

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE
NORME DE LA CEI

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION
IEC STANDARD

Publication 76-3
Première édition — First edition
1980

DEUXIÈME IMPRESSION 1988

SECOND IMPRESSION 1988

Transformateurs de puissance

Troisième partie Niveaux d'isolement et essais diélectriques

Power transformers

Part 3 Insulation levels and dielectric tests



Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

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

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**
- **Rapport d'activité de la CEI**
Publié annuellement
- **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 (V E I), 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 V E I peuvent être obtenus sur demande.

Les termes et définitions figurant dans la présente publication ont été soit repris du V E I, 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 117 de la CEI: Symboles graphiques recommandés

Les symboles et signes contenus dans la présente publication ont été soit repris des Publications 27 ou 117 de la CEI, soit spécifiquement approuvés aux fins de cette publication.

Autres publications de la CEI établies par le même Comité d'Etudes

L'attention du lecteur est attirée sur la page 3 de la couverture, qui énumère les autres 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**
- **Report on IEC Activities**
Published yearly
- **Catalogue of IEC Publications**
Published yearly

Terminology

For general terminology, readers are referred to IEC Publication 50: International Electrotechnical Vocabulary (I E V), 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 I E V will be supplied on request.

The terms and definitions contained in the present publication have either been taken from the I E V 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 117: Recommended graphical symbols

The symbols and signs contained in the present publication have either been taken from IEC Publications 27 or 117, or have been specifically approved for the purpose of this publication.

Other IEC publications prepared by the same Technical Committee

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

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE
NORME DE LA CEI

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION
IEC STANDARD

Publication 76-3
Première édition – First edition
1980

DEUXIÈME IMPRESSION 1988

SECOND IMPRESSION 1988

Transformateurs de puissance

Troisième partie Niveaux d'isolement et essais diélectriques

Power transformers

Part 3 Insulation levels and dielectric tests

Mots clés : transformateurs de puissance;
exigences; essais;
propriétés; définitions;
niveaux d'isolement;
essais diélectriques

Key words: power transformers;
requirements; testing;
properties; definitions;
insulation levels;
dielectric tests



Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

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

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

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale

1, rue de Varembé
Genève, Suisse

SOMMAIRE

	Pages
PRÉAMBULE	4
PRÉFACE	4
Articles	
1 Définitions	8
2 Généralités	10
3 Tension la plus élevée pour le matériel et niveau d'isolement	12
4 Règles pour certains types spéciaux de transformateurs	14
5 Prescriptions relatives à l'isolement et essais diélectriques — Règles de base	16
6 Essai sur un transformateur comportant un enroulement à prises	30
7 Prescriptions relatives à l'isolement et conditions d'essais pour les transformateurs secs	30
8 Renouvellement des essais diélectriques	32
9 Isolement des circuits auxiliaires	32
10 Essai par tension appliquée	32
11 Essai par tension induite	32
12 Essai au choc de foudre	42
13 Essai au choc de foudre coupé sur la queue	48
14 Essai au choc de manœuvre	50
ANNEXE A — Guide d'application pour la mesure des décharges partielles sur un transformateur lors d'un essai par tension induite effectué conformément au paragraphe 11.4	54
ANNEXE B — Surtensions transmises de l'enroulement haute tension à un enroulement basse tension	66
ANNEXE C — Renseignements concernant l'isolement du transformateur et les essais diélectriques, à fournir avec un appel d'offre et une commande	70

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
PREFACE	5
Clause	
1 Definitions	9
2 General	11
3 Highest voltage for equipment and insulation level	13
4 Rules for some special classes of transformers	15
5 Insulation requirements and dielectric tests — Basic rules	17
6 Tests on a transformer having a tapped winding	31
7 Insulation requirements and test conditions for dry-type transformers	31
8 Repeated dielectric tests	33
9 Insulation of auxiliary wiring	33
10 Separate-source voltage withstand test	33
11 Induced overvoltage withstand test	33
12 Lightning impulse test	43
13 Test with lightning impulse chopped on the tail	49
14 Switching impulse test	51
APPENDIX A — Application guide for partial discharge measurements during induced overvoltage withstand test on transformers according to Sub-clause 11 4	55
APPENDIX B — Overvoltage transferred from the high-voltage winding to a low-voltage winding	67
APPENDIX C — Information on transformer insulation and dielectric tests to be supplied with an inquiry and with an order	71

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

TRANSFORMATEURS DE PUISSANCE

Troisième partie: Niveaux d'isolement et essais diélectriques

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

Un premier projet fut discuté lors de la réunion tenue à Athènes en 1972 et un second projet fut discuté lors de la réunion tenue à Bucarest en 1974. A la suite de cette réunion, un projet, document 14(Bureau Central)39, fut soumis à l'approbation des Comités nationaux suivant la Règle des Six Mois en janvier 1977.

Un projet modifié, document 14(Bureau Central)45, fut soumis à l'approbation des Comités nationaux suivant la Procédure des Deux Mois en décembre 1978.

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

Afrique du Sud (République d')	Hongrie
Allemagne	Indonésie
Australie	Israël
Autriche	Italie
Belgique	Japon
Canada	Norvège
Chine	Pologne
Danemark	Roumanie
Egypte	Suède
Espagne	Suisse
Etats-Unis d'Amérique	Tchécoslovaquie
Finlande	Turquie
France	Yougoslavie

Les Comités nationaux des Pays-Bas, du Royaume-Uni et de l'Union des Républiques Socialistes Soviétiques ont voté contre la publication pour les raisons suivantes:

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

POWER TRANSFORMERS

Part 3: Insulation levels and dielectric tests

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

A first draft was discussed at the meeting held in Athens in 1972 and a second draft was discussed at the meeting held in Bucharest in 1974. As a result of this meeting, a draft, Document 14(Central Office)39, was submitted to the National Committees for approval under the Six Months' Rule in January 1977.

