degré de confiance acceptable que les tensions de tenue statistiques vraies sont au moins égales à ces tensions de tenue nominales.

La vérification peut être faite au moyen d'un essai de décharge disruptive 50% dont la tension de tenue statistique (90%) réelle peut être déduite avec un bon degré de confiance, dans le cas d'isolations autorégénératrices et qui continuent à le rester aux tensions d'essai correspondantes, quelque peu supérieures à la tension de tenue nominale, ou pour lesquelles la probabilité d'avarie dans de telles conditions d'essai, compte tenu du grand nombre de chocs répétés à ces tensions accrues, est économiquement acceptable (par exemple, supports isolants, isolateurs).

La vérification doit être faite à la tension de tenue nominale dans le cas d'isolations qui pourraient n'être pas autorégénératrices à la tension de décharge disruptive 50% mais le sont à la tension de tenue nominale, et pour lesquelles l'application d'un nombre élevé de surtensions dans de telles conditions aux parties non autorégénératrices de l'isolation est acceptable (par exemple certains types de traversées, quelques catégories de transformateurs de mesure et d'appareils de manœuvre).

Méthode conventionnelle (non statistique)

Pour certains matériels, quand il s'agit essentiellement d'isolations non autorégénératrices (par exemple les transformateurs, réactances, etc.), il peut ne pas être possible d'établir par des essais un point de tenue statistique de l'isolation aux chocs (impulsions) de manœuvre ou de foudre, pas plus qu'il n'est possible de considérer la probabilité de claquage comme un paramètre du dimensionnement susceptible d'un contrôle quantitatif. Pour de telles catégories de matériels, il demeure nécessaire de considérer la tenue diélectrique en termes d'une tenue conventionnelle établie par l'application d'un petit nombre de chocs (par exemple 3 pour chaque condition d'essai) à la tension de tenue nominale, ainsi qu'on le décrira à l'article 47.

Après avoir évalué les surtensions maximales conventionnelles de manœuvre et de foudre, on choisit les tensions de tenue nominales correspondantes parmi les valeurs normalisées données dans la Section Quatre, en appliquant des facteurs de sécurité adéquats qui tiennent compte de l'incertitude sur les tensions maximales et du fait que les essais ne démontrent pas par eux-mêmes que le matériel supporterait toujours des surtensions répétées au niveau nominal de tenue. La marge de sécurité doit être fixée sur la base de l'expérience et n'est pas susceptible d'une détermination à partir de la considération de valeurs numériques des probabilités.

switching and lightning impulses be described in terms of their respective frequency distributions

It is, however, practically possible, accepting some simplifying assumptions on the general shapes of the probability curves (e.g. normal frequency distribution and known standard deviation), to represent each curve by a single point corresponding to a given value of the probability. Such points are designated as “statistical overvoltages” (definition 20) in the case of overvoltage probability curves and as “statistical impulse withstand voltages” (definition 23) in the case of withstand probability curves. The reference probability for equipment impulse withstand voltages has been established as 90%. The choice of a 2% overvoltage reference probability as used in the Appendix will be discussed in the second edition of the Application Guide.

Insulation co-ordination for a given category of overvoltages, in this simplified statistical context, consists in the selection of a margin, characterized by the statistical safety factor, between the statistical impulse withstand voltage and the statistical overvoltage, which will result in a probability of failure (capable of numerical expression) aimed at as acceptable from the point of view of system reliability and cost.

The minimum acceptable values of the statistical switching and lightning impulse withstand voltages having thus been determined, the rated switching and lightning impulse voltages will be selected from the standard values in Section Four. Tests requiring a rather large number of impulse applications are then needed to verify, with an acceptable degree of confidence, that the actual statistical withstand voltages are equal to or higher than these rated impulse withstand voltages.

The verification can be done by means of a 50% disruptive discharge voltage test, from which the actual statistical (90%) withstand voltage can be derived with a good degree of confidence in the case of self-restoring insulations which continue to behave as such at the corresponding test voltages, which are somewhat higher than the rated withstand voltage, or for which the probability of damage in such conditions, in spite of a relatively large number of impulses and an increased impulse voltage, can be economically accepted (for instance, post insulators, isolators).

The verification has to be done at the rated withstand voltage in the case of insulations which might not be self-restoring at the 50% disruptive discharge voltage but are self-restoring at the rated withstand voltage, and for which the application of a number of impulses in such conditions to the non-self-restoring parts of the insulation can be accepted (for instance, some types of bushings, some types of measuring transformers and switchgear).

37 Conventional procedure (non statistical)

For some equipments, when the insulation is essentially non-self-restoring (for instance, transformers, reactors, etc.) it may not be practicable to test insulation to establish a statistical withstand point for switching or lightning impulses, nor is it possible to consider failure probability as a design variable subject to quantitative control. For such classes of equipment, it remains necessary to consider a conventional withstand strength established by a small number of impulse applications (for instance, three for each test condition) at the rated impulse withstand voltage, as described in Clause 47.

The conventional maximum switching and lightning overvoltages having been assessed, the corresponding conventional withstand voltages are then selected from the standard rated values listed in Section Four, making use of adequate safety factors which take into account the uncertainty on the maximum overvoltages and the fact that the test itself does not show that the equipment will always withstand repeated overvoltages at the rated level. The safety margin has to be fixed on the basis of experience and is not amenable to determination from a numerical consideration of the probabilities involved.

CHAPITRE II: TENSIONS ÉGALES OU SUPÉRIEURES A 100 kV

SECTION QUATRE — NIVEAUX D'ISOLEMENT NORMALISÉS

38 Indications générales

- a) La présente recommandation spécifie des niveaux d'isolement normalisés associés aux valeurs normalisées de la tension la plus élevée pour le matériel. Ces niveaux sont les mêmes, que l'on adopte la méthode statistique ou la méthode conventionnelle selon le type de matériel considéré.
- b) Les valeurs normalisées des tensions nominales de tenue aux chocs doivent être prises dans la liste suivante, valable aussi bien pour les impulsions de manœuvre que pour les impulsions de foudre.

