

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

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

RECOMMANDATION DE LA C.E.I.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

(affiliated to the International Organization for Standardization — ISO)

I.E.C. RECOMMENDATION

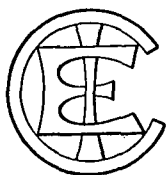
Publication 137

Première édition — First edition

1962

Traversées isolées pour tensions alternatives supérieures à 1000 V

Bushings for alternating voltages above 1000 V



Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale

1, rue de Varembe

Genève, Suisse

IEC NORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60137:1962

Withdawn

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

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

RECOMMANDATION DE LA C.E.I.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

(affiliated to the International Organization for Standardization — ISO)

I.E.C. RECOMMENDATION

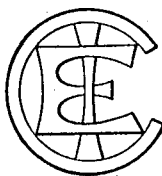
Publication 137

Première édition — First edition

1962

Traversées isolées pour tensions alternatives supérieures à 1000 V

Bushings for alternating voltages above 1000 V



Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale

1, rue de Varembe

Genève, Suisse

SOMMAIRE

	Pages
PRÉAMBULE	4
PRÉFACE	4
Articles	
CHAPITRE I — GÉNÉRALITÉS	
1. Domaine d'application	8
2. Conditions d'emploi	8
3. Objet	10
4. Terminologie	10
CHAPITRE II — CARACTÉRISTIQUES DÉFINISSANT LES CONDITIONS D'ÉTABLISSEMENT DES TRAVERSÉES ISOLÉES	
5. Énumération des caractéristiques	16
6. Adaptation à l'usage	16
7. Installation en situation exposée et non exposée	18
8. Nature du réseau	18
9. Tension nominale	20
10. Tension «pôle-terre»	20
11. Valeurs normalisées des tensions nominales	20
12. Courant nominal	22
13. Valeurs normalisées des courants nominaux	22
14. Fréquence nominale	22
CHAPITRE III — CONDITIONS AUXQUELLES DOIVENT SATISFAIRE LES TRAVERSÉES ISOLÉES	
SECTION A — LIMITES DE TEMPÉRATURE	
15. Limites de température et d'échauffement	24
16. Epreuve d'échauffement	24
SECTION B — QUALITÉS DIÉLECTRIQUES	
17. Énumération des épreuves diélectriques	26
18. État des traversées lors des épreuves diélectriques	26
19. Vérification de la tenue sous tension à fréquence industrielle à sec et sous pluie pendant une minute ..	28
20. Vérification de la tenue sous tension à fréquence industrielle à sec pendant une courte durée	36
21. Vérification de la tenue aux ondes de choc à sec	36
22. Mesure des pertes diélectriques à froid	42
23. Vérification de la stabilisation des pertes diélectriques à chaud	42
SECTION C — ETANCHÉITÉ	
24. Types de traversées étanches	44
25. Epreuve d'étanchéité	44
CHAPITRE IV — INDICATIONS À PORTER SUR LES TRAVERSÉES ISOLÉES	
26. Marques d'identification	46

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
PREFACE	5

Clause

CHAPTER I — GENERAL

1. Scope	9
2. Operating conditions	9
3. Object	11
4. Nomenclature	11

CHAPTER II — CHARACTERISTICS ON WHICH THE DESIGN OF BUSHINGS IS BASED

5. Enumeration of characteristics	17
6. Suitability for purpose	17
7. Exposed and non-exposed installations	19
8. System conditions	19
9. Rated voltage	21
10. Line-earth voltage	21
11. Standard values of rated voltage	21
12. Rated current	23
13. Standard values of rated current	23
14. Rated frequency	23

CHAPTER III — CONDITIONS WITH WHICH BUSHINGS MUST COMPLY

SECTION A—TEMPERATURE LIMITS

15. Limits of temperature and temperature rise	25
16. Temperature-rise test	25

SECTION B—DIELECTRIC PROPERTIES

17. Enumeration of dielectric tests	27
18. Condition of the bushings when dielectric tests are made	27
19. One-minute power-frequency withstand voltage test when dry and when wet	29
20. The dry short-duration power-frequency withstand voltage test	37
21. The dry impulse withstand voltage test	37
22. Measurement of the dielectric losses when cold	43
23. Determination of the thermal stability of the dielectric when hot	43

SECTION C—EFFICIENCY OF SEAL

24. Types of sealed bushings	45
25. Test for the efficiency of the seal	45

CHAPTER IV — MARKINGS

26. Markings	47
--------------------	----

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**TRAVERSÉES ISOLÉES POUR TENSIONS ALTERNATIVES
SUPÉRIEURES À 1 000 V**

PRÉAMBULE

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

PRÉFACE

La présente recommandation a été établie par le Sous-Comité 36A: Traversées isolées, du Comité d'Etudes N° 36: Isolateurs.

Des projets relatifs à cette recommandation furent discutés lors de réunions tenues à Paris en 1952, à Nice en 1953 et à Londres en 1955. A la suite de cette dernière réunion, un projet fut soumis à l'approbation des Comités nationaux suivant la Règle des Six Mois en février 1956. En raison du caractère des observations reçues de certains Comités nationaux, une nouvelle réunion fut convoquée à Moscou en 1957 et plusieurs modifications furent acceptées pour diffusion suivant la Procédure des Deux Mois. Un certain retard advint dans la rédaction de ces modifications du fait que la recommandation de la C.E.I. pour la coordination de l'isolement était en révision et que l'on désirait tenir compte de la version révisée de cette recommandation.

Les projets de modifications furent soumis à l'approbation des Comités nationaux en avril 1959.

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

Autriche
Belgique
Danemark
Etats-Unis d'Amérique
Finlande
France
Italie
Japon

Norvège
Pays-Bas
Roumanie
Royaume-Uni
Tchécoslovaquie
Turquie
Union des Républiques Socialistes Soviétiques
Yougoslavie

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**BUSHINGS FOR ALTERNATING VOLTAGES
ABOVE 1000 V**

FOREWORD

- 1) The formal decisions or agreements of the I.E.C. on technical matters, prepared by Technical Committees on which all the National Committees having a special interest therein are represented, express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the subjects dealt with.
- 2) They have the form of recommendations for international use and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 3) In order to promote this international unification, the I.E.C. expresses the wish that all National Committees having as yet no national rules, when preparing such rules, should use the I.E.C. recommendations as the fundamental basis for these rules 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 was prepared by Sub-Committee 36A, Bushings, of Technical Committee No. 36, Insulators.

Drafts were discussed at meetings held at Paris in 1952, at Nice in 1953 and at London in 1955. As the result of this latter meeting, a draft was submitted to the National Committees for approval under the Six Months' Rule in February 1956. In view of the comments received from certain National Committees, a further meeting was held in Moscow in 1957, and a number of amendments to the draft were decided upon for submission under the Two Months' Procedure. The work of drafting these amendments was delayed by the fact that the I.E.C. recommendation on insulation co-ordination was under revision and it was desired to take the revised version into account.

The draft amendments were submitted to the National Committees for approval in April 1959.

The following countries voted explicitly in favour of publication:

Austria	Netherlands
Belgium	Norway
Czechoslovakia	Romania
Denmark	Turkey
Finland	United Kingdom
France	United States of America
Italy	Union of Soviet Socialist Republics
Japan	Yugoslavia

Le Comité National Suédois a voté contre la publication car il n'était pas en mesure d'accepter la méthode recommandée à l'article 23 au sujet de la vérification de la stabilisation des pertes diélectriques à chaud dans la mesure où la procédure décrite à cet article concerne les traversées au papier imprégné ou recouvertes de résines pour réseaux à haute tension. L'expérience dont dispose le Comité suédois montre que la stabilisation des pertes de tous les types de traversées-condensateurs au papier imprégné est en relation avec les pertes diélectriques. A la température ambiante, les pertes des traversées au papier imprégné sont faibles et présentent une dispersion remarquablement petite d'un échantillon à l'autre. Aux températures élevées (80-90°C), les pertes augmentent et la dispersion entre échantillons apparaît. Dans les cas défavorables, elles peuvent approcher ou aller au delà de la limite de la stabilité. Le Comité National Suédois estime par conséquent qu'il n'est pas raisonnable de recommander de mesurer les pertes à la température ambiante comme essai individuel, et de choisir les échantillons à soumettre aux essais de stabilité thermique d'après des pertes pratiquement égales et qui n'ont aucun lien avec les propriétés à vérifier. Le Comité National Suédois recommande que l'essai individuel concernant les pertes soit effectué à chaud, de préférence dans l'air, et sous une tension suffisamment basse pour éviter l'ionisation.

Enfin, il y a lieu de signaler que, depuis l'élaboration de la présente recommandation, les travaux du Comité d'Etudes N° 42: Technique des essais à haute tension, ont progressé dans le domaine de la normalisation des méthodes d'essai à haute tension. Le lecteur est renvoyé à la Publication 60 (1962): Essais à haute tension, et son attention est tout particulièrement attirée sur le fait que, dans la nouvelle édition de la Publication 60, l'onde de choc normale est une onde de la forme $1,2/50 \mu s$ au lieu d'être de la forme $1/50 \mu s$ comme mentionné dans la présente recommandation.

