

NORME INTERNATIONALE INTERNATIONAL STANDARD



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CEI
IEC
76-3-1

Première édition
First edition
1987

DEUXIÈME IMPRESSION
SECOND IMPRESSION
1991

Transformateurs de puissance

Troisième partie Niveaux d'isolement et essais diélectriques
Distances d'isolement dans l'air

Power transformers

Part 3: Insulation levels and dielectric tests
External clearances in air

Publication
76-3-1 1987

Révision de la présente publication

Le contenu technique des publications de la CEI est constamment revu par la Commission afin d'assurer qu'il reflète bien l'état actuel de la technique.

Les renseignements relatifs à ce travail de révision à l'établissement des éditions révisées et aux mises à jour peuvent être obtenus auprès des Comités nationaux de la CEI et en consultant les documents ci-dessous:

- **Bulletin de la CEI**
- **Annuaire de la CEI**
- **Catalogue des publications de la CEI**
Publié annuellement

Terminologie

En ce qui concerne la terminologie générale, le lecteur se reportera à la Publication 50 de la CEI: Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) qui est établie sous forme de chapitres séparés traitant chacun d'un sujet défini. L'Index général étant publié séparément. Des détails complets sur le VEI peuvent être obtenus sur demande.

Les termes et définitions figurant dans la présente publication ont été soit repris du VEI soit spécifiquement approuvés aux fins de cette publication.

Symboles graphiques et littéraux

Pour les symboles graphiques, symboles littéraux et signes d'usage général approuvés par la CEI, le lecteur consultera:

- la Publication 27 de la CEI: Symboles littéraux à utiliser en électrotechnique
- la Publication 617 de la CEI: Symboles graphiques pour schémas

Les symboles et signes contenus dans la présente publication ont été soit repris des Publications 27 ou 617 de la CEI soit spécifiquement approuvés aux fins de cette publication.

Publications de la CEI établies par le même Comité d'Etudes

L'attention du lecteur est attirée sur le deuxième feuillet de la couverture qui énumère les publications de la CEI préparées par le Comité d'Etudes qui a établi la présente publication.

Revision of this publication

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC thus ensuring that the content reflects current technology.

Information on the work of revision, the issue of revised editions and amendment sheets may be obtained from IEC National Committees and from the following IEC sources:

- **IEC Bulletin**
- **IEC Yearbook**
- **Catalogue of IEC Publications**
Published yearly

Terminology

For general terminology, readers are referred to IEC Publication 50: International Electrotechnical Vocabulary (IEV), which is issued in the form of separate chapters each dealing with a specific field, the General Index being published as a separate booklet. Full details of the IEV will be supplied on request.

The terms and definitions contained in the present publication have either been taken from the IEV or have been specifically approved for the purpose of this publication.

Graphical and letter symbols

For graphical symbols and letter symbols and signs approved by the IEC for general use, readers are referred to:

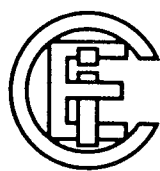
- IEC Publication 27: Letter symbols to be used in electrical technology;
- IEC Publication 617: Graphical symbols for diagrams

The symbols and signs contained in the present publication have either been taken from IEC Publications 27 or 617, or have been specifically approved for the purpose of this publication.

IEC publications prepared by the same Technical Committee

The attention of readers is drawn to the back cover, which lists IEC publications issued by the Technical Committee which has prepared the present publication.

NORME INTERNATIONALE INTERNATIONAL STANDARD



Commission Electrotechnique Internationale

International Electrotechnical Commission

Международная Электротехническая Комиссия

CEI
IEC
76-3-1

Première édition
First edition
1987

DEUXIÈME IMPRESSION
SECOND IMPRESSION
1991

Transformateurs de puissance

Troisième partie Niveaux d'isolement et essais diélectriques
Distances d'isolement dans l'air

Power transformers

Part 3 Insulation levels and dielectric tests
External clearances in air

© CEI 1987 Droits de reproduction réservés — Copyright all rights reserved

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

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

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale 3, rue de Varembe Genève, Suisse

SOMMAIRE

PRÉAMBULE	Pages
PRÉFACE	4
Articles	
1 Introduction	6
2 Généralités	8
3 Spécifications des distances d'isolement des traversées à partir des niveaux de tenue de l'isolation du transformateur	8
3 1 Enroulements pour lesquels $U_m < 300$ kV	10
3 2 Enroulements pour lesquels $U_m \geq 300$ kV – Transformateur spécifié suivant la méthode 1	10
3 3 Enroulements pour lesquels $U_m \geq 300$ kV – Transformateur spécifié suivant la méthode 2	10
TABLEAUX	14
FIGURES	22

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
PREFACE	5
Clause	
1 Introduction	7
2 General	9
3 Bushing clearance requirements as determined by transformer insulation withstand voltages	9
3 1 Windings with $U_m < 300$ kV	11
3 2 Windings with $U_m \geq 300$ kV – Transformer specified according to Method 1	11
3 3 Windings with $U_m \geq 300$ kV – Transformer specified according to Method 2	11
TABLES	15
FIGURES	22

Withd 2021
IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60076-3-1/1987

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

TRANSFORMATEURS DE PUISSANCE**Troisième partie: Niveaux d'isolement et essais diélectriques****Distances d'isolement dans l'air**

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 l'unification internationale, la CEI exprime le vœu que tous les Comités nationaux adoptent dans leurs règles nationales le texte de la recommandation de la CEI, dans la mesure où les conditions nationales le permettent. Toute divergence entre la recommandation de la CEI et la règle nationale correspondante doit, dans la mesure du possible, être indiquée en termes clairs dans cette dernière.