380 kV, 450 kV, 550 kV, 650 kV, 750 kV, 850 kV, 950 kV, 1 050 kV, 1 175 kV, 1 300 kV, 1 425 kV, 1 550 kV, 1 675 kV, 1 800 kV, 1 950 kV, 2 100 kV, 2 250 kV, 2 400 kV, 2 550 kV, 2 700 kV, 2 900 kV

On ne doit utiliser aucune valeur intermédiaire

- c) Dans les tableaux I et II, articles 39 et 42, sont données les combinaisons recommandées entre la tension la plus élevée pour le matériel et le niveau d'isolement. Lorsque, du fait des caractéristiques du réseau ou des méthodes choisies pour contrôler les surtensions de manœuvre ou de foudre, le recours à des combinaisons autres que celles indiquées dans les tableaux I et II se justifie sur les plans technique et économique, les valeurs à choisir doivent être prises dans la série donnée ci-dessus.
- d) Plusieurs niveaux d'isolement peuvent coexister dans un même réseau, correspondant à des installations situées à des emplacements différents du réseau ou à des matériels différents appartenant à une même installation. Une discussion du choix du niveau d'isolement en fonction des conditions particulières de chaque installation sera donnée dans la seconde édition du Guide d'Application.

39 Tableau des niveaux d'isolement normalisés pour la gamme des tensions les plus élevées pour le matériel égales ou supérieures à 300 kV

Le tableau I, page 30, indique les combinaisons recommandées entre la tension la plus élevée pour le matériel et les deux composantes du niveau d'isolement

- la tension nominale de tenue aux chocs de manœuvre
- la tension nominale de tenue aux chocs de foudre

Le tableau a été conçu en admettant que, pour les réseaux utilisant des tensions de cette gamme, les surtensions de manœuvre doivent être considérées en premier lors du choix du niveau d'isolement.

Dans la colonne 3, les valeurs en pour un (p u) des tensions nominales de tenue aux chocs de manœuvre de la colonne 4 sont indiquées afin de faciliter la comparaison avec les valeurs en pour un (p u) des surtensions attendues dans le réseau auquel est destiné le matériel, celles-ci doivent être évidemment toujours inférieures à la valeur en pour un (p u) de la tension de tenue, avec une marge appropriée.

40 Tension de tenue nominale aux chocs de manœuvre

Dans le tableau I, les différentes valeurs des tensions nominales de tenue aux chocs de manœuvre associées à une même valeur de la tension la plus élevée pour le matériel ont été choisies en considérant

- a) Dans le cas d'un matériel protégé contre les surtensions de manœuvre par parafoudres
 - les valeurs attendues des surtensions temporaires,
 - les caractéristiques des parafoudres actuellement disponibles,

CHAPTER II: VOLTAGES EQUAL TO OR GREATER THAN 100 kV

SECTION FOUR — STANDARD INSULATION LEVELS

38 General indications

- a) These Recommendations specify insulation levels associated with standard values of the highest voltage for equipment. These levels are the same whether the statistical or the conventional procedure is adopted, depending on the type of equipment under consideration.
- b) The standard values of rated impulse withstand voltages shall be taken from the following series which is applicable to both switching and lightning impulse voltages

380 kV, 450 kV, 550 kV, 650 kV, 750 kV, 850 kV, 950 kV, 1 050 kV, 1 175 kV, 1 300 kV, 1 425 kV, 1 550 kV, 1 675 kV, 1 800 kV, 1 950 kV, 2 100 kV, 2 250 kV, 2 400 kV, 2 550 kV, 2 700 kV, 2 900 kV

Intervening values shall not be employed

- c) Tables I and II of Clauses 39 and 42 give recommended combinations of highest voltages for equipment and insulation levels. When, due to the design of the system or the methods chosen for the control of switching or lightning overvoltages, combinations other than those given in Tables I and II are technically and economically justifiable, the values shall be selected from the series given above.
- d) Several insulation levels may exist in the same system, appropriate to installations situated in different locations or to various equipments situated in the same installation. A discussion of the selection of the insulation level in relation to the particular conditions of the installation will be given in the second edition of the Application Guide.

39 Table of standard insulation levels for highest voltage for equipment equal to or greater than 300 kV

Table I, page 31, shows the recommended combinations of the highest voltage for equipment and the two components of insulation level

- rated switching impulse withstand voltage
- rated lightning impulse withstand voltage

The table is based on the proposition that, in this range of voltages, switching surges should have first consideration in the selection of insulation levels.

In column 3 the per unit (p u) value of the rated switching impulse withstand voltage of column 4 is indicated for convenience of comparison with per unit (p u) switching overvoltages expected in the system for which the equipment is intended, these per unit (p u) overvoltages must of course always be less than the per unit (p u) withstand voltage by an appropriate margin.

40 Rated switching impulse withstand voltage

In Table I the range of rated switching impulse withstand voltages associated with a particular highest voltage for equipment has been chosen in consideration of the following

- a) For equipment protected against switching surges by surge diverters
 - the expected values of temporary overvoltages,
 - the characteristics of presently available surge diverters,

TABLEAU I

Niveaux d'isolement normalisés pour $U_m \geq 300 \text{ kV}$

1	2	3	4	5	6
Tension la plus élevée pour le matériel U_m (eff)	Base des valeurs en pour un (p u) $U_m \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}}$ (crête)	Tension nominale de tenue aux chocs de manœuvre (crête)		Rapport entre les tensions de tenue aux chocs de foudre et de manœuvre	Tension nominale de tenue aux chocs de foudre (crête)
kV	kV	p u	kV		kV
300	245	3,06	750	1,13	850
		3,47		1,27	950
362	296	2,86	850	1,12	
		3,21		1,24	1 050
420	343	2,76	950	1,11	
		3,06		1,24	1 175
		2,45	1 050	1,12	
525	429	2,74		1,24	1 300
			1 175	1,11	
		2,08	1 300	1,36	1 425
		2,28	1 425	1,21	
765	625	2,48	1 550	1,10	1 550
				1,32	
				1,19	1 800
				1,09	
				1,38	1 950
				1,26	
				1,16	2 100
				1,26	
				1,47	2 400
				1,55	

TABLE I
Standard insulation levels for $U_m \geq 300 \text{ kV}$

1	2	3	4	5	6
Highest voltage for equipment U_m (rms)	Base for p u values $U_m \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}}$ (peak)	Rated switching impulse withstand voltage (peak)		Ratio between rated lightning and switching impulse withstand voltages	Rated lightning impulse withstand voltage (peak)
kV	kV	p u	kV		kV
300	245	3 06	750	1 13	850
				1 27	950
		3 47	850	1 12	
362	296	2 86		1 24	1 050
		3 21	950	1 11	
		2 76		1 24	1 175
420	343			1 12	
		3 06	1 050	1 24	1 300
		2 45		1 11	
525	429			1 36	1 425
		2 74	1 175	1 21	
				1 10	
		2 08	1 300	1 32	1 550
				1 19	
				1 09	
765	625			1 38	1 800
		2 28	1 425	1 26	
				1 16	
		2 48	1 550	1 26	1 950
				1 47	2 100
				1 55	2 400