An amended draft, Document 14(Central Office)45, was submitted to the National Committees for approval under the Two Months' Procedure in December 1978.

The National Committees of the following countries voted explicitly in favour of publication:

Australia	Israel
Austria	Italy
Belgium	Japan
Canada	Norway
China	Poland
Czechoslovakia	Romania
Denmark	South Africa (Republic of)
Egypt	Spain
Finland	Sweden
France	Switzerland
Germany	Turkey
Hungary	United States of America
Indonesia	Yugoslavia

The National Committees of the Netherlands, the United Kingdom and the Union of Soviet Socialist Republics voted against publication for the following reasons:

Le Comité national des Pays-Bas a voté contre la publication car il ne peut accepter la durée minimale spécifiée au paragraphe 11 1 pour l'essai par tension induite, ni le paragraphe 11 2, car l'essai spécifié devrait être effectué sur tous les transformateurs triphasés, y compris ceux qui sont mentionnés au paragraphe 11 3, pas plus qu'il n'accepte les tensions d'essai U_1 et U_2 données au paragraphe 11 4

Le Comité national britannique a voté contre la publication car il ne peut accepter le paragraphe 13 3. Il considère que lorsqu'on combine un essai au choc coupé et un essai au choc plein, les enregistrements de chocs pleins devraient tout autant constituer un critère de qualité que les enregistrements de chocs coupés

Le Comité national de l'U R S S a voté contre la publication car les prescriptions relatives aux essais individuels des transformateurs avec $U_m \geq 300$ kV et les niveaux de choc utilisés pour l'essai au choc de foudre coupé diffèrent de ce qui est pratiqué en U R S S

La Publication 76 a été divisée en cinq parties, indiquées ci-après, qui sont publiées en fascicules séparés

Publication 76-1, Première partie: Généralités

Publication 76-2, Deuxième partie: Echauffement

Publication 76-3, Troisième partie: Niveaux d'isolement et essais diélectriques

Publication 76-4, Quatrième partie: Prises et connexions

Publication 76-5, Cinquième partie: Tenue au court-circuit

La publication de cette troisième partie complète la révision de la Publication 76 (1967) qui n'est plus applicable aux transformateurs de puissance. Elle est cependant toujours valable dans l'attente d'une révision de la Publication 289 de la CEE: Bobines d'inductance, laquelle fait référence à la Publication 76 (1967)

Autres publications de la CEE citées dans la présente norme:

- Publications n^{os}
- 50: Vocabulaire Electrotechnique International
 - 60: Techniques des essais à haute tension
 - 60-2: Deuxième partie: Modalités d'essai
 - 71: Coordination de l'isolement
 - 71-1 Première partie: Termes, définitions, principes et règles
 - 71-2 Deuxième partie: Guide d'application
 - 76: Transformateurs de puissance
 - 76-1 Première partie: Généralités
 - 137: Traversées isolées pour tensions alternatives supérieures à 1 000 V
 - 270: Mesure des décharges partielles

The Netherlands National Committee voted against publication because it could not accept the minimum duration of the induced overvoltage withstand test specified in Sub-clause 11 1, nor Sub-clause 11 2, because the test specified should be carried out on all three-phase transformers, including those mentioned in Sub-clause 11 3, nor the values of the test voltages U_1 and U_2 in Sub-clause 11 4

The British National Committee voted against publication because it could not accept Sub-clause 13 3. It considers that when a chopped-wave impulse test is combined with a full-wave impulse test the full-wave records should constitute a quality criterion just as much as do the chopped-wave impulse records

The U S S R National Committee voted against publication because the requirements for routine tests on transformers with $U_m \geq 300$ kV, and the impulse levels for the chopped wave lightning impulse test differ from U S S R practice

Publication 76 has been divided into the following five parts which are published as separate booklets:

- Publication 76-1, Part 1: General
- Publication 76-2, Part 2: Temperature Rise
- Publication 76-3, Part 3: Insulation Levels and Dielectric Tests
- Publication 76-4, Part 4: Tappings and Connections
- Publication 76-5, Part 5: Ability to Withstand Short Circuit

The publication of Part 3 completes the revision of Publication 76 (1967), which now no longer applies to power transformers. It is, however, being retained pending the revision of IEC Publication 289: Reactors, which makes reference to Publication 76 (1967)

Other IEC publications quoted in this standard:

- Publications Nos 50: International Electrotechnical Vocabulary
- 60: High-voltage Test Techniques
 - 60-2: Part 2: Test Procedures
- 71: Insulation Co-ordination
 - 71-1: Part 1: Terms, Definitions, Principles and Rules
 - 71-2: Part 2: Application Guide
- 76: Power Transformers
 - 76-1: Part 1: General
- 137: Bushings for Alternating Voltages above 1 000 V
- 270: Partial Discharge Measurements

TRANSFORMATEURS DE PUISSANCE

Troisième partie: Niveaux d'isolement et essais diélectriques

1 Définitions

Les définitions ci-dessous s'appliquent au sujet couvert par cette partie de la norme. D'autres termes employés dans ce texte ont la signification qui leur est attribuée dans la Publication 76-1: Transformateurs de puissance, Première partie Généralités, ou dans le Vocabulaire Electrotechnique International (V E I)*

1 1 Tension la plus élevée pour le matériel relative à un enroulement de transformateur U_m

Tension efficace la plus élevée entre phases pour laquelle est conçue l'isolation de l'enroulement du transformateur

Note — U_m est la valeur maximale de la tension la plus élevée d'un réseau auquel l'enroulement peut être connecté, compte tenu de son isolation