PRÉFACE

La présente norme a été établie par le Comité d'Etudes n° 14 de la CEI: Transformateurs de puissance

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

Règle des Six Mois	Rapport de vote
14(BC)59 14(BC)59A	14(BC)62

Pour de plus amples renseignements, consulter le rapport de vote mentionné dans le tableau ci-dessus

Les publications suivantes de la CEI sont citées dans la présente norme

- Publications n°s 60-2 (1973): Technique des essais à haute tension, Deuxième partie: Modalités d'essais
 71-1 (1976): Coordination de l'isolement, Première partie: Termes, définitions, principes et règles
 71-3 (1982): Troisième partie: Coordination de l'isolement entre phases Principes, règles et guide d'application
 76-3 (1980): Transformateurs de puissance, Troisième partie: Niveaux d'isolement et essais diélectriques
 137 (1984): Traversées isolées pour tensions alternatives supérieures à 1 000 V

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

POWER TRANSFORMERS**Part 3: Insulation levels and dielectric tests****External clearances in air**

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 international unification, the IEC expresses the wish that all National Committees should adopt the text of the IEC recommendation for their national rules in so far as national conditions will permit. Any divergence between the IEC recommendation and the corresponding national rules should, as far as possible, be clearly indicated in the latter

PREFACE

This standard has been prepared by IEC Technical Committee No 14: Power Transformers

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

Six Months' Rule	Report on Voting
14(CO)59 14(CO)59A	14(CO)62

Further information can be found in the Report on Voting indicated in the table above

The following IEC publications are quoted in this standard

- Publications Nos 60-2 (1973): High-voltage Test Techniques, Part 2: Test Procedures
71-1 (1976): Insulation Co-ordination, Part 1: Terms, Definitions, Principles and Rules
71-3 (1982): Part 3: Phase-to-phase Insulation Co-ordination Principles, Rules and Application Guide
76-3 (1980): Power Transformers, Part 3: Insulation Levels and Dielectric Tests
137 (1984): Bushings for Alternating Voltages above 1 000 V

TRANSFORMATEURS DE PUISSANCE

Troisième partie: Niveaux d'isolement et essais diélectriques

Distances d'isolement dans l'air

1 Introduction

La présente norme spécifie les distances d'isolement dans l'air entre parties sous tension des traversées des transformateurs de puissance immergés dans l'huile et aussi par rapport aux objets à la terre

Dans cette norme, on entend par distances d'isolement dans l'air les distances où le champ électrostatique n'est pas perturbé par la présence des isolateurs des traversées. Cette norme ne traite pas des exigences relatives à la ligne de fuite ou à la distance d'amorçage le long de l'isolateur de la traversée. Elle ne prend pas non plus en compte le risque de pénétration d'oiseaux ou d'animaux.

Les niveaux d'isolement et les essais diélectriques spécifiés dans la Publication 76-3 de la CEI: Transformateurs de puissance, Troisième partie: Niveaux d'isolement et essais diélectriques, ne s'appliquent – pour les transformateurs de puissance immergés dans l'huile – qu'à l'isolation interne (voir le début de l'article 2 de cette publication).

Il est raisonnable de prendre les valeurs des tensions de tenue assignées spécifiées pour l'isolation interne du transformateur également comme référence pour son isolation externe. Cependant, cela n'est pas nécessairement toujours vrai. Un défaut de l'isolation interne non autorégénératrice est catastrophique et entraîne, généralement, des indisponibilités de longue durée alors qu'un amorçage externe n'a pour conséquence qu'une coupure brève sans détérioration. Par conséquent, l'utilisateur peut être amené, pour une meilleure sûreté, à spécifier des tensions d'essais plus élevées pour l'isolation interne du transformateur que pour l'isolation externe des autres équipements du réseau. En cas d'une telle distinction, les distances d'isolement externes du transformateur seront rapportées aux niveaux d'isolement spécifiés pour les isolations externes.

Pour l'établissement des exigences de la présente norme relatives aux niveaux de tension les plus élevés, on a considéré que les extrémités de traversées avaient normalement une forme d'électrode arrondie. Les distances d'isolement spécifiées s'appliquent à de telles électrodes. On suppose que les pièces de fixation des conducteurs et les écrans de répartition de tension associés ont une forme telle qu'ils ne réduisent pas la tension d'amorçage. On suppose également que la disposition des arrivées de conducteurs ne réduit pas les distances d'isolement assurées au niveau du transformateur même.

Note – Lorsque l'utilisateur envisage de réaliser son raccordement de telle sorte que la distance d'isolement effective risque d'être réduite, il convient d'en faire mention dans l'appel d'offre.