- les marges considérées généralement comme judicieuses entre le niveau de protection du parafoudre et la tenue du matériel aux chocs de manœuvre
 - b) Dans le cas d'un matériel non protégé contre les surtensions de manœuvre par parafoudre
 - le risque d'amorçage acceptable, compte tenu des valeurs probables des surtensions à l'endroit où est placé le matériel,
 - le degré de contrôle des surtensions généralement estimé économiquement justifiable, obtenu par divers moyens mis en œuvre dans les appareils de coupure ou dans la conception du réseau
- On trouvera dans la seconde édition du Guide d'Application une discussion du choix des tensions nominales de tenue aux chocs de manœuvre

41 Tension de tenue nominale aux chocs de foudre

Les différentes valeurs de la tension nominale de tenue aux chocs de foudre associées dans le tableau I à une même tension nominale de tenue aux chocs de manœuvre ont été choisies d'après les considérations suivantes

- a) Pour les matériels protégés par des parafoudres, les deux plus faibles valeurs sont utilisables. Elles ont été choisies en tenant compte du rapport entre les niveaux de protection aux surtensions de foudre et de manœuvre que l'on peut habituellement réaliser avec les parafoudres, et en ajoutant des marges appropriées, qui peuvent être, en particulier, nécessaires pour tenir compte de l'effet sur le niveau de protection obtenu de la distance entre le parafoudre et le matériel protégé, effet plus grand pour les surtensions de foudre que pour les surtensions de manœuvre
- b) Pour les matériels non protégés par parafoudre (ou non efficacement protégés), seule la valeur la plus élevée des tensions de tenue aux chocs de foudre doit être utilisée. Ces valeurs les plus élevées sont basées sur le rapport naturel entre les tensions de tenue aux chocs de foudre et de manœuvre de l'isolation externe de l'appareillage (par exemple disjoncteurs, sectionneurs, transformateurs de mesure, etc.). Elles ont été choisies pour que le dimensionnement de l'isolation soit principalement déterminé par la capacité de l'isolation externe de supporter les tensions d'essais aux surtensions de manœuvre
- c) Dans certains cas extrêmes, il faut prévoir une valeur plus élevée de la tenue aux chocs de foudre. Cette valeur plus élevée doit être obligatoirement choisie dans la liste des valeurs normalisées donnée à l'article 38b)

42 Tableau des niveaux d'isolement normalisés pour la gamme des tensions les plus élevées pour le matériel comprises entre 100 kV et 300 kV

Le tableau I n'a été établi que pour les appareils dont la tension la plus élevée pour le matériel est égale ou supérieure à 300 kV

Provisoirement, en attendant les résultats d'études en cours, les niveaux d'isolement normalisés correspondant à des tensions les plus élevées pour le matériel comprises entre 100 kV et 300 kV restent ceux de la quatrième édition de la Publication 71 de la CEI, tels qu'ils sont rappelés ci-après dans le tableau II

En l'absence d'essai de tenue aux chocs de manœuvre pour cette classe de matériels, l'essai diélectrique 1 min sous tension à fréquence industrielle continuera à être appliqué. Les câbles souterrains ne font pas partie du domaine d'application de la quatrième édition de la Publication 71 de la CEI

- the margins generally considered advisable between the protection level of the surge diverter and the switching impulse withstand of equipment
- b) For equipment not protected against switching surges by surge diverters
 - the acceptable risk of flashover considering the resultant range of overvoltage occurring at the equipment location,
 - the degree of overvoltage control generally deemed economical, obtained through different expedients, in the switching devices and in the system design

A discussion of the selection of rated switching impulse withstand voltage will be given in the second edition of the Application Guide

41 Rated lightning impulse withstand voltage

The range of rated lightning impulse withstand voltages associated in Table I with a particular rated switching impulse withstand voltage has been chosen in consideration of the following

- a) For equipment protected by surge diverters, the two lower values are applicable. They were chosen taking into account the ratio of lightning impulse protection level to switching impulse protection level likely to be achieved with surge diverters, and with appropriate margins which may be particularly necessary in view of the greater effect of separation between the surge diverters and the protected apparatus on the protection level achievable for lightning impulses as compared with that for switching impulses
- b) For equipment not protected by surge diverters (or not effectively protected) only the highest value of lightning impulse withstand voltages should be used. These highest values are based on the ratio that is normally obtained between the lightning and switching impulse withstand voltages of the external insulation of apparatus (e.g. circuit breakers, disconnecting switches, instrument transformers, etc.). They were chosen in such a way that the insulation design will be determined mainly by the ability of the external insulation to withstand the switching impulse test voltages
- c) In a few extreme cases provision has to be made for a higher value of lightning impulse withstand voltage. This higher value should be chosen from the list of standard values given in Clause 38b)

42 Table of standard insulation levels for highest voltage for equipment between 100 kV and 300 kV

Table I has been confined to apparatus having a highest voltage for equipment equal to or greater than 300 kV

Provisionally, while awaiting the results of studies now being carried out, the standard insulation levels corresponding to highest voltage for equipment between 100 kV and 300 kV remain those of the fourth edition of IEC Publication 71 as shown in Table II

In the absence of a switching impulse withstand test for this class of equipment, the 1 min power-frequency test will continue to apply. Underground cables are not included in the scope of the fourth edition of IEC Publication 71

TABLEAU II

Niveaux d'isolement normalisés pour $100 \text{ kV} \leq U_m < 300 \text{ kV}$

1	2	3	4
Tension la plus élevée pour le matériel U_m (eff)	Base des valeurs en pour un (p u) $U_m \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}}$ (crête)	Tension nominale de tenue aux chocs de foudre	Tension nominale de tenue sous tension à fréquence industrielle
kV	kV	kV	kV
100	81,6	380	150
123	100	450	185
145	118	550	230
170	139	650	275
		750	325
		825 *	360
245	200	900 *	395
		1 050	460

* Il est envisagé dans le stade définitif que les valeurs 825 kV et 900 kV figurant dans ce tableau seront remplacées par les valeurs 850 kV et 950 kV données dans la liste de l'article 38b), dans le but d'assurer un échelonnement plus rationnel des valeurs normalisées. Cependant, il n'est pas envisagé de modifier corrélativement la tension de tenue nominale à fréquence industrielle

SECTION CINQ — CONDITIONS GÉNÉRALES D'ESSAIS

43 Généralités

Cette section indique les conditions dans lesquelles doivent être faits les essais aux chocs de manœuvre et de foudre ainsi que, là où il subsiste, l'essai diélectrique 1 min sous tension à fréquence industrielle. Les conditions pour tous les autres essais à fréquence industrielle (voir article 34) devront être spécifiées par les Comités d'Etudes compétents.