1 2 Niveau d'isolement assigné

L'une ou l'autre des deux définitions suivantes est utilisée

a) Tensions assignées de tenue au choc de foudre et de tenue de courte durée à fréquence industrielle

Note — La définition a) s'applique à tous les enroulements dont la tension la plus élevée pour le matériel U_m est inférieure à 300 kV et à ceux des enroulements dont U_m est égale ou supérieure à 300 kV qui sont spécifiés conformément à la « méthode 1 » – voir article 5

b) Tensions assignées de tenue (phase-terre) au choc de foudre et au choc de manœuvre

Note — La définition b) s'applique à ceux des enroulements dont U_m est égale ou supérieure à 300 kV qui sont spécifiés conformément à la « méthode 2 » – voir article 5

1 3 Isolation uniforme d'un enroulement de transformateur

Isolation d'un enroulement de transformateur dont toutes les extrémités reliées aux bornes ont la même tension de tenue à fréquence industrielle

1 4 Isolation non uniforme d'un enroulement de transformateur

Isolation d'un enroulement de transformateur dont une extrémité est prévue pour être connectée directement ou indirectement à la terre, et qui est conçue avec un niveau d'isolement plus bas affecté à cette extrémité de terre ou de neutre

* Il convient de signaler une modification intervenue depuis la parution des autres parties de la Publication 76 en ce qui concerne le texte français: le terme correspondant au terme anglais « rated » est « assigné », conformément aux indications de la Publication 50(151) de 1978 du Vocabulaire Electrotechnique International (le terme antérieurement utilisé en ce cas était « nominal »)

POWER TRANSFORMERS

Part 3: Insulation levels and dielectric tests

1 Definitions

For the purposes of this part of the standard the following definitions apply. Other terms used have the meanings ascribed to them in Publication 76-1: Power Transformers, Part 1: General, or in the International Electrotechnical Vocabulary (IEV)*

1.1 Highest voltage for equipment applicable to a transformer winding U_m

The highest r.m.s. phase-to-phase voltage for which a transformer winding is designed in respect of its insulation

Note — U_m is the maximum value of the highest voltage of a system to which the winding may be connected, in respect of its insulation

1.2 Rated insulation level

Two alternative definitions are used:

a) The rated lightning impulse and short duration power frequency withstand voltages

Note — Definition a) applies for all windings with highest voltage for equipment U_m lower than 300 kV, and for windings with U_m equal to or greater than 300 kV that are specified according to Method 1 — see Clause 5

b) The rated lightning and switching impulse withstand voltages (phase-to-earth)

Note — Definition b) applies for windings with U_m equal to or greater than 300 kV that are specified according to Method 2 — see Clause 5

1.3 Uniform insulation of a transformer winding

The insulation of a transformer winding when all its ends connected to terminals have the same power frequency withstand voltage to earth

1.4 Non-uniform insulation of a transformer winding

The insulation of a transformer winding when it has an end intended for direct or indirect connection to earth, and is designed with a lower insulation level assigned to this earth or neutral winding end

* Note concerns French text only

2 Généralités

Les prescriptions relatives à l'isolement des transformateurs de puissance et les essais de l'isolation correspondants sont indiqués en se référant à chaque enroulement et à ses bornes

Pour les transformateurs immergés dans l'huile, les prescriptions s'appliquent seulement à l'isolation interne. Toutes prescriptions additionnelles ou tous essais relatifs à l'isolation externe doivent faire l'objet d'accord entre constructeur et acheteur.

Note — Quand cela est approprié, ces essais peuvent être des essais de type effectués sur une maquette représentant convenablement la configuration.

Si l'utilisateur a l'intention de réaliser le branchement du transformateur d'une manière telle que les distances d'isolement puissent être plus courtes que celles du transformateur seul, il convient que cela soit signalé au moment de l'appel d'offre.

Lorsqu'un transformateur immergé dans l'huile est destiné à fonctionner à une altitude supérieure à 1 000 m, les distances d'isolement doivent être conçues en conséquence. Il peut être nécessaire de choisir des traversées calculées pour des niveaux d'isolement plus élevés que ceux qui sont spécifiés pour l'isolation interne des enroulements du transformateur (voir article 42 de la Publication 137 de la CEI: Traversées isolées pour tensions alternatives supérieures à 1 000 V).

Les traversées sont soumises à des essais de type et individuels séparés conformément à la Publication 137 de la CEI, qui vérifient leur isolation phase-terre, tant externe qu'interne.

Il est admis que les traversées et les changeurs de prises en charge sont spécifiés, conçus et essayés conformément aux normes correspondantes de la CEI. Les essais d'isolement sur le transformateur complet sont cependant un moyen de contrôler que le choix et la mise en œuvre de ces composants sont corrects.

Les essais d'isolement doivent généralement être effectués dans les ateliers du constructeur, le transformateur étant sensiblement à la température ambiante.

Les transformateurs doivent être complètement équipés, comme pour le service, à l'exception des transformateurs immergés dans l'huile pour lesquels la mise en place des réfrigérants extérieurs et des accessoires de contrôle n'est pas nécessaire.

Si un transformateur ne remplit pas les exigences des essais et si le défaut est situé dans une traversée, il est admissible de remplacer temporairement la traversée par une autre et de continuer les essais sur le transformateur jusqu'à leur achèvement, sans retard. Un cas particulier est celui des essais comprenant des mesures de décharges partielles pour lesquels certains types de traversées à haute tension communément utilisées peuvent créer des difficultés à cause du niveau relativement haut des décharges partielles qui se produisent dans leur diélectrique. Lorsque de telles traversées sont prévues pour le transformateur, il est permis de les échanger contre des traversées d'un type exempt de décharges partielles pendant l'essai du transformateur (voir annexe A).