En général, principalement pour les niveaux de tension élevés, il devient techniquement difficile de prescrire des distances d'isolement adéquates, en particulier pour les unités de dimensions relativement faibles ou quand l'espace disponible est limité. Le principe suivi pour établir les recommandations de la présente norme est de donner des distances d'isolement suffisamment larges et non critiques qui puissent satisfaire différentes conditions de réseau et de climat sans conduire à des discussions ni nécessiter de justification complémentaire. Quand l'adéquation de distances inférieures a été démontrée par une large expérience antérieure, il n'y a, bien sûr, aucune raison de les changer.

POWER TRANSFORMERS

Part 3: Insulation levels and dielectric tests

External clearances in air

1 Introduction

This standard specifies clearances in air between live parts of bushings on oil-immersed power transformers and to objects at earth potential

Clearances in air are understood to mean, in this standard, distances where the electrostatic field is free from disturbance by insulator bodies. The standard does not deal with the requirements of effective flashover distance or creepage distance along the bushing insulators nor does it consider the risk from intrusion of birds or animals.

The insulation levels and dielectric tests which are specified in IEC Publication 76-3: Power Transformers, Part 3: Insulation Levels and Dielectric Tests, apply, for oil-immersed transformers, to the internal insulation only (see beginning of Clause 2 of that publication)

It is reasonable that the rated withstand voltage values which are specified for the internal insulation of the transformer should also be taken as a reference for its external insulation. This may, however, not be true in all cases. A failure of the non-self-restoring internal insulation is catastrophic and normally leads to the transformer being out of service for a long period, while an external flashover may involve only a short interruption of service without causing lasting damage. Therefore it may be that, for increased safety, higher test voltages are specified by the user for the internal insulation of the transformer than for the external insulation of other components in the system. If such a distinction is made, the external clearances on the transformer should be referred instead to those specified for external insulation withstand voltages.

When establishing the requirements of the present standard in the higher voltage ranges, it has been recognized that the bushing ends normally have a rounded electrode shape. The clearance requirements are valid between such rounded electrodes. It is assumed that conductor clamps with their associated shield electrodes are suitably shaped so that they do not reduce the flashover voltage. It is also assumed that the arrangement of incoming conductors does not reduce the effective clearances provided by the transformer itself.

Note – If the user intends to make his connection in a particular way which is likely to reduce the effective clearances, this should be mentioned in the enquiry.

In general, the provision of adequate clearances in air becomes technically difficult mainly at high system voltages, particularly for relatively small units, or when the installation space is restricted. The principle followed in the recommendations of this standard is to provide ample, non-critical clearances which are satisfactory without further discussion or proof under various system conditions and in different climates. Where extensive previous experience has indicated that smaller clearances are adequate, there is obviously no need to change.

2 Généralités

Les distances d'isolement recommandées se réfèrent aux niveaux de tension de tenue assignées de l'isolation interne du transformateur, sauf spécification particulière mentionnée à l'appel d'offre et à la commande. Quand les distances d'isolement du transformateur sont égales ou supérieures aux valeurs spécifiées dans la présente norme et que les grandeurs assignées associées aux traversées ont été correctement choisies conformément à la Publication 137 de la CEI: Traversées isolées pour tensions alternatives supérieures à 1 000 V, l'isolation externe du transformateur est considérée satisfaisante sans essai complémentaire.

Notes 1 – La tenue au choc de l'isolation externe dépend de la polarité, contrairement à ce qui est admis pour l'isolation interne. Les essais prescrits pour l'isolation interne du transformateur ne permettent pas de vérifier automatiquement que l'isolation externe est satisfaisante. Les distances d'isolement recommandées se réfèrent à la polarité la plus contraignante (positive).

2 – Il est admis de maintenir des distances d'isolement plus faibles sans discussion ou essai complémentaire lorsqu'elles correspondent à une pratique nationale bien établie et largement justifiée par écrit.

Si une distance d'isolement inférieure à celle considérée ci-dessus est spécifiée dans un contrat, un essai de type sur un arrangement simulant la distance réelle ou sur le transformateur même peut être exigé. Dans ce cas, les procédures d'essais recommandées sont indiquées.

Si le transformateur est spécifié pour être exploité à une altitude supérieure à 1 000 m, les distances d'isolement doivent être augmentées d'un pour cent tous les 100 m au-delà de 1 000 m.

Les recommandations s'appliquent aux distances d'isolement suivantes:

- distance d'isolement phase-terre et phase-neutre;
- distance d'isolement phase-terre entre phases d'un même enroulement;
- distance d'isolement entre une borne de ligne de l'enroulement haute tension et une borne de ligne d'un enroulement à tension plus basse.

De ce qui précède, il s'ensuit que les valeurs recommandées sont en fait des valeurs minimales. Les distances d'isolement définies à la conception doivent être précisées sur le plan d'encombrement. Ce sont des valeurs nominales auxquelles s'appliquent les tolérances normales de fabrication et elles doivent être choisies de telle sorte que les distances d'isolement réelles soient au moins égales à celles spécifiées. Ces informations serviront à prouver que le transformateur est bien conforme aux recommandations de cette norme, ou à d'autres valeurs éventuellement spécifiées au contrat particulier.

3 Spécifications des distances d'isolement des traversées à partir des niveaux de tenue de l'isolation du transformateur

Les exigences précisées ci-dessous sont déterminées en fonction de la tension U_m de l'enroulement et de la façon dont est défini l'isolement du transformateur.