Le but des essais indiqués dans cette section est de vérifier que chaque matériel respecte les tensions nominales de tenue des tableaux I ou II qui déterminent son niveau d'isolement.

Pour chaque type d'essai et chaque type de matériel, le Comité d'Etudes N° 42 de la CEI ou le Comité d'Etudes compétent pour ce matériel doit spécifier les méthodes de détection des ruptures de l'isolation et les critères permettant d'affirmer qu'il y a eu rupture de l'isolation pendant les essais.

Dans toute la mesure du possible, les essais doivent être faits en accord avec les recommandations qui suivent. Des différences mineures sont permises pour tenir compte de caractéristiques spéciales d'un type particulier de matériel, restant entendu que les niveaux d'isolement normalisés ne sont pas modifiés.

TABLE II

Standard insulation levels for $100 \text{ kV} \leq U_m < 300 \text{ kV}$

1	2	3	4
Highest voltage for equipment U_m (r m s)	Base for p u values $U_m \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}}$ (peak)	Rated lightning impulse withstand voltage (peak)	Rated power frequency withstand voltage (r m s)
kV	kV	kV	kV
100	81.6	380	150
123	100	450	185
145	118	550	230
170	139	650	275
		750	325
245	200	825 *	360
		900 *	395
		1 050	460

* It is intended that in the final situation the values 825 and 900 in this table will be changed to the values 850 and 950 given in the list of Clause 38b), to secure a more rational gradation of the values. It is not intended however to modify accordingly the corresponding rated power frequency withstand voltages.

SECTION FIVE — GENERAL TESTING PROCEDURE

43 General

This section sets out the procedures for switching and lightning impulse tests, also, where maintained, the procedure for a 1 min power-frequency withstand test. The procedure for all other tests at power-frequency (see Clause 34) shall be specified by the relevant Apparatus Committees.

The purpose of the tests in this section is to verify that an equipment complies with the rated withstand voltages in Tables I and II that determine its insulation level.

For each type of test and each type of equipment, IEC Technical Committee No. 42 or the appropriate Apparatus Committee shall specify the methods of detecting insulation failures and the criteria of failure of the insulation during the tests.

So far as is practicable, the tests shall be made in accordance with the following recommendations. Minor deviations are permissible in keeping with the special characteristics of a particular type of equipment, provided that the standard insulation levels are not modified.

44 Essais de chocs (impulsions) de manœuvre ou de foudre

Les tensions d'essais aux chocs de manœuvre et de foudre doivent être spécifiées comme la valeur de crête escomptée des impulsions de forme normalisée, de polarités positive et négative. Dans le cas des isolations externes, ces tensions correspondent aux conditions atmosphériques normales, et, pour les essais sous pluie, aux conditions de pluie normalisées de la Publication 60 de la CEI Techniques des essais à haute tension.

La tension de choc de foudre normalisée a une durée de front de 1,2 μ s et une durée de demi-amplitude de 50 μ s, selon les spécifications de la Publication 60 de la CEI.

La tension de choc de manœuvre normalisée a une durée de front jusqu'à la crête de 250 μ s et une durée de demi-amplitude de 2 500 μ s, selon les spécifications de la Publication 60 de la CEI. Les Comités d'Etudes peuvent spécifier des formes de tensions d'essais différentes, lorsqu'il est démontré que cela est nécessaire pour obtenir la tension de tenue la plus faible pour un appareil particulier, ou lorsque la forme d'onde normalisée ne peut pas être obtenue avec les équipements d'essais actuellement disponibles.

Les recommandations ci-après portent sur trois types d'essais de choc : les essais statistiques définis à l'article 36 sont décrits plus en détail aux articles 45 et 46 et les essais conventionnels définis à l'article 37 sont décrits à l'article 47. Le choix à faire pour un matériel particulier relève du Comité d'Etudes compétent, en tenant compte des indications générales données dans la présente recommandation.

45 Essai de décharge disruptive 50%

- a) Cet essai est effectué à des tensions de choc supérieures à la tension nominale de tenue aux chocs avec une méthode et un nombre de chocs tels que la tension de décharge 50% soit déterminée avec une précision acceptable.

On peut alors en conclure avec un haut niveau de sûreté que, comme prescrit, la tension de tenue statistique de l'isolation n'est pas inférieure à la tension de tenue nominale. Du fait que de nombreuses décharges disruptives sont nécessaires, cet essai ne peut s'appliquer qu'aux isolations essentiellement autorégénératrices (voir avant-dernier alinéa de l'article 36).

Note — Il existe plusieurs méthodes possibles, et l'une quelconque peut être utilisée à condition que la précision obtenue soit meilleure qu'un demi-écart type avec un degré de confiance de 95%.

- b) Les essais de décharge disruptive 50% sous chocs de manœuvre et de foudre sont des essais de type
- c) Les essais de décharge disruptive 50% sous chocs de manœuvre doivent être faits à sec pour les matériels d'intérieur et à sec et sous pluie pour les matériels d'extérieur. Pour ces derniers, cependant, si l'on sait lequel des essais à sec ou sous pluie donne la tension disruptive la plus faible, il suffit de faire cet essai.
- d) Les essais de décharge disruptive 50% sous chocs de foudre doivent être faits à sec aussi bien pour le matériel d'extérieur que pour le matériel d'intérieur.
- e) Les matériels doivent être essayés par application de chocs de manœuvre et de foudre, de polarités positive et négative, sauf si la polarité qui donne la tension de décharge disruptive la plus basse est connue avec certitude, et dans ce cas il suffit de faire les essais avec cette polarité.
- f) La tension de décharge disruptive 50%, déterminée dans les conditions énumérées ci-dessus et en accord avec les recommandations de la Publication 60 de la CEI, ne doit pas être inférieure à $1/(1 - 1,3 \sigma)^*$ fois la tension de tenue nominale correspondante, σ étant l'écart type relatif de

* Cette valeur de la tension de décharge disruptive correspond pour la tension de tenue nominale à la probabilité de tenue de référence (90%) dans une distribution gaussienne.

44 Switching and lightning impulse withstand tests

The switching and lightning impulse test voltages shall be expressed by the prospective peak value of the standard impulses of positive and negative polarities. In the case of external insulation reference is made to standard atmospheric conditions and, for wet tests, to rain standardized in IEC Publication 60, High-voltage Test Techniques.

The standard lightning impulse has a front time of $1.2 \mu\text{s}$ and a time-to-half-value of $50 \mu\text{s}$ as specified in IEC Publication 60.