The Swedish National Committee voted against publication, because it could not accept the procedure recommended in Clause 23, regarding the determination of the thermal stability of the dielectric when hot, as far as paper impregnated or covered with resins for the higher voltage systems are concerned. In the experience of the Swedish Committee, the thermal stability of all types of condenser bushings made of paper is correlated to the dielectric losses. At room temperature, the losses of treated paper bushings are small with a remarkably low dispersion between individual objects. At high temperatures (80-90°C), the losses increase and a dispersion between individual values exists, and, under unfavourable conditions, they may approach or exceed the limit of the thermal stability. The Swedish National Committee does not therefore consider it reasonable to recommend measurements of the losses as a routine test at room temperature and to base the selection for the thermal stability test from practically equal values having no connection to the quality to be checked. The Swedish National Committee recommends that the routine check of the losses should be made in a hot state, preferably in air, at a voltage sufficiently low to prevent corona discharges.

Finally, it should be noted that since the present recommendation was drafted and approved, Technical Committee No. 42, High-voltage testing techniques, has made progress in the standardization of high-voltage test methods, and the reader is referred to I.E.C. Publication 60 (1962), High-voltage test techniques. Attention is drawn, in particular, to the fact that the standard impulse has the form 1.2/50 μ s instead of the form 1/50 μ s, mentioned in the present recommendation.

TRAVERSÉES ISOLÉES POUR TENSIONS ALTERNATIVES SUPÉRIEURES À 1 000 V

CHAPITRE I – GÉNÉRALITÉS

1. Domaine d'application

La présente recommandation vise les traversées isolées dont les définitions sont données à l'article 4, Terminologie.

Elle est applicable aux traversées entrant dans la construction des appareils, machines, transformateurs, livrées séparément et aux traversées destinées aux installations électriques. Elle est également applicable aux traversées faisant partie d'un matériel déterminé, lorsque la recommandation relative à ce matériel l'exige.

Elle n'est applicable qu'aux traversées qui peuvent être essayées séparément, sans que cela affecte leurs performances.

Cette recommandation vise principalement les traversées pour les réseaux à courant alternatif triphasé de tension composée supérieure à 1 000 volts et de fréquence comprise entre 15 et 60 Hz inclusivement. Sont exclues les traversées dont l'une des extrémités est destinée à être placée dans un milieu gazeux autre que l'air à la pression atmosphérique, par exemple les traversées de redresseurs à vapeur de mercure. De telles traversées doivent faire l'objet de conventions particulières.

L'application de la présente recommandation aux traversées destinées aux réseaux non triphasés doit faire l'objet de conventions particulières.

2. Conditions d'emploi

La présente recommandation s'entend pour emploi des traversées dans les conditions ci-après :

a) Altitude

L'absence d'indication au sujet de l'altitude au-dessus du niveau de la mer à laquelle la traversée est utilisée implique, pour les traversées dont l'une des extrémités ou les deux extrémités sont dans l'air à la pression atmosphérique, que cette altitude n'excède pas 1 000 mètres (3 300 pieds).

Pour les altitudes comprises entre 1 000 m (3 300 pieds) et 3 000 m (9 900 pieds), il est encore recommandé d'utiliser des traversées répondant à la présente recommandation. Pour déterminer la tension la plus élevée du réseau (paragraphe 4p) sur lequel la traversée peut être utilisée, on doit alors multiplier la tension nominale normalisée de la traversée (article 11) par un coefficient de correction donné par la figure 1 (page 10).

BUSHINGS FOR ALTERNATING VOLTAGES ABOVE 1 000 V

CHAPTER I – GENERAL

1. Scope

This recommendation relates to bushings as defined in Clause 4, Nomenclature.

This recommendation applies to bushings supplied separately, for use in the construction of electrical apparatus, machines, transformers and electrical installations. It also applies to bushings supplied as an integral part of equipment when required by the relevant equipment recommendation.

This recommendation applies only to bushings which can be tested separately without affecting their electrical performance.

This recommendation refers primarily to bushings for 3-phase alternating current systems, having line-to-line voltages above 1 000 V and frequencies between 15 and 60 Hz (c/s) inclusive. It does not apply to bushings which are intended to operate with one end in any gaseous medium other than air at atmospheric pressure, e.g. bushings for use with mercury vapour rectifiers. For such bushings special agreement must be made.

The selection of bushings to this recommendation for other than 3-phase systems shall be the subject of special consideration.

2. Operating conditions

This recommendation applies to bushings used under the following conditions:

a) Altitude

In the absence of information to the contrary, it shall be assumed that bushings of which one or both ends are in air at atmospheric pressure are for installation at altitudes not exceeding 1 000 metres (3 300 feet).

For installation at altitudes between 1 000 metres (3 300 feet) and 3 000 metres (9 900 feet), it is recommended that bushings complying with this recommendation should be used. To determine the highest system voltage (Sub-clause 4*p*) at which a bushing may be used under these conditions, the standard rated voltage (Clause 11) of the bushing should be multiplied by the correction factor obtained from Figure 1 (page 11).

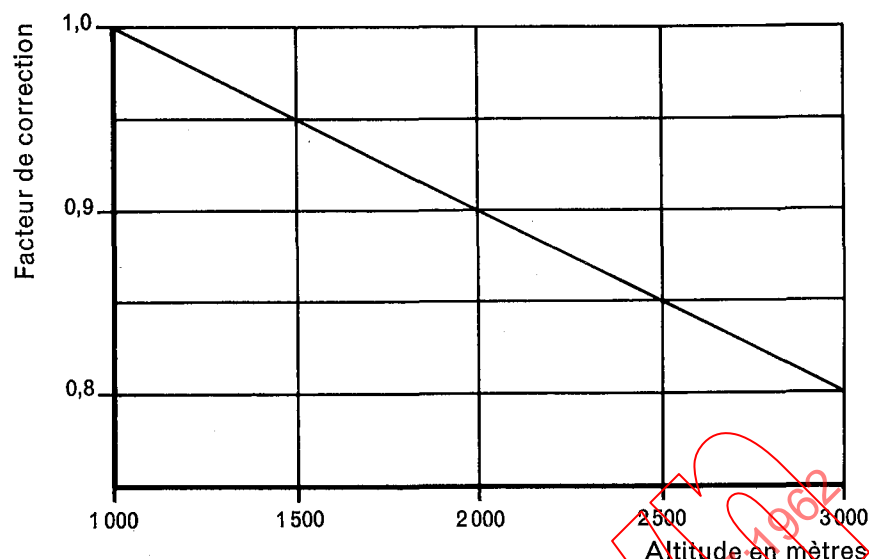


FIG. 1

b) Température des milieux de refroidissement

Sauf indication contraire, on admet que les températures des milieux de refroidissement n'excèdent pas les valeurs limites ci-après :

– air ambiant	maximum	40°C
	moyenne journalière maximale	30°C
	moyenne annuelle maximale	20°C
– milieu d'immersion (huile, etc.)	minimum	pour traversées d'intérieur pour traversées d'extérieur 0°C –40°C
	maximum	95°C

3. Objet

La présente recommandation fixe :

- 1) Les caractéristiques qui définissent les conditions d'établissement et de fonctionnement des traversées.
- 2) Les conditions auxquelles doivent satisfaire les traversées, relativement à :
 - leurs températures limites,
 - leurs qualités diélectriques,
 - leur étanchéité,

ainsi que les essais de réception qui peuvent être effectués et, s'il y a lieu, les méthodes à adopter pour ces essais.

- 3) Les indications que doivent porter les traversées.

4. Terminologie

Les termes ci-dessous utilisés dans la présente recommandation y ont les significations ci-après :

4a) Traversée isolée ou par abréviation: Traversée

Dispositif servant à conduire un conducteur sous tension à travers une paroi, telle qu'un mur, un couvercle de cuve, etc., en l'isolant de cette paroi ; ce dispositif comporte les moyens de fixation sur la paroi.

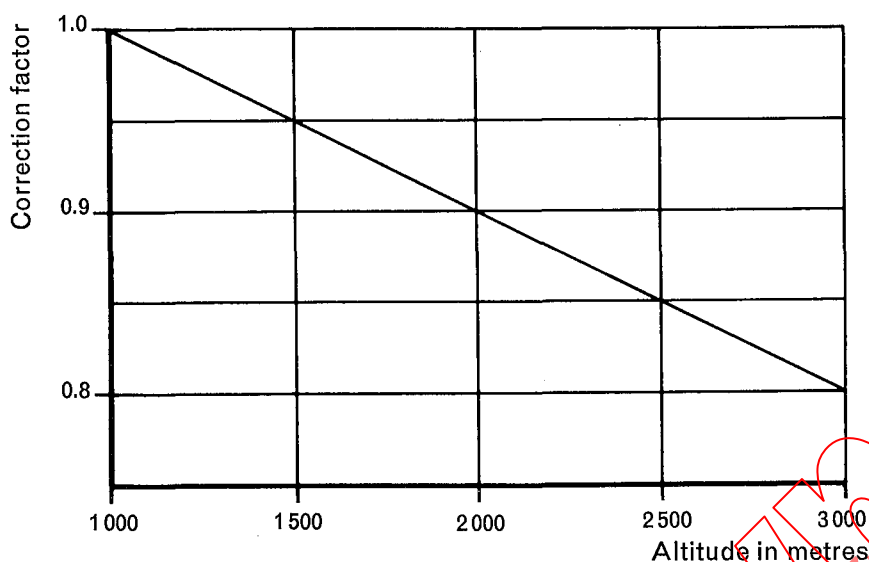


FIG. 1

b) *Temperature of cooling media:*

Unless otherwise stated, it shall be assumed that the temperatures of the cooling media do not exceed the following limiting values:

– Ambient air	maximum	40°C
	daily mean, maximum	30°C
	annual mean, maximum	20°C
– Immersion medium (oil, etc...)	minimum	for indoor bushings 0°C for outdoor bushings –40°C
	maximum	95°C

3. **Object**

This recommendation covers:

- 1) The characteristics which influence the design and operation of bushings.
- 2) The conditions with which bushings shall comply, namely:
 - temperature limits
 - dielectric properties
 - sealing

including the acceptance tests which shall be made and, where necessary, the test methods to be used.