La Publication 71-1 de la CEI: Coordination de l'isolement, Première partie: Termes, définitions, principes et règles, traite de la coordination des isollements phase-terre. La Publication 71-3 de la CEI: Troisième partie: Coordination de l'isolation entre phases – Principes, règles et guide d'application, traite de la coordination des isollements entre phases. Les Publications 71-1 et 71-3 de la CEI prennent comme référence différentes tensions de tenue en fonction des différentes gammes de valeurs de U_m . Dans les gammes A et B ($U_m < 300$ kV), les valeurs des tensions de référence sont la tension à fréquence industrielle et le choc de foudre. Dans la gamme C ($U_m \geq 300$ kV), la valeur de la tension de référence pour les distances d'isolement externe est le choc de manœuvre. Pour plus de détails, voir les introductions des paragraphes 3.2 et 3.3 de la présente norme. Le passage des tensions de tenue assignées aux distances d'isolement dans la présente norme suit, en général, les indications des Publications 71-1 et 71-3 de la CEI.

2 General

The recommended clearances are referred to the rated withstand voltage values of the internal insulation of the transformer, unless otherwise specified in the enquiry and order. When the clearances of the transformer are equal to or larger than the values specified in this standard and the bushings have properly selected ratings according to IEC Publication 137: Bushings for Alternating Voltages above 1 000 V, then the external insulation of the transformer shall be regarded as satisfactory without further testing.

Notes 1 – The impulse withstand strength of the external insulation is polarity dependent, in contrast to what is assumed for the internal insulation. The tests prescribed for the internal insulation of the transformer do not automatically verify that the external insulation is satisfactory. The recommended clearances are dimensioned for the more onerous polarity (positive).

2 – It is recognized that in some cases good experience with well documented national practice allows the continuing use of established smaller clearances without further discussion or testing.

If a clearance smaller than that according to the paragraph above has been used for a contract, a type test may be required on an arrangement simulating the actual clearance, or on the transformer itself. Recommended test procedures for such cases are given.

If the transformer is specified for operation at an altitude higher than 1 000 m, the clearance requirements have to be increased by 1% for every 100 m by which the altitude exceeds 1 000 m.

Requirements are given for the following clearances:

- clearance phase-to-earth and phase-to-neutral;
- clearance phase-to-phase between phases of the same winding;
- clearance between a line terminal of the high voltage winding and a line terminal of a lower voltage winding.

It follows from the above that the recommended values are in effect minimum values. The design clearances shall be stated on the outline drawing. These are nominal values subject to normal manufacturing tolerances and they have to be selected so that the actual clearances will be at least equal to the specified values. These statements shall be taken as proof that the transformer complies with the recommendations of the standard, or with the modified values which may have been agreed for the particular contract.

3 Bushing clearance requirements as determined by transformer insulation withstand voltages

The requirements are formulated as described below, depending on the U_m voltage value of the winding, and on the method of specifying the transformer insulation.

IEC Publication 71-1: Insulation Co-ordination, Part 1: Terms, Definitions, Principles and Rules, deals with phase-to-earth insulation co-ordination. IEC Publication 71-3: Part 3: Phase-to-phase Insulation Co-ordination – Principles, Rules and Application Guide, deals with phase-to-phase insulation co-ordination. IEC Publications 71-1 and 71-3 make use of different reference withstand voltages for different ranges of U_m voltages. In Ranges A and B ($U_m < 300$ kV) the reference voltages are power frequency voltage and lightning impulse voltage. In Range C ($U_m \geq 300$ kV) the reference voltage for external clearance is a switching impulse voltage. For further details see the introductions to Sub-clauses 3.2 and 3.3 of this standard. The conversion from rated withstand voltages to clearances in this standard is generally along the lines of IEC Publications 71-1 and 71-3.

3 1 Enroulements pour lesquels $U_m < 300 \text{ kV}$

La même distance doit être appliquée aux isolements phase-terre, phase-neutre, phase-phase et par rapport aux bornes d'un enroulement à tension plus basse

Les tableaux I et II donnent les distances d'isolement minimales recommandées pour les tensions normalisées considérées dans les tableaux II et III de la Publication 76-3 de la CEI

Si, pour une distance inférieure, un essai de type doit être réalisé, ce doit être un essai au choc de foudre, à sec, comportant trois chocs de polarité positive et de tensions d'essai conformes aux tableaux I et II respectivement

3 2 Enroulements pour lesquels $U_m \geq 300 \text{ kV}$ – Transformateur spécifié suivant la méthode 1

Pour les matériels dont U_m est dans cette gamme de tensions, la Publication 71-3 de la CEI spécifie des exigences différentes pour les isolations phase-terre et phase-phase. Les isolements dans l'air sont définis à partir des chocs de manœuvre. Cependant, les transformateurs spécifiés suivant la méthode 1 de la Publication 76-3 de la CEI n'ont pas de valeur assignée de tenue au choc de manœuvre

Les distances minimales recommandées au tableau III ont été choisies, sur la base même de U_m , parmi les valeurs des distances d'isolement normalisées considérées dans le tableau IV. On considère, en effet, que les exigences relatives à l'isolation externe doivent être les mêmes que l'isolation interne soit essayée suivant la méthode 1 ou la méthode 2