The standard switching impulse has a time-to-peak of $250 \mu\text{s}$ and a time-to-half-value of $2.500 \mu\text{s}$ as specified in IEC Publication 60. The Apparatus Committees may specify a different test impulse shape where it is shown that this is necessary to establish the lowest withstand of a particular apparatus, or where the standard impulse shape cannot be achieved with presently available test equipment.

In what follows, three types of impulse test are recommended: the statistical tests referred to in Clause 36 being detailed in Clauses 45 and 46 and the conventional test referred to in Clause 37 being detailed in Clause 47. The choice for application to particular apparatus is a matter for the Apparatus Committees to decide upon within the general guide lines set forth in this Recommendation.

45 50% disruptive discharge test

- a) This test is made at voltages above the rated impulse withstand voltage, using a procedure and a number of impulses which will establish the 50% disruptive discharge voltage of the insulation with acceptable accuracy. From this, it can be demonstrated with a high degree of assurance that the statistical withstand voltage is, as required, not less than the rated impulse withstand voltage. Because many disruptive discharges are required this test is only suitable for essentially self-restoring insulation (see last but one paragraph in Clause 36).

Note — There are a number of procedures available, and any of these may be used providing that the accuracy of the determination is within one half of the standard deviation with a confidence level of 95%.

- b) Switching and lightning 50% disruptive discharge tests shall be made as type tests.
- c) Switching 50% disruptive discharge tests shall be made with the equipment dry for indoor equipment, wet tests and dry tests shall be made for outdoor equipment. For the latter, however, where it is known which condition, wet or dry gives the lower disruptive voltage, it is sufficient to test with that condition.
- d) Lightning 50% disruptive discharge tests shall be made with the equipment dry, for both indoor and outdoor equipments.
- e) The equipment shall be tested by applying standard switching and lightning impulses of positive and negative polarities, except where it is known which polarity will give the lower disruptive discharge voltage, in which case it is sufficient to test with that polarity.
- f) The 50% disruptive discharge voltage for any of the above conditions, determined in accordance with IEC Publication 60, shall not be less than $1/(1 - 1.3\sigma)^*$ times the rated impulse withstand voltage, where σ is the relative standard deviation of the disruptive discharge voltage. Unless

* This value of the 50% disruptive voltage corresponds for the rated impulse voltage to the reference withstand probability (90%) in a distribution following the Gaussian law.

la loi de probabilité de la tension de décharge disruptive. En l'absence de recommandations différentes par le Comité d'Etudes compétent, on peut adopter les valeurs suivantes pour les isolations dans l'air

- essais sous chocs de manœuvre $\sigma = 6\%$
- essais sous chocs de foudre $\sigma = 3\%$

46 Essai de tenue sous 15 chocs

- a) L'essai est réalisé en appliquant 15 chocs de forme normalisée à la tension de tenue nominale. Si le nombre de décharges dans l'isolation autorégénératrice du matériel ne dépasse pas deux, et si aucune décharge n'a lieu dans l'isolation dans les parties non autorégénératrices, l'isolation du matériel est considérée comme ayant passé l'essai avec succès. Cet essai démontre que la tension de tenue statistique réelle de l'isolation autorégénératrice du matériel n'est pas inférieure à la tension de tenue nominale, mais avec un degré de sûreté considérablement inférieur à celui que permet d'obtenir l'essai de décharge disruptive 50%. La validité de tels essais sera discutée dans la seconde édition du Guide d'Application.
- b) Les essais sous chocs de manœuvre ou de foudre sont des essais de type.
- c) Les essais sous chocs de manœuvre doivent être faits à sec pour les matériels d'intérieur et à sec et sous pluie pour les matériels d'extérieur. Pour ces derniers, cependant, si l'on sait quelle condition, à sec ou sous pluie, donne la tension disruptive la plus basse, il suffit de faire l'essai dans cette condition.
- d) Les essais sous chocs de foudre doivent être faits à sec pour les matériels d'intérieur et d'extérieur.
- e) Le matériel doit être essayé par application de chocs de manœuvre ou de foudre de forme normalisée de polarité positive ou négative ou des deux polarités. La polarité ou les polarités à utiliser doivent être spécifiées par le Comité Technique compétent pour le matériel considéré.

47 Essai de tenue conventionnel

- a) Cet essai, ainsi désigné parce qu'il est associé à la procédure conventionnelle de coordination de l'isolement, prévoit un nombre restreint de chocs de façon à éviter les dommages possibles de l'isolation non autorégénératrice. Il convient à l'appareillage dans lequel ce type d'isolation prédomine, conformément à l'article 37.
- b) Les tensions de tenue conventionnelles sont vérifiées par des essais de tenue aux chocs de manœuvre et de foudre pour lesquels la tension appliquée doit être égale à la tension de tenue nominale en question.
- c) Les chocs de manœuvre et de foudre doivent être de forme normalisée et de polarité positive ou négative, ou des deux polarités. La ou les polarités à utiliser doivent être spécifiées par le Comité d'Etudes compétent pour le matériel considéré.
- d) A moins que ce Comité d'Etudes compétent pour le matériel considéré en ait décidé autrement, l'essai de tenue est réalisé par application de trois chocs pour chaque polarité prescrite. L'essai est considéré comme satisfaisant si l'on ne décèle aucun défaut en utilisant les méthodes de détection définies par le Comité d'Etudes compétent pour le matériel considéré ou par le Comité d'Etudes N° 42 de la CEI.
- e) Les essais sous chocs de manœuvre et de foudre doivent être faits comme essais de type. Ils peuvent aussi être spécifiés comme essais individuels par le Comité d'Etudes compétent pour le matériel considéré.
- f) Si un essai supplémentaire de tenue sous chocs de foudre à front coupé est considéré comme nécessaire pour essayer l'isolation entre spires des transformateurs et réactances, les spécifications de cet essai doivent être données par le Comité d'Etudes compétent pour ces matériels.

otherwise recommended by the relevant Apparatus Committee, the following values will be assumed for air insulation

- switching impulse tests $\sigma = 6\%$
- lightning impulse tests $\sigma = 3\%$

46 15 impulses withstand test

- a) The test is made at the rated withstand voltage with 15 impulses of standard shape. If the number of disruptive discharges in the self-restoring insulation does not exceed two and if no disruptive discharge occurs in the non-self-restoring insulation of the equipment, the insulation of the equipment shall be considered to have passed the test successfully.

This test demonstrates that the true statistical withstand voltage of the self-restoring insulation of the equipment is not less than the nominal withstand voltage, but with a degree of assurance considerably lower than that which the 50% disruptive discharge test allows.