- 3) The marking of bushings.

4. **Nomenclature**

For the purpose of this recommendation the following definitions shall apply:

4a) *Bushing*

A structure carrying a conductor through a partition such as a wall or tank cover, etc., and insulating it therefrom, including the means of attachment to the partition.

4b) *Traversée à huile ou au compound*

Traversée composée d'une enveloppe isolante emplie d'huile ou de compound, l'huile ou le compound assurant l'isolation principale.

4c) *Traversée au papier traité*

Traversée dans laquelle l'isolation principale est assurée par du papier imprégné d'huile, de résine ou d'autres matières d'imprégnation. Certaines traversées de ce type comportent une enveloppe isolante les protégeant des intempéries.

4d) *Traversée en matière céramique ou analogue*

Traversée dans laquelle l'isolation principale est assurée par une matière céramique ou analogue.

4e) *Traversée en matière coulée*

Traversée dans laquelle l'isolation principale est assurée par une matière organique coulée avec ou sans addition d'une charge en matière inorganique.

4f) *Traversée à isolation combinée*

Traversée dans laquelle l'isolation est assurée par deux ou plusieurs isolants disposés coaxialement.

4g) *Traversée condensateur*

Traversée dans laquelle la matière isolante constituant l'isolation comporte des couches conductrices appropriées pour assurer une répartition convenable du champ électrique.

4h) *Traversée d'intérieur*

Traversée dont les deux extrémités sont prévues pour être à l'intérieur des bâtiments, à l'abri des intempéries.

4i) *Traversée d'extérieur*

Traversée dont les deux extrémités sont prévues pour être à l'extérieur des bâtiments et peuvent être soumises aux intempéries.

4j) *Traversée d'extérieur-intérieur*

Traversée dont l'une des extrémités est prévue pour être à l'extérieur et l'autre pour être à l'intérieur d'un bâtiment.

4k) *Traversée immergée d'intérieur*

Traversée dont l'une des extrémités est prévue pour être, en service, immergée dans un milieu isolant autre que l'air (par ex. de l'huile), et l'autre pour être dans l'air à l'intérieur d'un bâtiment.

4l) *Traversée immergée d'extérieur*

Traversée dont l'une des extrémités est prévue pour être, en service, immergée dans un milieu isolant autre que l'air (par ex. de l'huile) et l'autre pour être dans l'air à l'extérieur d'un bâtiment.

4m) *Traversée immergée entièrement*

Traversée dont les deux extrémités sont prévues pour être, en service, immergées dans un milieu isolant autre que l'air (par exemple de l'huile).

4b) *Oil or compound filled bushing.*

A bushing in which oil or compound provides the major insulation.

4c) *Treated paper bushing*

A bushing in which the major insulation is provided by paper impregnated with oils, resins, or other impregnants. Some types of treated paper bushings include an envelope of insulation for protection from climatic conditions.

4d) *Ceramic (or analogous materials) bushing*

A bushing in which the major insulation is provided by a ceramic or analogous material.

4e) *Cast insulation bushing*

A bushing in which the main insulation consists of a cast organic material with or without an inorganic filler.

4f) *Composite bushing*

A bushing in which the insulation consists of several coaxial layers of different insulating materials.

4g) *Condenser bushing*

A bushing in which conducting layers are arranged within the insulating material, with the object of controlling the distribution of the electric field of the bushing.

4h) *Indoor bushing*

A bushing, both ends of which are designed for use inside buildings, i.e. not exposed to the weather.

4i) *Outdoor bushings*

A bushing, both ends of which are designed for use outside buildings, i.e. both ends may be exposed to the weather.

4j) *Outdoor-indoor bushing*

A bushing, one end of which is designed for use outside a building and the other inside a building.

4k) *Indoor-immersed bushing*

A bushing, one end of which is designed to be in air inside a building and the other to be immersed, in use, in an insulating medium other than air (e.g. oil).

4l) *Outdoor-immersed bushing*

A bushing, one end of which is designed to be in air outside a building and the other to be immersed, in use, in an insulating medium other than air (e.g. oil).

4m) *Completely-immersed bushing*

A bushing, both ends of which are intended to be immersed during operation in an insulating medium other than air (e.g. oil).

4n) *Installation en situation exposée*

Installation dans laquelle le matériel est soumis à des surtensions d'origine atmosphérique.

Note. — Ces installations sont généralement connectées à des lignes aériennes, soit directement, soit par une courte longueur de câble (Voir Publication 71 de la C.E.I.).

4o) *Installation en situation non exposée*

Installation dans laquelle le matériel n'est pas soumis à des surtensions d'origine atmosphérique.

Note. — Ces installations sont généralement connectées à un réseau de câbles souterrains (voir Publication 71 de la C.E.I.).

4p) *Tension la plus élevée d'un réseau*

Valeur la plus élevée de la tension efficace entre phases qui peut se présenter à un instant et en un point quelconque du réseau dans les conditions d'exploitation normales. Cette valeur ne tient pas compte des variations temporaires de la tension dues aux défauts et au déplacement brusque de charges importantes (voir Publication 38 de la C.E.I.).

4q) *Echauffement d'un organe*

L'échauffement d'un organe d'une traversée isolée est la différence entre la température mesurée de cet organe et la température du milieu de refroidissement qui l'environne.

4r) *Contournement*

Décharge à l'extérieur de la traversée, dans l'air ou dans l'huile, reliant les pièces métalliques entre lesquelles est appliquée la tension d'essai. Le contournement se traduit notamment par une augmentation appréciable du courant débité par l'installation d'essai.

4s) *Perforation*

Destruction localisée de l'isolation de la traversée causée par une décharge qui la traverse.

Note. — Le fait qu'un fragment se détache d'une cloche ou que la surface de l'isolation de la traversée se détériore sous l'action de la chaleur d'un arc de contournement, ne doit pas être considéré comme une perforation.

4t) *Essai de type*

Essai exécuté sur une seule traversée, ou sur un petit nombre de traversées d'un même modèle. Cet essai est exécuté en vue de démontrer que toutes les traversées de la spécification considérée et ayant les mêmes détails essentiels seraient capables de supporter le même essai. Il n'est en général pas répété à chaque fourniture.

4u) *Essai de prélèvement*

Essai effectué sur un prélèvement d'une fourniture.

4v) *Essai individuel*

Essai effectué sur toutes les traversées de la même fourniture.

4n) *Exposed installation*

An installation in which the apparatus is subject to overvoltages of atmospheric origin.

Note. — Such installations are usually connected to overhead transmission lines either directly or through a short length of cable (I.E.C. Publication 71).

4o) *Non-exposed installation*

An installation in which the apparatus is not subject to overvoltages of atmospheric origin.

Note. — Such installations are usually connected to a cable network (I.E.C. Publication 71).

4p) *The highest voltage of a system*

The highest voltage of a system is the highest r.m.s. line-to-line voltage which can be sustained under normal operating conditions at any time and at any point on the system. It excludes temporary voltage variations due to fault conditions and the sudden disconnection of large loads. (I.E.C. Publication 38).

4q) *Temperature rise of a component*

The temperature rise of a component of a bushing is the difference between the measured temperature of that component and the surrounding cooling medium.

4r) *Flashover*

Discharge on the outside of the bushing in air or in oil between the metallic parts to which the test voltage is applied. Flashover is accompanied by a marked increase in the current in the test installation.

4s) *Puncture*

Local breakdown of the insulation of the bushing caused by a discharge passing through it.

Note. — A fragment breaking away from a shed or damage to the insulator due to the heat of a surface discharge shall not be considered a puncture.

4t) *Type test*

A test made upon one or a few bushings intended to show that all bushings made to the same specification and having the same essential details would pass an identical test; it is usually not repeated on separate consignments.

4u) *Sampling test*

A test carried out on a sample of a consignment.

4v) *Routine test*

A test to which each bushing is subjected.

CHAPITRE II – CARACTÉRISTIQUES DÉFINISSANT LES CONDITIONS D'ÉTABLISSEMENT DES TRAVERSÉES ISOLÉES

5. Énumération des caractéristiques

Les traversées isolées ne sont définies qu'autant que l'on énonce les caractéristiques indispensables pour préciser leurs conditions d'établissement et de fonctionnement.

Ces caractéristiques, énumérées ci-dessous, doivent être spécifiées conformément aux articles correspondants, dont la référence est indiquée à côté de chacune d'elles. Ce sont:

- a) l'adaptation à l'usage (article 6),
- b) la situation, exposée ou non exposée, pour laquelle la traversée est prévue (article 7),
- c) la tension nominale (article 9),
- d) la tension pôle-terre (article 10),
- e) la tension de tenue à fréquence industrielle (article 19),
- f) la tension de tenue sous tension à fréquence industrielle à sec pendant une courte durée (article 20),
- g) la tension de tenue au choc à sec (article 21),
- h) le courant nominal (article 12),
- i) la fréquence nominale (article 14),
- j) pour les traversées immergées, la température maximale du milieu d'immersion,
- k) pour les traversées immergées, le niveau minimal d'immersion,
- l) pour les traversées fournies sans conducteur: le diamètre, la nature et la position du conducteur intérieur dont la traversée sera munie en service.