Les transformateurs raccordés par boîtes à câble ou par connexion directe à des installations blindées au SF₆ doivent être conçus de telle sorte que des traversées puissent être mises en place provisoirement pour les essais diélectriques.

Lorsque le constructeur se propose d'utiliser des résistances non linéaires ou des parafoudres — placés à l'intérieur ou à l'extérieur du transformateur — pour limiter les surtensions transmises, cela doit être porté à la connaissance de l'utilisateur.

2 General

The insulation requirements for power transformers and the corresponding insulation tests are given with reference to specific windings and their terminals

For oil-immersed transformers, the requirements apply to the internal insulation only. Any additional requirements or tests regarding external insulation which are deemed necessary shall be subject to agreement between manufacturer and purchaser.

Note — Where appropriate these tests can be type tests on a suitable model of the configuration.

If the user intends to make the connections to the transformer in a way which may reduce the clearances provided by the transformer alone, this should be brought to attention in the enquiry.

When an oil-immersed transformer is specified for operation at an altitude higher than 1 000 m, clearances shall be designed accordingly. It may then be necessary to select bushings designed for higher insulation levels than those specified for the internal insulation of the transformer windings (see Clause 42 of IEC Publication 137, Bushings for Alternating Voltages above 1 000 V).

Bushings are subject to separate type and routine tests according to IEC Publication 137, which verify their phase-to-earth insulation, external as well as internal.

It is presupposed that bushings and tap-changers are specified, designed and tested in accordance with relevant IEC standards. The insulation tests on the complete transformer, however, constitute a check on the correct application and installation of these components.

The insulation tests shall generally be made at the manufacturer's works with the transformer approximately at ambient temperature.

The transformer shall be completely assembled as in service, except that for oil-immersed transformers the fitting of external cooling and supervisory equipment is not necessary.

If a transformer fails to meet its test requirements and the fault is in a bushing, it is permissible to replace this bushing temporarily with another bushing and continue the tests on the transformer to completion without delay. A particular case arises for tests with partial discharge measurements, where certain types of commonly used high-voltage bushings create difficulty because of their relatively high level of partial discharge in the dielectric. When such bushings are specified for the transformer, it is permitted to exchange them for bushings of a partial discharge free type during the testing of the transformer (see Appendix A).

Transformers for cable box connection or direct connection to metal-enclosed SF₆ installations should be designed so that temporary connections can be made for insulation tests, using temporary bushings if necessary.

When the manufacturer intends to use non-linear elements or surge arresters—built into the transformer or externally fitted—for the limitation of transferred overvoltage transients, this shall be brought to the user's attention.

3 Tension la plus élevée pour le matériel et niveau d'isolement

A chaque enroulement d'un transformateur est affectée une valeur de « la tension la plus élevée pour le matériel » U_m (paragraphe 1 1) Les règles pour la coordination de l'isolement d'un transformateur vis-à-vis des surtensions sont formulées différemment selon la valeur de U_m . Si les règles relatives à des essais spécifiques relatifs à différents enroulements d'un même transformateur sont en contradiction, la règle pour l'enroulement ayant la valeur de U_m la plus élevée sera appliquée.

Les règles relatives à un certain nombre de cas particuliers sont données à l'article 4

Les valeurs normalisées de U_m sont indiquées dans les tableaux II à V. La valeur à utiliser pour un enroulement de transformateur est celle qui est égale ou immédiatement supérieure à la tension assignée de cet enroulement.

Notes 1 — Les transformateurs monophasés destinés à être couplés en étoile pour former un banc triphasé sont désignés par leur tension assignée entre phase et terre — par exemple 400/ $\sqrt{3}$ kV. La valeur de la tension entre phases détermine le choix de U_m — ainsi, dans ce cas, $U_m = 420$ kV.

2 — Il peut arriver que certaines tensions de prise soient choisies légèrement supérieures à une valeur normalisée de U_m , mais que la tension la plus élevée du réseau auquel l'enroulement sera raccordé reste inférieure ou égale à la valeur normalisée. Les prescriptions d'isolement doivent être coordonnées avec les conditions réelles du réseau, et par conséquent la valeur normalisée, et non pas la valeur immédiatement supérieure, devrait être acceptée comme valeur de U_m pour le transformateur.

Les tensions de tenue assignées d'un enroulement qui constituent son niveau d'isolement sont vérifiées par une série d'essais diélectriques, et cette série d'essais dépend de la valeur de U_m (article 5).

La valeur de U_m et le niveau d'isolement affectés à chaque enroulement d'un transformateur font partie des renseignements à fournir avec un appel d'offre et une commande. S'il y a un enroulement à isolation non uniforme, le niveau d'isolement du neutre doit également être spécifié par le client (paragraphe 5 5 3). S'il y a un enroulement à isolation non uniforme avec $U_m \geq 300$ kV, il doit être essayé suivant la « méthode 1 » ou la « méthode 2 » (tableau I de l'article 5) et, dans le cas de la « méthode 2 », des informations complémentaires doivent être données sur le choix de l'une ou l'autre procédure à utiliser pour l'essai par tension induite (paragraphe 11 4).

Les tensions de tenue assignées de tous les enroulements doivent être inscrites sur la plaque signalétique. Les principes de la notation abrégée normalisée sont indiqués par les exemples suivants.

Note — Les abréviations utilisées dans les exemples 1 à 3 ont les significations suivantes :

CF = tension de tenue au choc de foudre

CM = tension de tenue au choc de manœuvre

FI = tension de tenue à fréquence industrielle

Exemple 1

Transformateur ayant deux enroulements à isolation uniforme avec $U_m = 72,5$ et 12 kV

NIVEAUX D'ISOLEMENT: CF 325 FI 140/CF 60 FI 28
--

Les renseignements correspondant à différents enroulements sont séparés par une barre oblique et le niveau de choc est placé en premier.