The validity of such tests will be discussed in the second edition of the Application Guide.

- b) Switching and lightning impulse tests shall be made as type tests.
- c) Switching impulse tests shall be made with the equipment dry for indoor equipment. Wet and dry tests shall be made for outdoor equipment. For the latter, however, where it is known which condition, wet or dry, gives the lower disruptive discharge voltage, it is sufficient to test with that condition.
- d) Lightning impulse tests shall be made with the equipment dry, for both indoor and outdoor equipments.
- e) The equipment shall be tested by applying switching and lightning impulses of the standard shapes of positive and/or negative polarity. The polarity or polarities to be used shall be specified by the appropriate Apparatus Committee.

47 Conventional impulse withstand test

- a) This test, so called because it applies to the conventional procedure of insulation co-ordination, restricts the number of impulses in order to avoid possible damage to non-self-restoring insulation. It is considered suitable for apparatus in which this aspect predominates, in accordance with Clause 37.
- b) The conventional switching and lightning impulse withstand voltages are verified by means of switching and lightning impulse withstand tests in which the test voltage applied shall be equal to the rated impulse withstand voltage in question.
- c) Switching and lightning impulses shall be of the standard shapes and of positive or negative polarity or both. The polarity or polarities to be used shall be specified by the relevant Apparatus Committee.
- d) If not otherwise specified by the relevant Apparatus Committee, the withstand test shall be performed by applying three impulses for each polarity required. The requirements of the tests shall be satisfied if no indication of failure is found, using the methods of detection specified by the relevant Apparatus Committee or IEC Technical Committee No. 42.
- e) Switching and lightning impulse withstand tests shall be made as type tests. They may also be specified as routine tests by the relevant Apparatus Committee.
- f) If an additional chopped-wave lightning impulse withstand test is considered for transformers and reactors the specification for such tests shall be laid down by the relevant Apparatus Committee.

48 Essais de tenue diélectrique de courte durée à fréquence industrielle

- a) La tension de l'essai 1 min sous tension à fréquence industrielle s'entend comme la valeur efficace de la tension qui doit être tenue par l'isolation pendant 1 min. Si la tension appliquée n'est pas sinusoïdale, sa valeur de crête divisée par $\sqrt{2}$ est considérée être la tension d'essai.
- b) L'essai à sec de tenue diélectrique à fréquence industrielle est un essai individuel, sauf s'il en est spécifié autrement par le Comité d'Etudes compétent pour le matériel en essai.
- c) L'essai sous pluie de tenue diélectrique à fréquence industrielle par rapport à la masse, applicable aux isolations externes pour matériels d'extérieur, est un essai de type.

Note — Par « essai diélectrique de courte durée à fréquence industrielle », il faut entendre aussi les essais diélectriques à fréquence surélevée pouvant atteindre quelques centaines de hertz et de durée inférieure à une minute, tels que les essais par tension induite des transformateurs à isolement gradué (voir Publication 76 de la CEI: Transformateurs de puissance).

Withdrawing
IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60071:1972

48 Short duration power-frequency voltage withstand test

- a) The 1 min power-frequency test voltage is specified as the r.m.s. value of the voltage which the insulation shall be capable of withstanding for 1 min. If the test voltage is non-sinusoidal, the peak value divided by $\sqrt{2}$ is deemed to be the test voltage.
- b) The dry power-frequency withstand test shall be made as a routine test, except where otherwise specified by the relevant Apparatus Committee.
- c) The wet power-frequency withstand test with respect to earth which applies to external outdoor insulation shall be made as a type test.

Note — Short duration power-frequency tests include tests at frequencies up to a few hundred hertz and of shorter duration than 1 min for induced voltage tests on transformers with graded insulation (see IEC Publication 76, Power Transformers).

Withd 2011
IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60071:1972

ANNEXE A

MÉTHODES CONVENTIONNELLES ET STATISTIQUES POUR LA COORDINATION DE L'ISOLEMENT

1 Avant-propos

Cette annexe a pour but d'aider à la compréhension et à l'application des concepts nouveaux contenus dans la présente recommandation

Ultérieurement, les informations données à titre provisoire dans cette annexe pourront être retrouvées dans la seconde édition du Guide d'Application (Publication 71A de la CEI) avec des informations complémentaires

Du fait que l'on a introduit dans la présente recommandation des concepts relativement nouveaux et une terminologie dont l'utilisation n'est pas encore largement répandue, il est apparu nécessaire d'indiquer rapidement les différences principales entre les méthodes d'approche conventionnelles (non statistiques) et les méthodes statistiques utilisées pour traiter des surtensions de manœuvre et de foudre dans la coordination de l'isolement

2 Méthodes conventionnelles

Les méthodes conventionnelles sont basées sur les notions admises d'une «surtension maximale» imposée à l'isolation (voir article 21), et d'une tension de tenue (voir article 24) qui est supposée déterminer la « tenue minimale » de cette isolation

En conséquence, l'isolation est choisie de manière à s'assurer d'une « marge suffisante » entre la surtension maximale et la tenue minimale. Cette marge est supposée couvrir les incertitudes dans l'évaluation initiale de la surtension maximale et dans la détermination de la tenue minimale, on n'essaie pas d'évaluer quantitativement le risque de claquage de l'isolation

3 Méthodes statistiques

La fixation de la «surtension maximale» et de la «tenue minimale» est toujours assez arbitraire, puisqu'il est rare que l'on puisse suivre une règle rigoureuse permettant d'évaluer les limites respectivement supérieure et inférieure des valeurs des surtensions et des valeurs de la tension d'amorçage de l'isolation, grandeurs qui sont l'une et l'autre fondamentalement aléatoires

Les méthodes statistiques reconnaissent que des claquages de l'isolation peuvent se produire et elles cherchent à évaluer quantitativement le risque de claquage pour s'en servir comme indice de la sécurité dans le calcul de l'isolation. Lorsque les distributions statistiques des surtensions et de la tenue diélectrique de l'isolation sont connues, ce risque de claquage peut en être déduit numériquement, comme on le montre ci-dessous

Le problème consiste à déterminer la probabilité que l'ensemble des surtensions provoquées par un certain type d'événements amorce des décharges disruptives dans une isolation donnée. La surtension appliquée et la tension de claquage de l'isolation sont toutes deux des grandeurs aléatoires

Soit $p_0(U) dU$ la probabilité d'apparition d'une surtension de valeur de crête comprise entre U et $U + dU$, p_0 est dite densité de distribution de la probabilité d'une surtension de valeur U (figure 1a, page 52)