Note. — Certaines traversées peuvent être soumises en service à divers efforts mécaniques; dans ce cas, les conditions d'épreuve de robustesse doivent faire l'objet d'un accord entre les parties.

6. Adaptation à l'usage

Du point de vue de leur adaptation à l'usage, on distingue:

A) les traversées isolées utilisées dans l'air:

- a) d'intérieur
- b) d'extérieur-intérieur
- c) d'extérieur

B) les traversées isolées utilisées immergées entièrement ou par l'une de leurs extrémités dans l'huile ou dans un autre milieu isolant:

- a) immergées d'intérieur
- b) immergées d'extérieur
- c) immergées entièrement

CHAPTER II – CHARACTERISTICS ON WHICH THE DESIGN OF BUSHINGS IS BASED

5. Enumeration of characteristics

When specifying bushings, it is necessary to indicate the essential characteristics so that their design and operation may be defined.

The characteristics listed below shall be as specified in the relevant clause, the number of which is given beside each item. They are:

- a) suitability for purpose (Clause 6),
- b) whether the bushing is intended for use in an exposed or non-exposed installation (Clause 7),
- c) rated voltage (Clause 9),
- d) line-earth voltage (Clause 10),
- e) power-frequency withstand voltage (Clause 19),
- f) dry short duration power-frequency withstand voltage (Clause 20),
- g) dry impulse withstand voltage (Clause 21),
- h) rated current (Clause 12),
- i) rated frequency (Clause 14),
- j) for immersed bushings, the maximum temperature of the immersion medium,
- k) for immersed bushings, the minimum level of immersion,
- l) for bushings without a conductor, the diameter, type and position of the internal conductor with which the bushing will be fitted in service.

Note. — Certain bushings may be subjected to mechanical forces in service. In such cases the mechanical test procedure shall be the subject of agreement between the parties concerned.

6. Suitability for purpose

From the viewpoint of the suitability for purpose, bushings are classified as follows:

A) bushings in air:

- a) indoor
- b) outdoor-indoor
- c) outdoor

B) bushings which during operation are completely immersed or have one end immersed in oil or other insulating medium:

- a) indoor-immersed
- b) outdoor-immersed
- c) completely immersed

Les traversées à isolation uniquement solide peuvent être montées avec n'importe quel angle d'inclinaison sur la verticale. Les traversées à remplissage d'huile ou de compound sont prévues pour être montées avec un angle d'inclinaison ne dépassant pas 20° . Pour les traversées prévues pour montage avec un angle d'inclinaison supérieur à 20° il y a lieu de préciser la valeur de cet angle.

7. Installation en situation exposée et non exposée

L'absence d'indication sur la situation exposée ou non, implique qu'il s'agit d'une traversée pour situation exposée.

8. Nature du réseau

En l'absence d'indication sur la nature du réseau, il est admis que la traversée est destinée à fonctionner sur un réseau triphasé dont l'état du neutre par rapport à la terre peut correspondre à l'une des situations suivantes, selon les définitions données par la Publication 71 de la C.E.I. (3^e édition, 1960)¹.

- a) *Réseau à neutre isolé*: réseau dont le neutre n'a aucune connexion intentionnelle à la terre sauf à travers des appareils de signalisation, de mesure et de protection, de très grande impédance.
- b) *Réseau compensé par bobine d'extinction*: réseau dont le neutre est réuni à la terre par une bobine dont la réactance est de valeur telle que lors d'un défaut entre une phase du réseau et la terre, le courant inductif à fréquence industrielle qui circule entre le défaut et la bobine neutralise essentiellement la composante capacitive à fréquence fondamentale du courant de défaut.

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

- c) *Réseau à neutre à la terre*: réseau dont le neutre est relié à la terre soit directement, soit par une résistance ou réactance de valeur assez faible pour réduire les oscillations transitoires et laisser passer le courant suffisant pour la protection sélective de terre.

- i) *un réseau à neutre effectivement à la terre* à l'emplacement où la traversée est utilisée est un réseau caractérisé par un coefficient de mise à la terre en cet emplacement qui ne dépasse pas 80 pour cent.

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

- ii) *un réseau à neutre non effectivement à la terre* à l'emplacement où la traversée est utilisée est un réseau caractérisé par un coefficient de mise à la terre en cet emplacement qui peut dépasser 80 pour cent.

Le coefficient de mise à la terre à l'emplacement où la traversée est utilisée et pour une configuration donnée du réseau, est le rapport, exprimé en pour cent, de la tension efficace la plus élevée à la fréquence du réseau entre une phase saine et la terre à cet emplacement pendant un défaut à la terre affectant une ou plusieurs phases, à la tension efficace entre phases à la fréquence du réseau qui serait obtenue au même emplacement avec disparition du défaut.

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

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

Lorsque la tension la plus élevée du réseau n'est pas supérieure à 72,5 kV, la traversée isolée employée doit être conçue pour convenir aux conditions indiquées sous a), b), c)i) et c)ii), et satisfaire aux niveaux d'essais diélectriques indiqués aux articles 19 et 20 (ou 21) pour la tension nominale correspondante.

¹ Prière de se reporter à l'édition la plus récente pour le cas de modifications ultérieures.

Bushings made of solid insulation only can be mounted at any angle of inclination, but those having a filling of compound or oil may be mounted at an angle of inclination to the vertical not exceeding 20° . If it is intended to exceed this angle, the angle of inclination shall be stated.

7. Exposed and non-exposed installations

In the absence of information to the contrary, it shall be assumed that the bushing is for use in an exposed installation.

8. System conditions

In the absence of information to the contrary, it shall be assumed that the system on which the bushing will be used is 3-phase and complies with one of the following conditions, as defined by I.E.C. Publication 71 (3rd edition, 1960)¹.

- a) *Isolated neutral system*: A system which has no intentional connection to earth, except through indicating, measuring, or protective devices of very high impedance.
- b) *Resonant earthed system (or system neutral earthed at one or more points through arc suppression coils)*. A system earthed through a reactor(s), the reactance being of such value that during a single line-to-earth fault, the power-frequency inductive current passed by this reactor(s) essentially neutralises the power-frequency capacitance component of the earth-fault current.

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

- c) *Earthed neutral system*. A system in which the neutral is connected to earth, either solidly, or through a resistance or reactance of low enough value to reduce materially transient oscillations and to give a current sufficient for selective earth fault protection.

- i) *A system with effectively earthed neutral* at the place where the bushing is installed is a system characterized by a coefficient of earthing at this point which does not exceed 80 per cent.

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

- ii) *A system with non-effectively earthed neutral* at the place where the bushing is installed is a system characterized by a coefficient of earthing at this point that may exceed 80 per cent.

The *coefficient of earthing* at the place where the bushing is used for a given system layout is the ratio, expressed as a percentage, of the highest r.m.s. line-to-earth power-frequency voltage on a sound phase at this place during a fault to earth affecting one or more phases, to the line-to-line r.m.s. power-frequency voltage which would be obtained at this place with the fault removed.

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

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

When the highest system voltage is not greater than 72.5 kV, the bushing used must be designed to suit the system conditions covered by a), b), c)i) and c)ii) and the dielectric test levels indicated in Clauses 19 and 20 (or 21) for the appropriate rated voltage of the bushing.

¹ Reference should be made to the latest edition of this Publication for any subsequent alterations.

Si la tension la plus élevée du réseau est égale ou supérieure à 100 kV, il doit être spécifié si :

- 1) le réseau satisfait aux conditions *a)*, *b)* ou *c)ii)*; dans ce cas la traversée doit être conçue pour satisfaire à la tension d'essai fixée pour «pleine isolation»,

ou si

- 2) le réseau répond à la condition *c)i)*; la traversée peut alors être conçue pour satisfaire à la tension d'essai fixée pour l'isolation réduite.

9. Tension nominale

La tension nominale d'une traversée isolée est une tension qui sert à la désigner. Elle doit être prise parmi les valeurs des séries données à l'article 11.

Notes 1) — En règle générale, la tension nominale d'une traversée est au moins égale à la tension la plus élevée du réseau (paragraphe 4*p*) dans lequel elle est utilisée.

Par exemple, une traversée de tension nominale 100 kV ne doit pas être utilisée sur un réseau triphasé dont la tension la plus élevée entre conducteurs est supérieure à 100 kV, quel que soit l'état du neutre par rapport à la terre.

- 2) — L'attention est appelée sur le fait qu'on ne peut pas toujours faire face de manière satisfaisante à certaines conditions d'exploitation exceptionnelles, telles que celles résultant d'une pollution anormale, par le simple choix d'une traversée de tension nominale supérieure. Il y a lieu, dans ce cas, de prendre en considération la forme extérieure des surfaces isolantes de la traversée.

10. Tension «pôle-terre»

La tension «pôle-terre» est la valeur efficace la plus élevée de la tension que la traversée peut supporter en permanence en service normal, entre son conducteur intérieur et sa bride de fixation. Elle doit toujours être indiquée.

Note. — La tension pôle-terre d'une traversée sera généralement prise égale à $1/\sqrt{3}$ fois la tension la plus élevée du réseau sur lequel elle doit être utilisée.