3 Highest voltage for equipment and insulation level

To each winding of a transformer is assigned a value of “highest voltage for equipment” U_m (Sub-clause 1 1) The rules for co-ordination of transformer insulation with respect to transient overvoltages are formulated differently depending on the value of U_m . When rules about specific tests for different windings in a transformer are in conflict, the rule for the winding with the highest U_m value shall apply.

Rules for a number of special cases are given in Clause 4

Standardized values of U_m are listed in Tables II to V. The value to be used for a transformer winding is the one equal to, or nearest above, the rated voltage of the winding.

Notes 1 — Single-phase transformers intended for connection in star to form a three-phase bank are designated by phase-to-earth rated voltage—for example $400/\sqrt{3}$ kV. The phase-to-phase value determines the choice of U_m —in this case, consequently, $U_m = 420$ kV.

2 — It may happen that certain tapping voltages are chosen slightly higher than a standardized value of U_m , but that the system to which the winding will be connected has a system highest voltage which stays within the standard value. The insulation requirements are to be co-ordinated with actual system conditions, and therefore this standard value should be accepted as U_m for the transformer, and not the nearest higher value.

The rated withstand voltages for the winding which constitute its insulation level are verified by a set of dielectric tests, and the set of tests is different depending on the value of U_m (Clause 5).

The value U_m and the insulation level which are assigned to each winding of a transformer are part of the information to be supplied with an enquiry and with an order. If there is a winding with non-uniform insulation, the insulation level of the neutral terminal shall also be specified by the purchaser (Sub-clause 5 5 3). If there is a winding with non-uniform insulation and $U_m \geq 300$ kV, it shall be tested according to Method 1 or Method 2 (Clause 5, Table I), and in the case of Method 2 further information shall be given about the choice of certain alternative procedures in the induced overvoltage withstand test (Sub-clause 11 4).

The rated withstand voltages for all windings shall appear on the rating plate. The principles of the standard abbreviated notation are shown by the following examples:

Note — The abbreviations used in examples 1 to 3 have the following meanings:

LI = lightning impulse withstand voltage

SI = switching impulse withstand voltage

AC = power frequency withstand voltage

Example 1

A transformer having windings with $U_m = 72.5$ and 12 kV, both uniformly insulated

INSULATION LEVELS: LI 325 AC 140/LI 60 AC 28
--

Data for different windings are separated by a stroke, and the impulse level is put first

Exemple 2

Transformateur ayant:

- un enroulement à isolation non uniforme connecté en étoile à neutre non mis directement à la terre avec $U_m = 245 \text{ kV}$
- un enroulement à isolation uniforme connecté en étoile avec $U_m = 72,5 \text{ kV}$
- un enroulement tertiaire connecté en triangle avec $U_m = 24 \text{ kV}$

NIVEAUX D'ISOLEMENT CF 850 FI 360 — CF 250 FI 95/
CF 325 FI 140/ CF 125 FI 50

Pour un enroulement à isolation non uniforme, les grandeurs relatives à l'extrémité ligne sont indiquées en premier, suivies, après un tiret de séparation, par les grandeurs relatives à l'extrémité neutre

Exemple 3

Autotransformateur avec $U_m = 420$ et 145 kV , spécifié suivant la méthode 2 (paragraphe 5.4) avec neutre destiné à être relié directement à la terre; tertiaire avec $U_m = 24 \text{ kV}$

NIVEAUX D'ISOLEMENT CM 1050 CF 1300 — FI 38/
CF 550 — FI 38/
CF 125 FI 50

Dans cet exemple, le choix de la méthode 2 détermine aussi l'essai de l'enroulement 145 kV , ce qui signifie qu'il n'est pas spécifié séparément pour les extrémités ligne de cet enroulement une tension de tenue à fréquence industrielle. L'essai par tension induite conforme au paragraphe 11.4 s'applique aux deux enroulements reliés de l'autotransformateur

4 Règles pour certains types spéciaux de transformateurs

Dans les transformateurs où des enroulements à isolation uniforme dont les valeurs de U_m sont différentes sont reliés ensemble à l'intérieur du transformateur (le plus souvent des autotransformateurs) la tension de l'essai de tenue par tension appliquée doit être déterminée par l'enroulement dont la valeur de U_m est la plus haute

Dans les transformateurs ayant un ou plusieurs enroulements à isolation non uniforme, les tensions d'essai pour l'essai de tenue à fréquence industrielle par tension induite, et pour l'essai au choc de manœuvre lorsqu'il existe, sont déterminées par l'enroulement dont la valeur de U_m est la plus élevée et il se peut que les enroulements dont les valeurs de U_m sont plus basses ne soient pas soumis à leurs tensions d'essai correctes. Cet écart doit normalement être accepté. Si le rapport de transformation est réglable à l'aide de prises, celles-ci doivent être utilisées pour ajuster la tension d'essai de l'enroulement dont la tension U_m est la plus basse à une valeur aussi voisine que possible de la valeur qui convient

Pendant les essais au choc de manœuvre, les tensions apparaissant sur les différents enroulements sont sensiblement proportionnelles aux rapports des nombres de spires. Si des valeurs assignées de tension d'essai au choc de manœuvre sont attribuées à plusieurs enroule-

Example 2

A transformer having:

- a non-uniformly insulated star-connected high-voltage winding with $U_m = 245$ kV and neutral to be non-directly earthed;
- a uniformly insulated, star-connected winding with $U_m = 72.5$ kV;
- a tertiary, delta-connected winding with $U_m = 24$ kV

INSULATION LEVELS LI 850 AC 360 – LI 250 AC 95/ LI 325 AC 140/LI 125 AC 50

For a non-uniformly insulated winding, line terminal data are given first, and then, after a separating dash, neutral terminal data