Les distances d'isolement phase-terre au tableau III s'appliquent aussi aux distances par rapport aux bornes des enroulements de tension inférieure (Un examen particulier des distances d'isolement peut cependant s'avérer nécessaire en cas de rapport de transformation ou de couplage inhabituels)

3 2 1 Procédure de l'essai de type

Si un essai de type pour une distance inférieure est exigé, il doit être réalisé conformément au paragraphe 3 3 3. La tension d'essai est définie comme suit:

- déterminer la valeur normalisée de la distance d'isolement;
- à partir de la courbe appropriée des figures 1 ou 2, page 22, déduire la tension de tenue au choc de manœuvre correspondant à cette distance d'isolement normalisée. C'est cette valeur qui doit être utilisée

3 3 Enroulements pour lesquels $U_m \geq 300 \text{ kV}$ – Transformateur spécifié suivant la méthode 2

Les transformateurs spécifiés suivant la méthode 2 ont une tension de tenue assignée au choc de manœuvre associée à l'enroulement dont la tension est la plus élevée. Cette tension, applicable entre phase et terre, sert également de référence pour l'isolement externe

L'isolement interne est contrôlé par un essai où la tension appliquée à la phase en essai est de polarité négative et l'amplitude de la tension entre phases pour les transformateurs triphasés est de 1,5 fois la tension d'essai

Pour l'isolation externe, la tension de tenue entre phases est définie différemment, conformément à la Publication 71-3 de la CEI (voir tableau V). La procédure d'essai appropriée consiste en l'application de chocs de polarité positive pour une configuration phase-terre et de chocs de polarité opposée pour une configuration phase-phase (voir paragraphe 3 3 3). C'est sur cette base qu'ont été déterminées les distances d'isolement données au tableau IV

3 1 Windings with $U_m < 300 \text{ kV}$

The same distance shall apply for clearances phase-to-earth, phase-to-neutral, phase-to-phase, and towards terminals of a lower voltage winding

The recommended minimum clearances are given in Tables I and II with reference to the standard voltages which appear in Tables II and III of IEC Publication 76-3

If a type test on a reduced clearance is to be conducted this shall be a lightning impulse test, dry, with positive impulse, three shots, with the test voltage according to Table I or II respectively

3 2 Windings with $U_m \geq 300 \text{ kV}$ – Transformer specified according to Method 1

For equipment with U_m in this range, IEC Publication 71-3 specifies different requirements for phase-to-earth and phase-to-phase insulation. Air insulation clearances are referred to switching impulse conditions. Transformers which are specified according to Method 1 in IEC Publication 76-3 have, however, no rated switching impulse withstand level.

The recommended minimum distances in Table III have been chosen, directly on the basis of U_m values, from the selection of standard clearances appearing in Table IV. This is because it is assumed that the requirements for external insulation should be the same, irrespective of the use of Method 1 or Method 2 for the tests on the internal insulation.

The phase-to-earth clearances in Table III also apply for clearances towards the terminals of a lower voltage winding (An unusual voltage ratio or connection may, however, require special consideration of the clearances.)

3 2 1 Type test procedure

If a type test on a reduced clearance is to be conducted this shall be carried out as described in Sub-clause 3 3 3. The test voltage is selected as follows:

- determine the standard clearance value;
- by reference to the appropriate curve of Figure 1 or 2, page 22, establish the switching impulse voltage corresponding to this standard clearance. This is the test voltage to be used.

3 3 Windings with $U_m \geq 300 \text{ kV}$ – Transformer specified according to Method 2

Transformers specified according to Method 2 have a rated switching impulse withstand voltage assigned to the highest voltage winding. This value, which applies between phase and earth, is also used as a reference for the external insulation.

The internal insulation is verified by a test with negative test voltage on the tested phase, and with 1.5 times test voltage between the phases on three-phase transformers.

For the external insulation the phase-to-phase withstand voltage is defined differently, according to IEC Publication 71-3 (see Table V). An appropriate test procedure involves positive polarity impulses for a configuration phase-to-earth, and opposite polarity impulses for phase-to-phase clearances (see Sub-clause 3 3 3). This has been considered for the clearance values given in Table IV.

3 3 1 Distances d'isolement phase-terre, phase-neutre et phase-phase entre phases d'un même enroulement

La distance d'isolement entre l'extrémité supérieure de la traversée haute tension et la terre (cuve, conservateur, auxiliaires de réfrigération, structures de poste) ou la borne de neutre est déterminée à partir de la colonne 4 du tableau IV

La distance d'isolement entre extrémités de traversées de phases différentes est déterminée à partir de la colonne 5 du tableau IV

3 3 2 Distance d'isolement entre bornes d'enroulements différents

La distance d'isolement entre bornes d'enroulements différents du transformateur est contrôlée à la fois au choc de manœuvre et au choc de foudre

Les exigences de tenue au choc de manœuvre sont définies à partir du calcul de la différence de potentiel qui apparaît entre les deux bornes considérées lors de l'essai au choc de manœuvre (voir Publication 76-3, article 14) compte tenu du rapport de transformation entre les enroulements. Cette tension détermine la distance d'isolement exigée par rapport au choc de manœuvre. Les distances recommandées se déduisent de la figure 2, page 22, lorsque les bornes sont soumises à des tensions de polarité opposées, le rapport de leurs amplitudes étant inférieur ou égal à 2. Dans les autres cas, la figure 1, page 22, s'applique.