Toutefois, pour les réseaux des types *a)* ou *b)* (selon l'article 8) qui sont appelés à fonctionner avec une phase à la terre pendant une durée dépassant 8 heures par jour, ou 125 heures par an, il est recommandé d'utiliser des traversées dont la tension pôle-terre soit supérieure à la valeur indiquée à l'alinéa précédent, une sécurité totale étant obtenue lorsque la tension pôle-terre est égale à la tension la plus élevée du réseau.

Les conditions d'essai propres à chacune de ces spécifications figurent aux articles 22 et 23 notamment.

11. Valeurs normalisées des tensions nominales

La tension nominale des traversées isolées doit être choisie parmi les valeurs suivantes exprimées en kilovolts :

a) Tensions inférieures à 100 kV :

Série I (basée sur la pratique courante en Europe)

3,6 — 7,2 — 12 — 17,5 — 24 — 36 — 52 — 72,5

Note. — Cette série est valable pour l'U.R.S.S. qui utilise toutefois en plus la tension de 40,5 kV.

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

2,75 — 5,5 — 9,52 — 15,5 — 25,8 — 38 — 48,3 — 72,5

b) Tensions supérieures ou égales à 100 kV :

100 — 123 — 145 — 170 — 245 — 300 — 420

Les tensions des séries ci-dessus correspondent aux tensions les plus élevées des réseaux spécifiés dans la Publication 38 de la C.E.I.

When the highest system voltage is equal to or greater than 100 kV, it must be stated whether:

- 1) The system complies with condition *a)*, *b)* or *c)ii)*; then the bushings should be designed accordingly to meet the full insulation test values.

or

- 2) The condition *c)i)* applies; then it will be permissible to use the reduced insulation test values.

9. Rated voltage

The rated voltage of a bushing is the voltage by which it is designated. It shall be one of the values given in the series stated in Clause 11.

Notes 1) — As a general rule, the rated voltage of a bushing at least equals the highest voltage of the system (Sub-clause 4*p*) on which it is utilized.

For example, a bushing of 100 kV rated voltage must not be used on a 3-phase system where the highest system voltage between conductors is greater than 100 kV, irrespective of the method of system earthing.

- 2) — Attention is drawn to the fact that certain exceptional service conditions, such as those resulting from abnormal pollution, cannot always be met in a satisfactory manner by simply choosing a bushing of higher rated voltage. In such cases, it is necessary to take into consideration the external contour of the insulating surfaces of the bushing.

10. Line-earth voltage

The line-earth voltage is the highest r.m.s. value of the voltage which the bushing can withstand continuously in normal service, between conductor and fixing flange, and shall always be stated.

Note. — The line-earth voltage of a bushing will usually be equal to the highest voltage, divided by $\sqrt{3}$, of the system for which this bushing is selected.

However, for systems complying with Clause 8 either *a)* or *b)* and intended to operate for periods exceeding 8 hours in any 24 hours or 125 hours per annum with one phase earthed, bushings of which the line-earth voltage exceeds the value indicated in the above paragraph should be selected, complete safety being obtained when the line-earth voltage equals the highest system voltage.

Test conditions with respect to either requirement are given in Clauses 22 and 23, in particular.

11. Standard values of rated voltage

The rated voltage of bushings to this recommendation shall be one of the values (expressed in kilovolts) in the appropriate series following:

a) Voltages below 100 kV

Series I (based on current practice in Europe):

3.6 — 7.2 — 12 — 17.5 — 24 — 36 — 52 — 72.5

Note. — The above series corresponds to U.S.S.R. practice, provided that the voltage 40.5 kV be mentioned.

Series II (based on current practice in Canada and the U.S.A.):

2.75 — 5.5 — 9.52 — 15.5 — 25.8 — 38 — 48.3 — 72.5

b) Voltages equal to or above 100 kV

100 — 123 — 145 — 170 — 245 — 300 — 420

The above series of voltages correspond to the highest system voltages given in the I.E.C. Publication 38.

12. Courant nominal

Le courant nominal d'une traversée est une valeur de courant qui sert à la désigner.

Le courant nominal d'une traversée est la valeur efficace du courant que cette traversée peut supporter en service continu à la tension nominale et à la fréquence nominale, sans que l'élévation de température des différentes parties de la traversée dépasse les limites prescrites.

13. Valeurs normalisées des courants nominaux

Les valeurs normalisées exprimées en ampères des courants nominaux des traversées sont les suivantes:

250 — 400 — 630 — 800 — 1 000 — 1 250 — 1 600 — 2 000 — 2 500 — 3 150 — 4 000 — 5 000 —
6 300 — 8 000 — 10 000

14. Fréquence nominale

La fréquence nominale d'une traversée isolée est la fréquence pour laquelle sont déterminées ses conditions d'échauffement.

L'absence d'indication à ce sujet implique que la traversée est prévue pour fonctionner pour toute fréquence comprise entre 15 et 60 Hz inclusivement.

12. Rated current

The rated current of a bushing is the value of current by which it is designated.

The rated current of a bushing is the r.m.s. value of the current which the bushing can carry in continuous operation at the rated voltage and frequency without the temperature rises of the individual components of the bushing exceeding the specified limits.

13. Standard values or rated current

The rated current of a bushing, in amperes, shall be one of the following:

250 — 400 — 630 — 800 — 1 000 — 1 250 — 1 600 — 2 000 — 2 500 — 3 150 — 4 000 — 5 000 —
6 300 — 8 000 — 10 000

14. Rated frequency

The rated frequency of a bushing is the frequency at which its temperature rise is determined.

The absence of information will imply that the bushing is designed for operation at any frequency between 15 and 60 Hz (c/s) inclusive.

CHAPITRE III – CONDITIONS AUXQUELLES DOIVENT SATISFAIRE LES TRAVERSÉES ISOLÉES

SECTION A — LIMITES DE TEMPÉRATURE

15. Limites de température et d'échauffement

Lorsque la traversée fait partie intégrante d'un appareil, son comportement thermique doit répondre aux prescriptions concernant cet appareil; ceci doit être prouvé lors de l'essai de l'appareil complet muni de sa traversée, lorsqu'un tel essai est effectué.

Lorsqu'il est nécessaire de faire un essai d'échauffement sur une traversée d'appareil séparée de celui-ci, l'essai sera exécuté selon les dispositions de l'article 16, et les conditions prescrites par les règles particulières à l'appareil au sujet des températures devront être remplies.

Lorsque la traversée est livrée comme un appareil indépendant, par exemple une traversée de mur, il sera procédé conformément à l'article 16, et les prescriptions ci-dessous concernant les températures limites seront appliquées.

La température maximum des parties accessibles de la traversée ne doit pas dépasser 85°C, ni dépasser la température correspondant à un échauffement de 45°C par rapport à la température ambiante telle qu'elle est déterminée par la méthode donnée à l'article 16.

16. Epreuve d'échauffement

A) Généralités

L'épreuve d'échauffement est considérée comme un essai de type. L'essai est effectué, suivant le cas, dans l'une des conditions suivantes:

- i) les traversées dont les deux extrémités sont dans l'air en service normal (traversées d'intérieur, d'extérieur, d'extérieur-intérieur) sont essayées à l'air libre à l'abri des courants d'air;
- ii) les traversées dont, en service normal, une extrémité est dans l'air et l'autre immergée (traversées immergées d'intérieur, immergées d'extérieur) sont essayées avec l'extrémité destinée à être immergée, plongée dans l'huile jusqu'au niveau spécifié;
- iii) les traversées immergées entièrement sont essayées immergées entièrement dans une cuve contenant de l'huile.

L'essai est fait en courant alternatif à une fréquence aussi voisine que possible de la fréquence nominale, et avec le courant nominal, tous les éléments de la traversée étant pratiquement au potentiel de la terre.

La traversée est montée avec un conducteur adéquat. Toutes les connexions externes temporaires utilisées pour l'essai ont des dimensions telles qu'elles ne contribuent pas indûment au refroidissement ou à l'échauffement de la traversée à l'essai.

L'essai est poursuivi jusqu'à ce que la température se maintienne à peu près constante (par exemple que la température n'augmente pas de plus de 1°C par heure).

B) Mesure de la température des organes

La mesure de la température est effectuée au moyen de thermomètres ou de thermocouples.

CHAPTER III – CONDITIONS WITH WHICH BUSHINGS MUST COMPLY

SECTION A — TEMPERATURE LIMITS

15. Limits of temperature and temperature rise

When the bushing is supplied as an integral part of the apparatus, the thermal performance shall be such that it will meet the thermal requirements for the apparatus as demonstrated by the heat run on the complete apparatus with the bushing assembled, when such a heat run is made.

When it is necessary to carry out a heat run on an apparatus bushing separate from the apparatus, it shall be tested in accordance with Clause 16. The thermal requirements of the specification for the matching apparatus shall then be met.

When the bushing is supplied as a separate device, e.g. a wall bushing, it shall be tested in accordance with Clause 16 and the following requirement regarding temperature limits will apply.

The maximum temperature of the accessible parts of the bushing shall not exceed 85°C, nor shall it exceed the temperature obtained with a maximum temperature rise of 45 degrees Celsius above the temperature of ambient air, as determined by the method given in Clause 16.

16. Temperature-rise test

A) General

The temperature-rise test shall be regarded as a type test. The test shall be made under one of the following conditions, as appropriate:

- i) Bushings, both ends of which are in air in normal service (indoor, outdoor, outdoor-indoor bushings), shall be tested in free air protected from draughts.*
- ii) Bushings, one end of which is normally in air and the other immersed (indoor-immersed and outdoor-immersed bushings), shall be tested with the end intended to be immersed, immersed in oil up to the specified level.*
- iii) Completely immersed bushings shall be tested completely immersed in a tank containing oil.*

The test shall be made with alternating current at approximately the rated frequency and rated current, all parts of the bushing being at substantially earth potential.