Pour obtenir la probabilité de décharge disruptive due aux surtensions de valeurs comprises entre U et $U + dU$, leur probabilité d'apparition $p_0(U) dU$ doit être multipliée par la probabilité $P_a(U)$ qu'une tension de choc du même type et de valeur U produise une décharge disruptive (figure 2, page 54). La probabilité résultante, ou risque de claquage pour les surtensions de valeurs comprises entre U et $U + dU$ est donc

$$dR = P_a(U) p_0(U) dU$$

APPENDIX A

CONVENTIONAL AND STATISTICAL METHODS IN INSULATION CO-ORDINATION

1 Foreword

This appendix is intended to assist in the understanding and application of the new concepts contained in this Recommendation

In due course, the information given provisionally in this appendix will be found, with additional information, in a second edition of the Application Guide (IEC Publication 71A)

Since relatively new concepts and a terminology not yet widely used, have been introduced in the present Recommendation, it is necessary to state briefly the main differences in approach between conventional (non statistical) methods and statistical methods in dealing with switching and lightning overvoltages in insulation co-ordination

2 Conventional methods

Conventional methods are based upon the established concepts of “maximum overvoltages” stressing insulation (see Clause 21) and of an impulse withstand voltage (see Clause 24) considered as assigning a “minimum strength” of the insulation

Accordingly insulation is selected in such a way as to achieve a “sufficient margin” between the maximum overvoltage and the minimum strength. This margin is intended to cover the uncertainties of the designer in the evaluation of the maximum overvoltage and the determination of the minimum strength, and no endeavour is made to assess quantitatively the risk that insulation may break down

3 Statistical methods

The statement of the “maximum overvoltage” and of the “minimum strength” is always rather arbitrary, since a rigorous rule can seldom be followed in the evaluation of the respectively upper and lower limits of the overvoltage value and the insulation discharge voltage, which are intrinsically random variables

Statistical methods acknowledge the fact that insulation discharges may occur, and attempt to quantify the risk of failure for use as a safety index in insulation design. If the frequency distributions of overvoltages and insulation strength are known, the risk of failure can be expressed numerically, as will be shown below

The problem is to determine the probability for all the overvoltages due to a given type of event to produce disruptive discharges on a given insulation. Both applied overvoltages and insulation discharge voltage are random quantities

Let $p_0(U) dU$ be the probability of occurrence of the overvoltages having a peak value between U and $U + dU$. p_0 is the probability density of an overvoltage U (Figure 1a page 53)

To obtain the probability of disruptive discharges due to these overvoltages having a value between U and dU their probability of occurrence $p_0(U) dU$ must be multiplied by the probability $P_d(U)$ that an impulse of the given type and of value U will produce a discharge (Figure 2, page 55). The resultant probability, or risk of failure for overvoltages between U and $U + dU$, is thus

$$dR = P_d(U) p_0(U) dU$$

Le risque global de claquage pour l'ensemble de la famille de surtensions aléatoires dues au type d'événements considéré est obtenu en intégrant l'expression ci-dessus dans toutes les valeurs de U

$$R = \int_0^{\infty} P_d(U) p_0(U) dU$$

Cette expression met en évidence le processus général grâce auquel la probabilité de claquage peut être déterminée. Elle suppose que $p_0(U)$ et $P_d(U)$ ne sont pas corrélés. Dans certains cas, il est nécessaire d'utiliser des expressions plus complexes.

La formule ci-dessus peut aussi être utilisée pour déterminer la probabilité de claquage d'une isolation protégée, soit en prenant pour $P_d(U)$ la probabilité de claquage de l'isolation en présence de l'appareil de protection, soit encore en prenant pour $p_0(U)$ la densité de probabilité des surtensions telles qu'elles sont modifiées par l'appareil de protection.

D'après les méthodes statistiques, l'isolation est choisie de façon à obtenir une probabilité calculée de claquage inférieure ou égale à une valeur fixée à l'avance et qui caractérise le niveau de sécurité exigé. Dans la figure 1c, page 52, un changement du niveau d'isolement déplace par une translation parallèle à l'axe des U la courbe représentative de la probabilité de claquage de l'isolation $P_d(U)$, ce qui modifie la surface hachurée qui représente la probabilité de claquage R pour l'ensemble des surtensions aléatoires considérées.

Les méthodes statistiques peuvent nécessiter une série de tentatives successives de fixation du niveau d'isolement et d'évaluation du risque correspondant, jusqu'à ce que le résultat corresponde au risque qu'on s'est fixé.

4 Méthodes statistiques simplifiées

L'application de la méthode statistique rigoureuse à l'étude de l'isolation est souvent laborieuse. Une part importante du travail peut cependant être faite une fois pour toutes lorsque les formes des distributions statistiques des surtensions et des tensions de tenue sont connues.

Alors, comme indiqué au deuxième alinéa de l'article 36, les courbes complètes de distribution peuvent être définies par un seul point de chacune d'elles, point correspondant à une probabilité de référence donnée et dont l'abscisse est appelée, dans cette recommandation, surtension statistique (article 26) ou tension de tenue statistique (article 21). Une corrélation existe entre le risque de claquage et la marge à adopter entre ces deux valeurs, si bien que cette méthode devient assez semblable à la méthode conventionnelle.

La figure 2, page 54, donne une explication graphique de la méthode. La figure 2a représente les distributions statistiques de la surtension et de la tenue diélectrique, la surtension statistique y est indiquée par U_0 et la tension de tenue statistique par U_w . Dans la figure 2b, les courbes de distribution de la surtension et de la tension de tenue sont disposées de façon que le facteur de sécurité statistique γ entre U_0 et U_w prenne respectivement les valeurs 1,0, 1,2 et 1,4. La corrélation entre le facteur de sécurité statistique et le risque de claquage est donnée dans la figure 2c.

La probabilité de référence de la tenue diélectrique de l'isolation est fixée à 90% dans la définition 21 de la présente publication. Les probabilités de référence convenant pour divers types de surtensions seront données dans le Guide d'Application, ainsi que des indications sur les calculs de marge avec des hypothèses variées sur les distributions statistiques, et les corrélations entre le facteur de sécurité statistique et le risque de claquage pour différentes lois représentatives de $p_0(U)$ et de $P_d(U)$.

5 Exemples d'application

Le tableau III donne deux exemples d'application de la *méthode conventionnelle*. Il s'agit de transformateurs à 420 kV ou 765 kV protégés à la fois contre les surtensions de manœuvre et les surtensions de foudre par des parafoudres placés à leurs bornes.