Note – En comparant les figures 1 et 2, on constate qu'une distance d'isolement entre phases tient une différence de potentiel supérieure à la même distance en configuration phase-terre. La raison en est que dans la configuration phase-phase les deux bornes sont supposées être en polarité opposée et le champ électrique maximal au voisinage de chacune d'elles (dépendant essentiellement de sa tension par rapport à la terre) est relativement faible. On suppose également que les électrodes ont une forme arrondie.

Par ailleurs, la distance d'isolement doit aussi satisfaire aux exigences de tenue au choc de foudre pour lesquelles la borne de l'enroulement de tension la plus basse est mise à la terre quand la tension assignée de tenue au choc de foudre est appliquée à la borne haute tension. Les exigences de distance d'isolement de la colonne 6 du tableau IV et de la figure 3, page 23, relatives à cette tension assignée au choc de foudre, doivent donc être satisfaites entre ces bornes.

La plus grande des deux distances déterminées doit être appliquée.

L'essai au choc de manœuvre du transformateur induit également des différences de potentiel entre phases d'autres enroulements connectés en étoile. Il faut contrôler si cette condition n'exige pas une distance d'isolement entre phases supérieure à celle spécifiée pour l'enroulement seul, par exemple par le paragraphe 3.1.

3 3 3 Procédure de l'essai de type

Si un essai de type pour une distance d'isolement inférieure doit être réalisé, il devra suivre la procédure suivante:

L'essai pour une configuration phase-terre (ou phase-neutre, ou vis-à-vis d'une borne d'un enroulement de tension inférieure) doit consister en un essai au choc de manœuvre à sec, la tension appliquée à la borne de ligne de l'enroulement (enroulement de tension la plus élevée) étant de polarité positive. L'autre électrode doit être mise à la terre. Si la borne essayée fait partie d'un enroulement triphasé, les autres bornes de ligne doivent aussi être mises à la terre.

Note – Cet essai n'est, en général, pas réalisable sur un transformateur triphasé complet et peut donc, dans ce cas, être fait sur un modèle simulant la configuration réelle du transformateur.

Les essais des distances d'isolement entre phases d'un transformateur triphasé doivent consister en essais au choc de manœuvre, à sec, la moitié de la tension d'essai spécifiée étant appliquée en polarité positive sur une borne de ligne, la deuxième moitié, en polarité négative, sur une deuxième borne de ligne, et la troisième borne de ligne étant à la terre (voir Publication 71-3 de la CEI,

3 3 1 *Clearance phase-to-earth, phase-to-neutral, and phase-to-phase between phases of the same winding*

The clearance from the high voltage bushing top to earth (tank, conservator, cooling equipment, switchyard structures) or to the neutral terminal is determined from column 4 of Table IV

The clearance between bushing caps of different phases is determined from column 5 of Table IV

3 3 2 *Clearance between terminals of different windings*

The clearance between terminals of different windings of the transformer shall be checked with regard to both switching impulse and lightning impulse conditions

The switching impulse withstand requirement is based on the precalculated difference voltage which appears between the two terminals under consideration during the switching impulse test (see IEC Publication 76-3, Clause 14) according to the turns ratio between the windings. This voltage value gives the clearance which is required with regard to the switching impulse condition. Figure 2, page 22, is used to find the recommended clearance if the terminals receive opposite polarity voltages and the ratio between their voltage amplitudes is 2 or less. In other cases, Figure 1, page 22, applies.

Note – If Figures 1 and 2 are compared it appears that a phase-to-phase clearance withstands a higher voltage difference than the same distance would do in a phase-to-earth configuration. The reason is that in the phase-to-phase configuration the two terminals are supposed to have opposite polarity, and the maximum dielectric gradient at either of them (which is largely determined by the voltage to earth) is relatively lower. It is assumed also that the electrodes have a rounded shape.

The clearance shall, however, also fulfil the lightning impulse withstand requirement, which presupposes that the lower voltage winding terminal is at earth potential when rated lightning impulse withstand voltage is applied to the high voltage terminal. The distance requirement in column 6 of Table IV and Figure 3, page 23, corresponding to this rated lightning impulse voltage, has therefore to be fulfilled between the two terminals.

The higher of the two clearance estimates shall apply.

The switching impulse test on the transformer will induce voltages between phases of other star-connected windings as well. It shall be checked whether this condition requires a larger phase-to-phase clearance in such a winding than as prescribed for this winding alone such as in Sub-clause 3 1.

3 3 3 *Type test procedure*

If a type test on a reduced clearance is to be conducted, the test procedure shall be as follows:

A test on a configuration phase-to-earth (or phase-to-neutral, or towards a terminal of a lower voltage winding) shall consist of a switching impulse test, dry, with positive polarity on the line terminal of the winding (the higher voltage winding). The counter electrode shall be earthed. If the tested terminal belongs to a three-phase winding, the other line terminals shall also be earthed.

Note – This test is not generally feasible on complete three-phase transformers and may therefore have to be conducted on a model simulating the actual configuration of the transformer.