The bushing shall be assembled with an appropriate current-carrying conductor. Any temporary external connections used for this test shall be of such proportions that they do not contribute unduly to the cooling or the heating of the bushing under test.

The test shall be continued until the temperature is substantially constant (e.g. increasing at a rate not exceeding 1 degree Celsius per hour).

B) Measurement of temperature of component parts

The temperature measurement shall be made by thermometer or thermocouples.

C) Température de l'air ambiant

La température de l'air ambiant est mesurée au moyen de thermomètres répartis autour de la traversée dans le cas d'essai dans l'air, ou autour de la cuve sur laquelle est montée la traversée dans le cas d'essai avec la cuve à huile. Les thermomètres sont placés à mi-hauteur et à une distance de 1 à 2 m de la cuve ou de la traversée et protégés contre les courants d'air et le rayonnement direct de la traversée ou de la cuve à huile. Chaque thermomètre est immergé dans un récipient contenant un quart de litre d'huile environ.

La valeur de la température de l'air ambiant à adopter dans le calcul de l'échauffement est la moyenne des lectures faites à intervalles de temps égaux pendant le dernier quart de la durée de l'épreuve.

La température de l'air ambiant lors de l'essai doit être comprise entre 0°C et 40°C.

D) Température du bain d'huile

Sauf spécification contraire, l'huile de la cuve utilisée pour l'essai des traversées mentionnées dans les paragraphes *Aii)* et *Aiii)* ci-dessus, est maintenue pendant toute la durée de l'essai à la température spécifiée pour le milieu d'immersion avec une tolérance de $\pm 2^\circ\text{C}$.

Cette température sera mesurée au moyen de thermomètres plongés dans l'huile à 3 cm au-dessous de la surface libre et à 10 cm de la traversée.

SECTION B — QUALITÉS DIÉLECTRIQUES

On notera que les règles concernant les méthodes à employer pour exécuter les essais diélectriques sont à l'étude au Comité d'Études N° 42 de la C.E.I. En attendant qu'un accord soit réalisé sur ces méthodes et sur les valeurs des tensions d'épreuve à employer, les articles 18, 19, 20 et 21 donnent seulement des instructions provisoires concernant l'exécution de divers essais et les tensions d'épreuve sur lesquelles un accord s'est fait; ils comportent, lorsque c'est nécessaire, l'indication des pratiques particulières à certains pays. Des informations complémentaires sur ce sujet peuvent être extraites de la Publication 71 (1960) de la C.E.I., qui met également l'accent sur le caractère provisoire de la situation actuelle.

Note. — Voir aussi la Publication 60 (1962) de la C.E.I.

17. Énumération des épreuves diélectriques

Les essais ayant pour but de vérifier les qualités diélectriques des traversées comprennent:

- a) la vérification de la tenue sous tension à fréquence industrielle à sec pendant 1 minute (article 19),
- b) la vérification de la tenue sous tension à fréquence industrielle sous pluie pendant une minute (article 19),
- c) la vérification de la tenue sous tension à fréquence industrielle à sec pendant une courte durée (pour les traversées en situation non exposée seulement) (article 20),
- d) la vérification de la tenue aux ondes de choc à sec (pour les traversées en situation exposée seulement) (article 21),
- e) la mesure des pertes à froid et la vérification de stabilisation des pertes diélectriques à chaud (article 22 et 23).

Note. — L'attention est appelée sur ce que les essais diélectriques peuvent provoquer un vieillissement accéléré des isolants organiques. En conséquence, ils ne doivent pas être répétés sans nécessité. La répétition des essais ne devrait donc être faite qu'avec l'accord préalable du constructeur de la traversée.

18. Etat des traversées lors des épreuves diélectriques

Les épreuves diélectriques ne doivent être faites que sur des traversées complètes avec leurs conducteurs intérieurs, leurs colliers de fixation et tous les accessoires dont elles sont munies en service, sauf les éclateurs de protection qui, s'il en existe, sont enlevés.

C) Temperature of ambient air

The temperature of the ambient air shall be measured by means of thermometers spaced around the bushing when the test is made in air, or around the tank on which the bushing is mounted when the test is made with an oil tank. The thermometers shall be placed at mid-height, at a distance of 1 to 2 m from the tank or bushing, and shall be protected against draughts and direct radiation from the bushing or the oil tank. Each thermometer shall be immersed in oil contained in, and sufficient to fill, a container having a capacity of approximately a quarter of a litre. The value of the ambient air temperature, to be used in the determination of the temperature rise, is the average of the readings made at equal intervals of time during the last quarter of the duration of the test.

The temperature of the ambient air during the test shall be between 0°C and 40°C.

D) Temperature of the oil bath

Unless otherwise specified, the oil in the tank used for testing the bushing mentioned in Sections Aii) and Aiii) above, shall be maintained throughout the test at the temperature specified for the immersion medium with a tolerance of $\pm 2^\circ\text{C}$.

This temperature shall be measured by means of thermometers immersed in the oil 3 cm below the surface and at 10 cm from the bushing.

SECTION B — DIELECTRIC PROPERTIES

It should be noted that recommendations on the methods of making the dielectric tests are under consideration by I.E.C. Technical Committee No. 42. Until an agreement is made on these methods and the test voltages to be employed, Clauses 18, 19, 20 and 21 below give tentative directions only for making various tests and, where agreed, the test voltages to be employed; they include, where necessary, the indication of the particular practices of several countries. Further guidance on the above points can be obtained by reference to I.E.C. Publication 71 (1960), which also emphasizes the provisional character of the current situation.

Note. — See also I.E.C. Publication 60 (1962).

17. Enumeration of dielectric tests

Tests to determine the dielectric properties of bushings comprise:

- a) the dry one-minute power-frequency withstand voltage test (Clause 19),
- b) the wet one-minute power-frequency withstand voltage test (Clause 19),
- c) the dry short-duration power-frequency withstand voltage test (for bushings for non-exposed installations only) (Clause 20),
- d) the dry impulse-withstand voltage (for bushings for exposed installations only) (Clause 21),
- e) the measurement of the losses when cold and the determination of the thermal stability of the dielectric when hot (Clauses 22 and 23).

Note. — Attention is drawn to the fact that dielectric tests may cause premature deterioration of organic insulation. It is recommended, therefore, that the number of these tests should be limited to the minimum absolutely necessary. Repetition of these tests should be made only with the previous agreement of the manufacturer of the bushing.

18. Condition of the bushings when dielectric tests are made

Dielectric tests shall be made only on complete bushings with their conductors, fixing flanges and all accessories with which they are fitted when in use, but with protective gaps, if any, removed.

Avant l'essai, les surfaces des isolateurs doivent être soigneusement nettoyées.

Les traversées à huile ou au compound doivent être remplies normalement et avec la qualité d'huile ou de compound précisée par le constructeur.

Dans le cas des traversées destinées à être noyées dans un compound, soit complètement, soit par l'une des extrémités, le compound sera remplacé par de l'huile isolante pour les essais diélectriques, à moins qu'il n'en soit spécifié autrement.

Les conditions atmosphériques normalisées pour les essais diélectriques sont :

pression atmosphérique:	1014 mbar (760 mm Hg)
température de l'air ambiant:	20°C
humidité absolue:	11 grammes de vapeur d'eau par mètre cube

Si les conditions atmosphériques pendant l'essai sont différentes de celles normalisées, et si le facteur de correction défini par la Publication 52 de la C.E.I. et correspondant aux conditions existant au moment de l'essai, est supérieur ou égal à 0,95, aucune correction ne doit être appliquée aux valeurs de tension d'essai données aux tableaux ci-après.

Si les conditions atmosphériques correspondent à un facteur de correction inférieur à 0,95, un accord spécial doit intervenir pour décider si l'essai doit être poursuivi ou être différé. Dans le premier cas, il sera nécessaire d'indiquer les corrections à effectuer.

19. Vérification de la tenue sous tensions à fréquence industrielle à sec et sous pluie pendant une minute

La vérification de la tenue sous tension à fréquence industrielle à sec pendant une minute est une épreuve individuelle.

La vérification de la tenue sous tension à fréquence industrielle sous pluie pendant une minute est une épreuve de type et n'est applicable qu'aux traversées d'extérieur, d'extérieur-intérieur et immergées d'extérieur.

La tension d'épreuve à courant alternatif doit avoir une fréquence comprise entre 15 et 60 Hz inclusivement.

La forme de l'onde de la tension d'essai doit être pratiquement sinusoïdale et on en mesure la valeur de crête. Cette valeur de crête doit être égale à la valeur appropriée de la tension donnée aux tableaux I et II, multipliée par $\sqrt{2}$.

Le circuit d'essai doit être tel que le courant qui s'établirait si la traversée en essai était mise en court-circuit lorsque la tension qui lui est appliquée est égale à la tension d'essai soit au moins égale à 0,3 A.

La pluie artificielle utilisée pour les essais doit être constituée par de l'eau de résistivité égale à 100 ohms-mètres avec une tolérance de ± 10 pour cent. Elle doit tomber en fines gouttelettes régulièrement réparties suivant une direction inclinée de 45° sur l'horizontale à raison de 3 millimètres d'eau par minute, une tolérance de ± 10 pour cent étant admise sur la valeur de cette précipitation.