Example 3

An auto-transformer with $U_m = 420$ and 145 kV, specified according to Method 2 (Sub-clause 5.4) and with neutral for direct connection to earth. The tertiary has $U_m = 24$ kV

INSULATION LEVELS: SI 1050 LI 1300 – AC 38/ LI 550 – AC 38/ LI 125 AC 50
--

In this example the specification of Method 2 determines the testing of the 145 kV winding as well, and this means that there is no separately specified power frequency withstand voltage for the line terminals of this winding. The induced overvoltage withstand test according to Sub-clause 11.4 applies to both auto-connected windings

4 Rules for some special classes of transformers

In transformers where uniformly insulated windings having different U_m values are connected together within the transformer (usually auto-transformers), the separate-source power-frequency withstand test voltage shall be determined by the winding with the highest U_m value

In transformers which have one or more non-uniformly insulated windings, the test voltages for the induced overvoltage withstand test, and for the switching impulse test if used, are determined by the winding with the highest U_m value, and the windings with lower U_m values may not receive their appropriate test voltages. This discrepancy should normally be accepted. If the ratio between the windings is variable by tapplings, this should be used to bring the test voltage for the winding with lower U_m voltage as close as possible to the appropriate value

During switching impulse tests, the voltages developed across different windings are approximately proportional to the turns ratios. If rated switching impulse withstand voltages are assigned to several windings, the problem should be solved as indicated in the preceding paragraph. A

ments, le problème sera résolu comme indiqué dans le paragraphe précédent. Un enroulement à prises à tension U_m plus faible, sans valeur imposée de la tension de tenue au choc de manœuvre, doit être placé de préférence, durant l'essai au choc de manœuvre, sur sa prise principale.

Pour les enroulements série des transformateurs survolteurs-dévolteurs de réglage, des transformateurs déphaseurs, etc., dans lesquels la tension nominale de l'enroulement n'est qu'une faible fraction de la tension du réseau, la valeur de U_m doit correspondre à la tension du réseau. Il est souvent impossible d'essayer de tels transformateurs strictement selon les présentes spécifications, et le constructeur et l'acheteur doivent se mettre d'accord sur les essais à omettre ou à modifier.

5 Prescriptions relatives à l'isolement et essais diélectriques — Règles de base

5.1 Généralités

Les règles de base qui permettent de définir les exigences relatives à l'isolement et les essais de tenue diélectrique sont les suivantes. Elles sont résumées dans le tableau I.

TABLEAU I
Guide pour les prescriptions et les essais de différents types d'enroulements

Type d'enroulement	Tensions d'essais de tenue constituant le niveau d'isolement, paragraphes et tableaux correspondants	Essais et articles correspondants
$U_m < 300$ kV Isolation uniforme	– Fréquence industrielle 5.2, II ou III – Choc de foudre 5.2, II ou III (facultatif pour transformateurs du type sec) – Choc de foudre pour le neutre, si exigé, 5.5.3	– Tension appliquée à fréquence industrielle (essai individuel) 10 – Choc de foudre (essai de type) 12 sur les bornes de ligne (essai de choc modifié sur le neutre, essai spécial, 12.3.2) – Tension induite (essai individuel) 11.2
$U_m < 300$ kV Isolation non uniforme	– Fréquence industrielle pour les bornes de ligne 5.3, II ou III – Choc de foudre pour borne de ligne 5.3, II ou III – Fréquence industrielle pour le neutre 5.5 – Choc de foudre pour le neutre, si exigé, 5.5.3	– Tension appliquée à fréquence industrielle (essai individuel) 10 correspondant au niveau d'isolement du neutre – Choc de foudre (essai de type) 12 sur les bornes de ligne (essai de choc modifié sur le neutre, essai spécial 12.3.2) – Tension induite (essai individuel) 11.3
$U_m \geq 300$ kV Isolation non uniforme Spécifié selon méthode 1, paragraphe 5.4.1	– Fréquence industrielle pour les bornes de ligne 5.4.1, IV – Choc de foudre pour les bornes de ligne 5.4.1, IV – Fréquence industrielle pour le neutre 5.5 – Choc de foudre pour le neutre, si exigé, 5.5.3	– Tension appliquée à fréquence industrielle (essai individuel) 10 correspondant au niveau d'isolement du neutre – Choc de foudre (essai individuel) 12 sur les bornes de ligne (essai de choc modifié sur le neutre, essai spécial 12.3.2) – Tension induite (essai individuel) 11.3
$U_m \geq 300$ kV Isolation non uniforme Spécifié selon méthode 2, paragraphe 5.4.2	– Choc de foudre pour les bornes de ligne 5.4.2, V – Choc de manœuvre pour les bornes de ligne 5.4.2, V – Fréquence industrielle pour le neutre 5.5 – Choc de foudre pour le neutre, si exigé, 5.5.3	– Tension appliquée à fréquence industrielle (essai individuel) 10 correspondant au niveau d'isolement du neutre – Choc de foudre (essai individuel) 12 sur les bornes de ligne (essai de choc modifié sur le neutre, essai spécial 12.3.2) – Choc de manœuvre (essai individuel) sur bornes de ligne 14 – Tension induite (essai individuel) 11.4 avec mesure des décharges partielles

tapped winding of lower U_m without assigned switching impulse withstand voltage should preferably be connected on its principal tapping during the switching impulse test

Series windings in booster regulating transformers, phase shifting transformers etc , where the rated voltage of the winding is only a small fraction of the voltage of the system, shall have a value of U_m corresponding to the system voltage. It is often impracticable to test such transformers in formal compliance with this specification, and it should be agreed between the manufacturer and the purchaser as to which tests have to be omitted or modified