Tests on the phase-to-phase clearances of a three-phase transformer shall consist of switching impulse tests, dry, with half of the specified test voltage, positive, on one line terminal, the other half, negative, on another line terminal, and the third terminal earthed (see IEC Publication 71-3, Clauses 10, 12 and 14). The combinations of phase-to-earth and phase-to-phase test voltages,

articles 10, 12, 14) Les combinaisons de tensions d'essais phase-terre et entre phases, conformément à la Publication 71-3 de la CEI, sont reproduites au tableau V. Les valeurs pour $U_m = 525$ kV et 765 kV sont en cours de réexamen.

Quand les phases externes sont disposées symétriquement par rapport à la phase centrale, il suffit de faire deux essais séparés: l'un de polarité positive sur la phase centrale et l'autre de polarité positive sur une phase externe, la phase centrale étant de polarité négative. Si la configuration des bornes de ligne n'est pas symétrique, il peut être nécessaire de réaliser plus de deux essais.

Chaque essai doit consister en l'application de 15 ondes de chocs de tension de forme 250/2 500, conformément à la Publication 60-2 de la CEI: Techniques des essais à haute tension, Deuxième partie: Modalités d'essais.

Note – La procédure d'essais ci-dessus pour les distances d'isolement externe entre phases, conforme à la Publication 71-3 de la CEI, diffère en plusieurs points de la procédure d'essais au choc de manœuvre de l'isolement interne du transformateur spécifiée par l'article 14 de la Publication 76-3 de la CEI. Ces deux procédures d'essais ne peuvent pas être substituées l'une à l'autre.

TABLEAU I

Distances d'isolement recommandées pour les parties sous tension des traversées des transformateurs de puissance ayant des enroulements dont la tension la plus élevée pour le matériel est $U_m < 300$ kV.

Série I (d'après la pratique courante utilisée ailleurs qu'aux Etats-Unis d'Amérique et dans quelques autres pays)

Tension la plus élevée pour le matériel U_m (kV eff.)	Tension de tenue assignée de courte durée à fréquence industrielle (kV eff.)	Tension de tenue assignée au choc de foudre (kV crête)		Distance d'isolement minimale (mm)	
		Liste 1	Liste 2	Référence à la liste 1	Référence à la liste 2
≤ 1,1	3	–	–	–	–
3,6	10	20	40	–	60
7,2	20	40	60	60	90
12	28	60	75	90	125
17,5	38	75	95	125	170
24	50	95	125	170	225
36	70	145	170	275	315
52	95		250		450
72,5	140		325		630
123	185		450		830
	230		550		1 050
145	275		650		1 250
	325		750		1 450
170	360		850		1 600
	395		950		1 800
245					

according to IEC Publication 71-3, are reproduced in Table V. The values for $U_m = 525$ kV and 765 kV are subject to review.

When the outer phases are placed symmetrically with respect to the middle phase, it is sufficient to make two separate tests, one with positive polarity on the middle phase, and the other with positive polarity on an outer phase, the middle phase having negative polarity. If the line terminal arrangement is asymmetrical, it may be necessary to perform more than two tests.

Each test shall consist of 15 applications of impulse voltage with wave shape 250/2 500 in accordance with IEC Publication 60-2: High Voltage Test Techniques, Part 2: Test Procedures.

Note – The above test procedure for phase-to-phase external clearances, which follows IEC Publication 71-3, differs in several respects from the switching impulse test procedure specified for the internal insulation of the transformer in Clause 14 of IEC Publication 76-3. The two test procedures do not replace each other.

TABLE I

Recommended clearances from bushing live parts on power transformers having windings with highest voltage for equipment $U_m \leq 300$ kV

Series I (based on current practice other than in the United States of America and some other countries)

Highest voltage for equipment U_m (r.m.s.) (kV)	Rated short duration power frequency withstand voltage (r.m.s.) (kV)	Rated lightning impulse withstand voltage (peak) (kV)		Minimum clearance (mm)	
		List 1	List 2	With reference to list 1	With reference to list 2
≤ 1	3	–	–	–	–
3.6	10	20	40	–	60
7.2	20	40	60	60	90
12	28	60	75	90	125
17.5	38	75	95	125	170
24	50	95	125	170	225
36	70	145	170	275	315
52	95		250		450
72.5	140		325		630
	185		450		830
123	230		550		1 050
145	275		650		1 250
170	325		750		1 450
	360		850		1 600
245	395		950		1 800

TABLEAU II

Distances d'isolement recommandées pour les parties sous tension des traversées des transformateurs de puissance ayant des enroulements dont la tension la plus élevée pour le matériel est $U_m < 300$ kV

Série II (d'après la pratique courante aux Etats-Unis d'Amérique et dans quelques autres pays)

Tension la plus élevée pour le matériel U_m (kV eff)	Tension de tenue assignée de courte durée à fréquence industrielle (kV eff)	Tension de tenue assignée au choc de foudre (kV crête)		Distance d'isolement minimale (mm)	
		Transformateurs de distribution	Autres transformateurs	Référence aux transformateurs de distribution	Référence aux autres transformateurs
4,40	19	60	75	65	100
13,20					
13,97	34	95	110	140	165
14,53					
26,4	50		150		225
36,5	70		200		330
72,5	140		350		630
	185		450		830
123	230		550		1 050
145					
	275		650		1 250
170					
	325		750		1 450
245	360		825		1 600
	395		900		1 800