Lors des essais, les traversées doivent être disposées approximativement dans leur position normale d'emploi et orientées par rapport à la pluie dans le sens présumé le plus favorable à l'amorçage. La traversée est arrosée pendant 5 minutes au moins par la pluie ci-dessus immédiatement avant l'application de la tension d'essai, et la pluie est maintenue pendant la durée de l'essai.

La vérification de la tenue sous tension s'effectue comme suit :

La tension d'essai est appliquée entre le conducteur intérieur de la traversée et son collier de fixation.

La montée de la tension jusqu'à la valeur prescrite est effectuée progressivement le plus rapidement possible. La valeur prescrite de la tension est maintenue pratiquement constante pendant une minute.

Before the test, the surfaces of insulation shall be carefully cleaned.

Oil or compound filled bushings shall be filled to the normal service level with the quality of oil or compound specified by the manufacturer.

For bushings intended to be immersed in compound either completely or partially, the compound shall be replaced by insulating oil for the purpose of the dielectric tests, unless otherwise specified.

Standard atmospheric conditions for dielectric tests are:

barometric pressure: 1014 mbar (760 mm Hg)

ambient temperature: 20°C

absolute humidity: 11 g/m³ of water vapour

When the atmospheric conditions during the test differ from standard and the correction factor as defined in I.E.C. Publication 52 corresponding to the conditions existing at the time of the test is higher than or equal to 0.95, no correction shall be made to the test voltage values given in the tables below.

If the atmospheric conditions correspond to a correction factor less than 0.95, special agreement will be required to determine whether the test shall continue or be postponed, and, if necessary, the corrections to be employed.

19. One-minute power-frequency withstand voltage test when dry and when wet

The dry one-minute power-frequency withstand voltage test is a routine test.

The wet one-minute power-frequency withstand voltage test is a type test and is only made on outdoor, outdoor-indoor and outdoor-immersed bushings.

The frequency of the alternating test voltage shall be between 15 and 60 Hz (c/s) inclusive.

The test voltage shall be of approximately sine-wave form and the peak value shall be measured. This peak value shall equal the appropriate value given by Table I or Table II, multiplied by $\sqrt{2}$.

The short-circuit current of the test circuit shall be at least 0.3 A if the bushing under test is short-circuited when the applied voltage is equal to the test voltage.

The artificial rain used for the wet tests shall be composed of water with a resistivity of 100 ohm-metres with a tolerance of ± 10 per cent. It shall fall in fine drops regularly spaced in a direction inclined at 45° to the horizontal at a rate of 3 millimetres of water per minute, with a tolerance of ± 10 per cent upon the rate of precipitation.

During the test, the bushing shall be arranged in a position approximating to that in normal service and the position, relative to the rain, shall be in the sense presumed to be most favourable to flashover. The artificial rain shall impinge on the bushing for at least 5 minutes immediately before the test voltage is applied and shall continue during the test.

The withstand voltage test shall be made as follows:

The test voltage shall be applied between the conductor of the bushing and the fixing flange.

The voltage shall be increased to the specified value as rapidly as possible and this value of voltage shall be maintained practically constant for one minute.

A l'expiration de ce délai, la tension d'essai doit être réduite à une faible valeur, aussi rapidement que possible, avant d'effectuer la coupure.

Pendant toute la durée d'application de la tension d'épreuve, il ne doit se produire ni contournement, ni perforation.

La mesure de la tension d'essai doit être effectuée conformément à la Publication 52 de la C.E.I., Recommandations pour la mesure des tensions au moyens d'éclateurs à sphères (une sphère à la terre) ou par une méthode quelconque dont l'exactitude peut être contrôlée par un éclateur à sphères. La tension doit être mesurée directement sur la traversée.

Note. — Voir aussi la Publication 60 (1962) de la C.E.I.

Lorsque les conditions précédentes ne peuvent être satisfaites, toute autre méthode de mesure de la tension pendant l'essai est admissible, à condition que l'on puisse s'assurer que pendant toute la durée de l'épreuve la tension appliquée garde la valeur prescrite.

Les valeurs des tensions d'épreuve à fréquence industrielle sont celles indiquées aux tableaux ci-après:

Note. — Les pratiques particulières à certains pays pour les essais à fréquence industrielle sont indiquées temporairement en application de la Publication N° 71 (1960).

TABLEAU I

Traversées de tension nominale inférieure ou égale à 72,5 kV

(basé sur la pratique courante d'un groupe de pays européens)
applicable aux traversées d'extérieur et d'intérieur en situation exposée ou non exposée

Tension nominale de la traversée kV	Valeurs efficaces des tensions d'essai (à sec et sous pluie) kV
3,6	21
7,2	27
12	35
17,5	45
24	55
36	75
52	105
72,5	140

TABLEAU II

Traversées de tension nominale égale ou supérieure à 100 kV

(basé sur la pratique courante d'un groupe de pays européens)
applicable aux traversées d'extérieur et d'intérieur en situation exposée ou non exposée

Tension nominale de la traversée kV	Valeurs efficaces des tensions d'essai à sec et sous pluie	
	Pleine isolation kV	Isolation réduite kV
100	185	150
123	230	185
145	275	230
170	325	275
245	460	395
300	— ¹⁾	460
420	— ¹⁾	630

¹⁾ Pour les valeurs de la tension nominale de 300 et 420 kV il n'est pas indiqué de valeur de tension d'épreuve, car les réseaux des catégories a), b) et c) ii) (article 8) ne sont pas envisagés pour ces tensions.

At the end of the specified time, the test voltage shall be reduced as rapidly as possible to a low value before switching off.

During the whole period for which the test voltage is applied, there shall be neither flashover nor puncture.

The test voltage shall be measured in accordance with the requirements of I.E.C. Publication 52, Recommendations for voltage measurements by means of sphere-gaps (one sphere earthed) or by any method of which the accuracy can be checked by a sphere-gap. The voltage shall be measured directly on the bushing.

Note. — See also I.E.C. Publication 60 (1962).

However, when the above conditions cannot be met, any method of measurement of the voltage during the test is permitted, provided that it is possible to ascertain during the whole duration of the test that the specified test voltage is maintained.

The values of power-frequency test voltages are shown in the following tables.

Note. — Particular practices of certain countries for power-frequency tests are indicated provisionally according to Publication 71 (1960).

TABLE I

Bushings of rated voltage equal to or less than 72.5 kV
(based on current practice of a group of European countries)
applicable to outdoor and indoor bushings in both exposed and non-exposed situations

Rated voltage of the bushing kV	R.M.S. value of test voltage (dry and wet conditions) kV
3.6	21
7.2	27
12	35
17.5	45
24	55
36	75
52	105
72.5	140

TABLE II

Bushings of rated voltage equal to or greater than 100 kV
(based on current practice of a group of European countries)
applicable to outdoor and indoor bushings in both exposed and non-exposed situations

Rated voltage of bushing kV	R.M.S. value of the test voltage (dry and wet conditions)	
	Full insulation kV	Reduced insulation kV
100	185	150
123	230	185
145	275	230
170	325	275
245	460	395
300	— ¹⁾	460
420	— ¹⁾	630

¹⁾ For the rated voltages equal to 300 and 420 kV, no full insulation values are indicated, as a), b) and c)ii) system conditions (Clause 8) are not considered in this range.

TABLEAU III

Traversées de tension nominale supérieure ou égale à 2,75 kV

(basé sur la pratique courante au Canada et aux Etats-Unis)
applicable aux traversées d'extérieur et d'intérieur en situation exposée ou non-exposée

Tension nominale de la traversée kV	Valeurs efficaces des tensions d'essais*	
	1 min à sec kV	10 s sous pluie kV
2,75	21	20
5,5	27	24
9,52	35	30
15,5	50	45
25,8	70	70
38,0	95	95
48,3	120	120
72,5	175	175
100,0	225	190
123,0	280	230
145,0	335	275
170,0	385	315
245,0	545	445

* L'attention est attirée sur les conditions normalisées d'exécution des essais, un peu différentes de celles énoncées dans l'article 19, qui sont valables en relation avec les valeurs de tensions d'essais et les durées portées dans ce tableau et qui sont les suivantes:

Température ambiante 25°C (77°F)
Pression atmosphérique 1 014 mbar ou 760 mm Hg
Humidité-pression partielle de vapeur d'eau 15,45 mm Hg

Pour la pluie artificielle:

Résistivité de l'eau 17 800 ohm.cm (7000 ohm/in³)
Débit 5,08 mm/mn (0,2 in/mn)
Angle d'inclinaison 45°

Notes 1) — Le tableau ci-dessus ayant été communiqué en 1959, s'assurer que les normes nationales dont il est tiré n'ont pas été modifiées depuis cette date.

2) — La procédure d'essais sous pluie selon la pratique américaine est proposée par le Comité d'Etudes N° 42 pour être ajoutée dans les Recommandations pour la technique des essais à haute tension.