The total risk of failure for the random family of overvoltages due to the considered type of event is obtained by integrating the above expression for all values of U

$$R = \int_0^{\infty} P_d(U) p_o(U) dU$$

This expression shows the general principle of the method by which the probability of failure may be assessed. It assumes that $p_o(U)$ and $P_d(U)$ are uncorrelated. In some instances, more complex expressions are necessary.

The above formula can also be applied to determine the probability of failure of a protected insulation either if $P_d(U)$ is taken as the probability of discharge of the insulation in the presence of the protective device, or $p_o(U)$ is taken as the probability density of overvoltages as modified by the protective device.

According to the statistical methods, insulation is selected in such a way as to obtain a calculated probability of failure lower than, or equal to, a pre-established value that characterizes the required safety level. Referring to Figure 1c, page 53, a change in the insulation level shifts the curve representing the probability of discharge of the insulation $P_d(U)$ along the U axis with a consequent modification of the shaded area which represents the probability of failure R for U at random.

The statistical approach may need successive series of tentative designs and evaluations of risk, until the design that satisfies the risk pre-requisites is found.

4 Simplified statistical methods

The application of rigorous statistical methods to insulation design is often laborious. A large part of the work can however be made once and for all when the shapes of the statistical distribution of overvoltages and withstand voltages are assumed to be known.

Then, as indicated in Clause 36, paragraph 2, those complete distributions can be defined by only one point on each, which corresponds to a given reference probability, and are called in this Recommendation statistical overvoltage (Clause 26) and statistical withstand voltage (Clause 21). The risk of failure can be correlated with the margin between these two values, so that the approach becomes rather similar with that in the conventional method.

Figure 2, page 55 gives a graphical explanation of the method. Figure 2a shows frequency distributions of overvoltages and insulation strength, where the statistical overvoltage is indicated by U_o and the statistical withstand voltage by U_w . In Figure 2b, the overvoltage distribution and the electric strength distribution are so arranged that the statistical safety factor γ between U_o and U_w assumes successively the values 1.0, 1.2 and 1.4. The correlation between statistical safety factor and risk of failure is given in Figure 2c.

The reference probability of the insulation strength is established as 90% in the definition 21 of the present publication. The reference probabilities appropriate for the various types of overvoltages will be considered in the Application Guide, as well as indications on the calculation of margins with various assumptions on the statistical distributions, and the correlations between statistical safety factor and risk of failure for various laws defining $p_o(U)$ and $P_d(U)$.

5 Examples of application

Table III gives two examples of the application of the *conventional design method*. The case dealt with is that of 420 kV or 765 kV transformers protected against both switching and lightning overvoltages by surge diverters mounted at their terminals.

Le niveau d'isolement des transformateurs dépendra du niveau de protection des parafoudres aux impulsions de manœuvre et de foudre. Le niveau de protection d'un parafoudre déterminé dépend à son tour des caractéristiques et de la tension nominale du parafoudre ¹⁾

La tension nominale des parafoudres est choisie dans les deux exemples comme la tension nominale normalisée immédiatement supérieure à la surtension temporaire déterminante attendue dans le réseau.

Les surtensions temporaires comprennent les montées de tension au cours des défauts, les surtensions dues aux appels instantanés de courant, aux pertes de charges soudaines et à d'autres causes. La surtension déterminante est fonction du facteur de défaut à la terre, de la configuration du réseau, des caractéristiques des matériels et du mode d'exploitation.

Les réseaux doivent être étudiés individuellement pour déterminer la valeur maximale à retenir pour cette surtension temporaire.

Le tableau IV donne deux exemples d'application de la *méthode statistique simplifiée*. Il s'agit de l'isolation entre phase et terre de sectionneurs à 420 kV ou 765 kV, côté ligne du disjoncteur, aucun parafoudre n'étant installé sur l'arrivée de la ligne.

Dans les deux exemples, il a été admis que les seules surtensions de manœuvre critiques sont celles dues au réenclenchement de la ligne.

Comme il a déjà été dit, la détermination de la probabilité de référence des surtensions et les corrélations entre le facteur de sécurité statistique et le risque de claquage seront traitées dans le Guide d'Application.

Pour illustrer la méthode, on a pris la probabilité de référence des surtensions égale à 2% et la corrélation entre facteur de sécurité statistique et risque de claquage qui correspond aux courbes de la figure 3, page 56 ²⁾

La tension nominale de tenue aux chocs de manœuvre est choisie d'abord dans le tableau I à partir du niveau de la surtension statistique de manœuvre à l'emplacement prévu pour le matériel, et du facteur de sécurité statistique correspondant à un risque de claquage acceptable. Cela, comme indiqué plus haut, peut nécessiter plusieurs tentatives.

Une fois cette tension de tenue aux chocs de manœuvre obtenue, une tension de tenue nominale aux chocs de foudre correspondante est choisie dans le tableau I en considérant que seule la plus élevée des valeurs correspondantes peut être utilisée pour les appareils non protégés par parafoudre (voir section quatre, article 41).

Il est nécessaire de vérifier que cette valeur garantit un fonctionnement satisfaisant sous surtensions de foudre, c'est-à-dire un risque de claquage non supérieur à celui admissible. Ceci peut être fait par une méthode similaire à celle utilisée pour les surtensions de manœuvre. Si une tension de tenue nominale plus élevée que celle déterminée d'après le tableau I est jugée désirable, cette valeur sera choisie dans la série de l'article 38b).

1) Voir Publication 99-1A de la CEI.

2) Les corrélations entre facteur de sécurité et risque de claquage données dans la figure 3 pour l'isolation à la terre d'un sectionneur ont été évaluées sur la base des hypothèses suivantes :

- la distribution des surtensions de réenclenchement obéit à une loi de Gauss avec une valeur de la surtension statistique $U_0 = 2,7 p.u.$ et un écart type $\sigma = 0,05$ pour le réseau à 420 kV, avec $U_0 = 2,0 p.u.$ et $\sigma = 0,03$ pour le réseau à 765 kV.
Ces distributions gaussiennes peuvent être considérées comme une bonne approximation des distributions réelles des surtensions autour de la valeur U_0
- la distribution de la tenue diélectrique de l'isolation phase-terre de l'interrupteur dans les conditions de service obéit à une loi de Gauss avec un écart type de 0,08 autour de la valeur disruptive 50%. La valeur de σ est choisie plus élevée que celle donnée à l'article 45f) pour tenir compte d'une plus grande dispersion de la tenue de l'isolation dans l'air en service sur le réseau, comparée à la dispersion obtenue en laboratoire
- la tension disruptive 50% est égale à la tension de tenue nominale multipliée par $1/(1 - 1,3 \sigma)$ (voir article 45f))