5 Insulation requirements and dielectric tests — Basic rules

5.1 General

The basic rules for insulation requirements and dielectric withstand tests are as follows. They are summarized in Table I

TABLE I
Guide to requirements and tests for different categories of windings

Category of winding	Withstand voltages constituting insulation level, relevant sub-clauses and tables	Tests and test clauses
$U_m < 300$ kV uniform insulation	- Power frequency 5.2, II or III - Lightning impulse 5.2, II or III (optional for dry-type transformers) - Lightning impulse for neutral, if specified 5.5.3	- Separate source A C (routine) 10 - Lightning impulse (type) 12 on line terminals (Modified impulse test on neutral, special, 12.3.2) - Induced overvoltage (routine) 11.2
$U_m < 300$ kV non-uniform insulation	- Power frequency for line terminal 5.3, II or III - Lightning impulse for line terminals 5.3, II or III - Power frequency for neutral 5.5 - Lightning impulse for neutral, if specified 5.5.3	- Separate source A C (routine) 10 corresponding to insulation level of neutral - Lightning impulse (type) 12 on line terminals (Modified impulse test on neutral, special, 12.3.2) - Induced overvoltage (routine) 11.3
$U_m \geq 300$ kV non-uniform insulation Specified according to Method 1, Sub-clause 5.4.1	- Power frequency for line terminals 5.4.1, IV - Lightning impulse for line terminals 5.4.1, IV - Power frequency for neutral 5.5 - Lightning impulse for neutral, if specified 5.5.3	- Separate source A C (routine) 10 corresponding to insulation level of neutral - Lightning impulse (routine) 12 on line terminals (Modified impulse test on neutral, special 12.3.2) - Induced overvoltage (routine) 11.3
$U_m \geq 300$ kV non-uniform insulation Specified according to Method 2, Sub-clause 5.4.2	- Lightning impulse for line terminals 5.4.2, V - Switching impulse for line terminals 5.4.2, V - Power frequency for neutral 5.5 - Lightning impulse for neutral, if specified 5.5.3	- Separate source A C (routine) 10 corresponding to insulation level of neutral - Lightning impulse (routine) 12 on line terminals (Modified impulse test on neutral, special, 12.3.2) - Switching impulse (routine) on line terminals 14 - Induced overvoltage (routine) 11.4 with partial discharge measurement

Les renseignements concernant les caractéristiques de l'isolation et les essais diélectriques doivent être fournis avec un appel d'offre et avec une commande (voir annexe C)

Note — Il est parfois spécifié une extension des essais au choc de foudre de façon à leur ajouter des chocs coupés sur la queue, en particulier dans les cas où le transformateur n'est pas protégé par des parafoudres. Cette modification est traitée dans l'article 13

5.2 Prescriptions relatives à l'isolement et essais diélectriques pour les enroulements à isolation uniforme avec $U_m < 300 \text{ kV}$

Les tensions de tenue assignées de l'enroulement sont

- Une tension assignée de tenue de courte durée à fréquence industrielle, conformément au tableau II ou III
- Une tension assignée de tenue au choc de foudre pour les extrémités ligne, conformément au tableau II ou III,
- Si cela est spécifié, une tension assignée de tenue au choc pour le neutre, de même valeur de crête que pour les extrémités ligne

Pour les valeurs de U_m inférieures à 52 kV, le tableau II comprend deux listes de tensions de tenue au choc

Pour $U_m = 123, 145, 170$ ou 245 kV , les tableaux II et III comprennent différentes possibilités de choix des tensions de tenue à fréquence industrielle et au choc

Le choix entre les listes 1 et 2 pour $U_m < 52 \text{ kV}$ et le choix entre les différentes combinaisons de tensions de tenue assignées pour $U_m \geq 123 \text{ kV}$ dépendent de la sévérité des conditions de surtension auxquelles il faut s'attendre sur le réseau et de l'importance de l'installation particulière. La Publication 71-1 de la CEE, Coordination de l'isolement, Première partie Termes, définitions, principes et règles, peut servir de guide. Les valeurs choisies doivent être clairement indiquées dans l'appel d'offre.

Les tensions de tenue assignées sont vérifiées par les essais diélectriques suivants:

- Un essai de tenue à fréquence industrielle par tension appliquée, article 10 (essai individuel)
Cet essai a pour but de vérifier la tenue à fréquence industrielle de l'enroulement en essai par rapport à la masse et aux autres enroulements
- Un essai par tension induite, paragraphe 11.2 (essai individuel)
Cet essai a pour but de vérifier la tenue à fréquence industrielle le long de l'enroulement essayé et entre ses phases
- Un essai au choc de foudre plein appliqué aux bornes de ligne, article 12 (essai de type)
Cet essai a pour but de vérifier la tenue au choc de chaque extrémité ligne par rapport à la masse et aux autres enroulements, et le long de l'enroulement essayé
- Un essai au choc du neutre, paragraphe 12.3.2 (essai spécial), si une tension assignée de tenue au choc a été spécifiée pour le neutre
Cet essai a pour but de vérifier la tenue au choc du neutre par rapport à la masse et aux autres enroulements

Note — Dans certains pays, les transformateurs de distribution pour installations suburbaines ou rurales sont sévèrement exposés aux surtensions. Des tensions d'essai plus élevées ou des essais complémentaires, qui ne sont pas mentionnés ici, peuvent alors faire l'objet d'un accord entre constructeur et acheteur

Information about transformer insulation requirements and dielectric tests shall be supplied with an enquiry and with an order (see Appendix C)

Note — The extension of the lightning impulse test to include impulses chopped on the tail is sometimes specified, particularly for cases where the transformer is not protected by surge arresters. This modification is dealt with in Clause 13