TABLE III

Bushings of rated voltage equal to or greater than 2.75 kV

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

applicable to outdoor and indoor bushings in both exposed and non-exposed situations

Rated voltage of bushing kV	R.M.S. value of the test voltage*	
	1 min dry kV	10 s wet kV
2.75	21	20
5.5	27	24
9.52	35	30
15.5	50	45
25.8	70	70
38.0	95	95
48.3	120	120
72.5	175	175
100.0	225	190
123.0	280	230
145.0	335	275
170.0	385	315
245.0	545	445

* Attention is drawn to the standard test conditions corresponding to the test voltages and duration shown in this table and which differ slightly from those indicated in Clause 19:

Air temperature 25°C (77°F)
Barometric pressure 760 mm Hg or 1 014 mbar (29.92 in. Hg)
Humidity-vapour pressure 15.45 mm Hg (0.6085 in)

Artificial rain:

Water resistivity 17 800 ohm.cm (7 000 ohm/in³)
Rate of precipitation 5.08 mm/mn (0.2 in/mn)
Angle of precipitation 45°

Notes 1) — The above table being based on data supplied in 1959, it should be checked that the relevant national standards have not been altered since that date.

2) — The wet test procedure following the American practice is proposed by Technical Committee No. 42 for inclusion in the Recommendations for high-voltage test techniques.

TABLEAU IV

(basé sur la pratique courante en U.R.S.S.)

Tension nominale de la traversée kV (1)	Valeurs efficaces des tensions d'essai		
	Essai à sec 1 min	Essais de courte durée (selon la méthode décrite à l'art. 20)	
		à sec kV	sous pluie kV
	(pleine isolation)		
3,7	25	27	20
7,2	32	36	26
12	42	47	34
17,5	57	63	45
24	68	75	55
(40,5)	(100)	(110)	(85)
	(isolation réduite)		
123	265	295	215
170	340	375	290
245	490	550	425

¹⁾ La série européenne de tensions normalisées a été acceptée par l'U.R.S.S. malgré de légères différences par rapport à ses normes nationales. La tension de 40,5 kV (indiquée entre parenthèses) est particulière à l'U.R.S.S. Les tensions normalisées qui ne figurent pas dans ce tableau ne sont pas en usage dans ce pays.

Note. — Le tableau ci-dessus ayant été communiqué en 1960, s'assurer que les normes nationales dont il est tiré n'ont pas été modifiées depuis cette date.

TABLE IV

(based on current practice in the U.S.S.R.)

Rated voltage of bushing kV (1)	R.M.S value of test voltage		
	Dry conditions 1 min	Short-duration tests (following the procedure described in Cl. 20)	
		dry kV	wet kV
	(full insulation)		
3.7	25	27	20
7.2	32	36	26
12	42	47	34
17.5	57	63	45
24	68	75	55
(40.5)	(100)	(110)	(85)
	(reduced insulation)		
123	265	295	215
170	340	375	290
245	490	550	425

¹⁾ The European series of standard voltages has been accepted by the U.S.S.R. in spite of slight differences in comparison with their national standards. 40.5 kV (between brackets) is a voltage level special to the U.S.S.R., given for information. The standard voltages which do not appear in the table are not in use in that country.

Note. — The above table being based on data supplied in 1960, it should be checked that the relevant national standards have not been altered since that date.

20. Vérification de la tenue sous tension à fréquence industrielle à sec pendant une courte durée (pour situation non exposée)

La vérification de la tenue sous tension à fréquence industrielle à sec pendant une courte durée n'est applicable qu'aux traversées pour situation non exposée; elle est considérée comme un essai de type.

La tension d'épreuve doit avoir une fréquence comprise entre 15 et 60 Hz inclusivement.

La forme de l'onde de la tension d'essai doit être pratiquement sinusoïdale. La valeur de crête de cette onde doit être égale à la valeur appropriée de la tension donnée au tableau approprié de l'article 19, augmentée de 15 pour cent et multipliée par $\sqrt{2}$.

Le circuit d'essai doit être tel que le courant qui s'établirait si la traversée en essai était mise en court-circuit, lorsque la tension qui lui est appliquée est égale à la tension d'essai, soit au moins égal à 0,3 A

La vérification s'effectue comme suit:

La tension d'essai est appliquée entre le conducteur intérieur de la traversée et son collier de fixation.

La montée de la tension jusqu'à la valeur prescrite est effectuée progressivement le plus rapidement possible. La valeur prescrite de la tension est maintenue pendant le temps nécessaire pour la lecture des appareils de mesure; elle est ramenée ensuite à une faible valeur aussi rapidement que possible, avant d'effectuer la coupure.

Au cours de cette épreuve, il ne doit se produire ni contournement, ni perforation.

21. Vérification de la tenue aux ondes de choc à sec (traversées pour situation exposée)

La vérification de la tenue aux ondes de choc n'est pas applicable aux traversées pour situation non exposée. Elle doit être considérée comme un essai de type.

Les essais de tenue aux chocs doivent être exécutés conformément à la Publication 60 (1962) de la C.E.I., Essais à haute tension.

Il sera appliqué successivement entre le conducteur intérieur de la traversée et son collier de fixation 5 ondes de choc complètes positives et 5 ondes de choc complètes négatives de la forme normalisée 1/50 et dont la valeur de crête est donnée aux tableaux appropriés ci-après.

Note. — La Publication 60 (1962) définit l'onde de choc normale comme une onde de la forme 1,2/50 μ s, et non 1/50 μ s. Cette différence provient du fait que la présente recommandation a été élaborée avant l'approbation définitive de la Publication 60 (1962).

Au cours de ces essais, il ne doit se produire ni contournement, ni perforation.

Dans le cas où, au cours de l'une des séries de 5 chocs, un contournement aurait lieu, une nouvelle série de 5 chocs de même polarité devrait être exécutée. Si au cours de la nouvelle série un contournement se produit, la traversée est considérée comme non conforme aux présentes règles.

20. The dry short-duration power-frequency withstand voltage test (*bushings for non-exposed installations*)

The dry short-duration power-frequency withstand voltage test shall be made only on bushings for use in non-exposed installations; it shall be considered to be a type test.

The frequency of the test voltage shall be between 15 and 60 Hz (c/s) inclusive.

The test voltage shall be of approximately sine-wave form and the peak value shall be measured. This value shall equal the appropriate value given in the applicable table above, increased by 15 per cent and multiplied by $\sqrt{2}$.

The short-circuit current of the test circuit shall be at least 0.3 A if the bushing under test is short-circuited when the applied voltage is equal to the test voltage.

The short-duration test shall be made as follows:

The test voltage shall be applied between the conductor of the bushing and the fixing flange.

The voltage shall be increased to the specified value as rapidly as possible, and this value of voltage shall be maintained for the time necessary for the reading of the measuring instrument; it shall then be reduced as rapidly as possible to a low value before switching off.

During this test, there shall be neither flashover nor puncture.

21. The dry impulse withstand voltage test (*bushings for exposed installations*)

The dry impulse withstand voltage test shall not be made on bushings designed for use in non-exposed installations. This test shall be regarded as a type test and shall be carried out in accordance with I.E.C. Publication 60 (1962), High-voltage test techniques.

The bushings shall be subjected to five full-wave impulses of positive polarity and five full-wave impulses of negative polarity of the standard waveform 1/50 having the relevant peak values of voltage given in the following tables, the voltage being applied between the internal conductor and the fixing flange.

Note.— Publication 60 (1962) defines the standard waveform as 1.2/50 μ s instead of 1/50 μ s. This difference arises from the fact that the present recommendation was drafted before Publication 60 (1962) was finally approved.

During these tests no flashover or puncture shall occur.

If, during the course of a series of five impulse tests, flashover occurs, a further series of five impulses of the same polarity shall be applied to the bushing under test. If, during the course of this second series, flashover occurs once, the bushing is deemed not to comply with this recommendation.

TABLEAU V

Valeurs de crête des ondes de choc d'essai
Traversées de tension nominale inférieure ou égale à 72,5 kV

a) SERIE I, basée sur la pratique courante d'un groupe de pays européens

Tension nominale de la traversée kV	Tension de tenue au choc Onde 1/50 positive et négative kV (crête)
3,6	45
7,2	60
12	75
17,5	95
24	125
36	170
52	250
72,5	325

b) SERIE II, basée sur la pratique courante au Canada et aux U.S.A.

Tension nominale de la traversée kV	Tension de tenue au choc Onde 1/50 positive et négative kV (crête)
2,75	60
3,5	75
9,52	95
15,5	110
25,8	150
38,0	200
48,3	250
72,5	350

c) SERIE I, essais effectués selon la pratique courante en U.R.S.S.

Tension nominale de la traversée kV (1)	Tension de tenue au choc Onde 1,5/40 positive et négative kV (crête)
3,6	44
7,2	60
12	80
17,5	105
24	125
(40,5)	(195)

¹⁾ Voir les notes du Tableau IV, page 34.

TABLE V

Peak values of impulse test voltages

Bushings of rated voltage equal to or less than 72.5 kV

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

Rated voltage of bushing kV	Impulse withstand voltage 1/50 impulse positive and negative kV (peak)
3.6	45
7.2	60
12	75
17.5	95
24	125
36	170
52	250
72.5	325

b) SERIES II, based on current practice in Canada and the U.S.A.

Rated voltage of bushing kV	Impulse withstand voltage 1/50 impulse positive and negative kV (peak)
2.75	60
5.5	75
9.52	95
15.5	110
25.8	150
38.0	200
48.3	250
72.5	350

c) SERIES I, tests carried out in accordance with the current practice in the U.S.S.R.

Rated voltage of bushing kV (1)	Impulse withstand voltage 1.5/40 impulse positive and negative kV (peak)
3.6	44
7.2	60
12	80
17.5	105
24	125
(40.5)	(195)

¹⁾ See the footnotes to Table IV, page 35.