TABLEAU III

Distances d'isolement recommandées pour les parties sous tension des traversées des transformateurs de puissance ayant des enroulements dont la tension la plus élevée pour le matériel est $U_m \geq 300$ kV, et spécifiés suivant la méthode 1

Tension la plus élevée pour le matériel U_m (kV eff)	Tension de tenue assignée de courte durée à fréquence industrielle (kV eff)	Tension de tenue assignée au choc de foudre (kV crête)	Distance d'isolement minimale (mm)	
			Phase-terre	Phase-phase
300	395	950	1 900	2 250
	460	1 050	2 300	2 650
362	460	1 050	2 300	2 650
	510	1 175	2 700	3 100
420	570	1 300	2 700	3 100
	630	1 425	3 100	3 500

TABLE II

*Recommended clearances from bushing live parts on power transformers
having windings with highest voltage for equipment $U_m < 300 \text{ kV}$*

*Series II (based on current practice in the United States of America
and some other countries)*

Highest voltage for equipment U_m (r m s) (kV)	Rated short duration power frequency withstand voltage (r m s) (kV)	Rated lightning impulse withstand voltage (peak) (kV)		Minimum clearance (mm)	
		Distri bution trans- formers	Other trans- formers	With reference to distribu- tion trans- formers	With reference to other trans- formers
4 40	19	60	75	65	100
13 20					
13 97	34	95	110	140	165
14 53					
26 4	50		150		225
36 5	70		200		330
72 5	140		350		630
	185		450		830
123	230		550		1 050
145	275		650		1 250
170	325		750		1 450
245	360		825		1 600
	395		900		1 800

TABLE III

*Recommended clearances from bushing live parts on power transformers
having windings with highest voltage for equipment $U_m \geq 300 \text{ kV}$,
specified according to Method 1*

Highest voltage for equipment U_m (r m s) (kV)	Rated short duration power frequency withstand voltage (r m s) (kV)	Rated lightning impulse withstand voltage (peak) (kV)	Minimum clearance (mm)	
			Phase-to earth	Phase-to phase
300	395	950	1 900	2 250
	460	1 050	2 300	2 650
362	460	1 050	2 300	2 650
	510	1 175	2 700	3 100
420	570	1 300	2 700	3 100
	630	1 425	3 100	3 500

TABLEAU IV

Distances d'isolement recommandées pour les parties sous tension des traversées des transformateurs de puissance ayant des enroulements dont la tension la plus élevée pour le matériel est $U_m \geq 300$ kV, et spécifiés suivant la méthode 2

Tension la plus élevée pour le matériel U_m (kV eff)	Tension de tenue assignée au choc de manœuvre (kV crête)	Tension de tenue assignée au choc de foudre (kV crête)	Distance d'isolement minimale (mm)		
			Phase-terre d'après la tenue au choc de manœuvre (voir paragraphe 3 3 1)	Phase phase d'après la tenue au choc de manœuvre (voir paragraphe 3 3 1)	A l'autre enroulement d'après la tenue au choc de foudre (voir paragraphe 3 3 2)
300	750	850	1 900	2 250	1 600
		950	2 300	2 650	1 750
362	850	1 050	2 700	3 100	1 950
420	950	1 175			2 200
		1 300			2 400
525	1 050	1 425	3 100	3 500	2 650
		1 550	3 700	4 200	2 850
765	1 425	1 800	5 000	5 800	3 300
		1 950	5 800	6 700	3 600
	1 550				

TABLE IV

Recommended clearances from bushing live parts on power transformers having windings with highest voltage for equipment $U_m \geq 300$ kV, specified according to Method 2

Highest voltage for equipment U_m (r m s) (kV)	Rated switching impulse withstand voltage (peak) (kV)	Rated lightning impulse withstand voltage (peak) (kV)	Minimum clearance (mm)		
			Phase-to- earth, based on switching impulse with- stand voltage (see Sub clause 3 3 1)	Phase-to phase, based on switching impulse with- stand voltage (see Sub clause 3 3 1)	To other winding, based on lightning impulse with stand voltage (see Sub clause 3 3 2)
300	750	850	1 900	2 250	1 600
362	850	950	2 300	2 650	1 750
420	950	1 050	2 700	3 100	1 950
		1 175			2 200
		1 300			2 400
525	1 050	1 425	3 100	3 500	2 650
	1 175	1 550	3 700	4 200	2 850
	1 425	1 800	5 000	5 800	3 300
765	1 550	1 950	5 800	6 700	3 600

TABLEAU V

Combinaison des tensions d'essais au choc de manœuvre phase-terre et entre phases pour différentes valeurs de U_m . La valeur de la tension entre phases pour l'essai de type considéré par le paragraphe 3.3.3 est choisie d'après la tension de tenue assignée au choc de manœuvre, phase-terre, spécifiée pour le transformateur

Tension la plus élevée pour le matériel U_m (kV eff)	Tension de tenue assignée au choc de manœuvre phase-terre (kV crête)	Tension de tenue assignée au choc de manœuvre phase-phase (kV crête)
300	750 850	1 175 1 300
362	850 950	1 300 1 425
420	950 1 050	1 425 1 550
525	1 050 1 175	1 675 1 800
765	1 425 1 550	2 400 2 550