5.2 Insulation requirements and dielectric tests for windings with $U_m < 300$ kV, uniform insulation

The rated withstand voltages of the winding are:

- A rated short-duration power-frequency withstand voltage according to Table II or III
- A rated lightning impulse withstand voltage for the line terminals according to Table II or III
- If specified, a rated impulse withstand voltage for the neutral terminal, with the same peak value as for the line terminals

For values of U_m lower than 52 kV there are two lists of alternative impulse withstand voltages in Table II

For $U_m = 123, 145, 170$ and 245 kV there are different alternatives of power frequency and impulse withstand voltages in Tables II and III

The choice between list 1 and list 2 for $U_m < 52$ kV and the choice between alternative rated withstand voltages for $U_m \geq 123$ kV depends on the severity of overvoltage conditions to be expected in the system and on the importance of the particular installation. Guidance may be obtained from IEC Publication 71-1, *Insulation Co-ordination: Part 1 Terms, Definitions, Principles and Rules*. The values chosen should be clearly stated in the enquiry.

The rated withstand voltages are verified by the following dielectric tests

- A separate-source power-frequency voltage withstand test, Clause 10 (routine test)

This test is intended to verify the power-frequency withstand strength of the winding under test to earth and other windings

- An induced overvoltage withstand test, Sub-clause 11.2 (routine test)

This test is intended to verify the power-frequency withstand strength along the winding under test and between its phases

- A full-wave lightning impulse test for the line terminals, Clause 12 (type test)

This test is intended to verify the impulse withstand strength of each line terminal to earth and other windings, and along the winding under test

- An impulse test for the neutral terminal, Sub-clause 12.3.2 (special test), if a rated impulse withstand voltage for the neutral terminal has been specified

This test is intended to verify the impulse withstand strength of the neutral terminal to earth and other windings

Note — Distribution transformers for suburban or rural installations are in some countries severely exposed to overvoltages. In such cases, higher test voltages or additional tests, which are not mentioned here, may be agreed between manufacturer and purchaser

5.3 Prescriptions relatives à l'isolement et essais diélectriques pour les enroulements à isolation non uniforme avec $U_m < 300 \text{ kV}$

Les tensions de tenue assignées de l'enroulement sont

- Une tension assignée de tenue de courte durée à fréquence industrielle pour les extrémités ligne, conformément au tableau II ou III
- Une tension assignée de tenue au choc de foudre pour les extrémités ligne, conformément au tableau II ou III
- Une tension assignée de tenue de courte durée à fréquence industrielle pour le neutre (paragraphe 5.5)
- Si cela est spécifié, une tension assignée de tenue au choc pour le neutre (paragraphe 5.5.3).

En ce qui concerne les listes 1 et 2 du tableau II et les valeurs à choisir pour $U_m > 123 \text{ kV}$ dans les tableaux II et III, voir paragraphe 5.2

Les tensions de tenue assignées sont vérifiées par les essais diélectriques suivants

- Un essai par tension induite, article 11 (essai individuel)
Cet essai a pour but de vérifier la tenue à fréquence industrielle des extrémités ligne par rapport à la terre et aux autres enroulements, ainsi que la tenue entre phases et le long de l'enroulement en essai. L'essai est effectué conformément au paragraphe 11.3
- Un essai au choc de foudre plein appliqué aux bornes de ligne, article 12 (essai de type)
Le but de cet essai est celui indiqué au paragraphe 5.2

TABLEAU II

Tensions de tenue assignées pour les enroulements de transformateurs dont la tension la plus élevée pour le matériel U_m est inférieure à 300 kV

Série I (fondée sur la pratique courante en dehors des Etats-Unis d'Amérique et de quelques autres pays)

Tension la plus élevée pour le matériel U_m (valeur efficace) (kV)	Tension assignée de tenue de courte durée à fréquence industrielle (valeur efficace) (kV)	Tension assignée de tenue au choc de foudre (crête)	
		Liste 1 (kV)	Liste 2 (kV)
$\leq 1,1$	3	—	—
3,6	10	20	40
7,2	20	40	60
12	28	60	75
17,5	38	75	95
24	50	95	125
36	70	145	170
52	95		250
72,5	140		325
	185		450
123	230		550
	275		650
145	325		750
	360		850
170	395		950
245			

5.3 *Insulation requirements and dielectric tests for windings with $U_m < 300$ kV, non-uniform insulation*

The rated withstand voltages of the winding are:

- A rated short-duration power-frequency withstand voltage for the line terminals according to Table II or III
- A rated lightning impulse withstand voltage for the line terminals according to Table II or III
- A rated short-duration power-frequency withstand voltage for the neutral terminal, Sub-clause 5.5
- If specified, a rated impulse withstand voltage for the neutral terminal, Sub-clause 5.5.3

Concerning list 1 and list 2 in Table II, and alternative values for $U_m > 123$ kV in Tables II and III, see Sub-clause 5.2

The rated withstand voltages are verified by the following dielectric tests:

- An induced overvoltage withstand test, Clause 11 (routine test)
This test is intended to verify the power-frequency voltage withstand strength of the line terminals to earth and other windings, the withstand strength between the phases and along the winding under test. The test is carried out according to Sub-clause 11.3
- A full-wave lightning impulse test for the line terminals, Clause 12 (type test)
The purpose of the test is as indicated in Sub-clause 5.2

TABLE II

Rated withstand voltages for transformer windings with highest voltage for equipment $U_m < 300$ 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)	
		List 1 (kV)	List 2 (kV)
≤ 1.1	3	—	—
3.6	10	20	40
7.2	20	40	60
12	28	60	75
17.5	38	75	95
24	50	95	125
36	70	145	170
52	95		250
72.5	140		325
123	185		450
	230		550
145	275		650
	325		750
170	360		850
	395		950
245			