

**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'Études

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'Études 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 Varembe
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 Essais 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

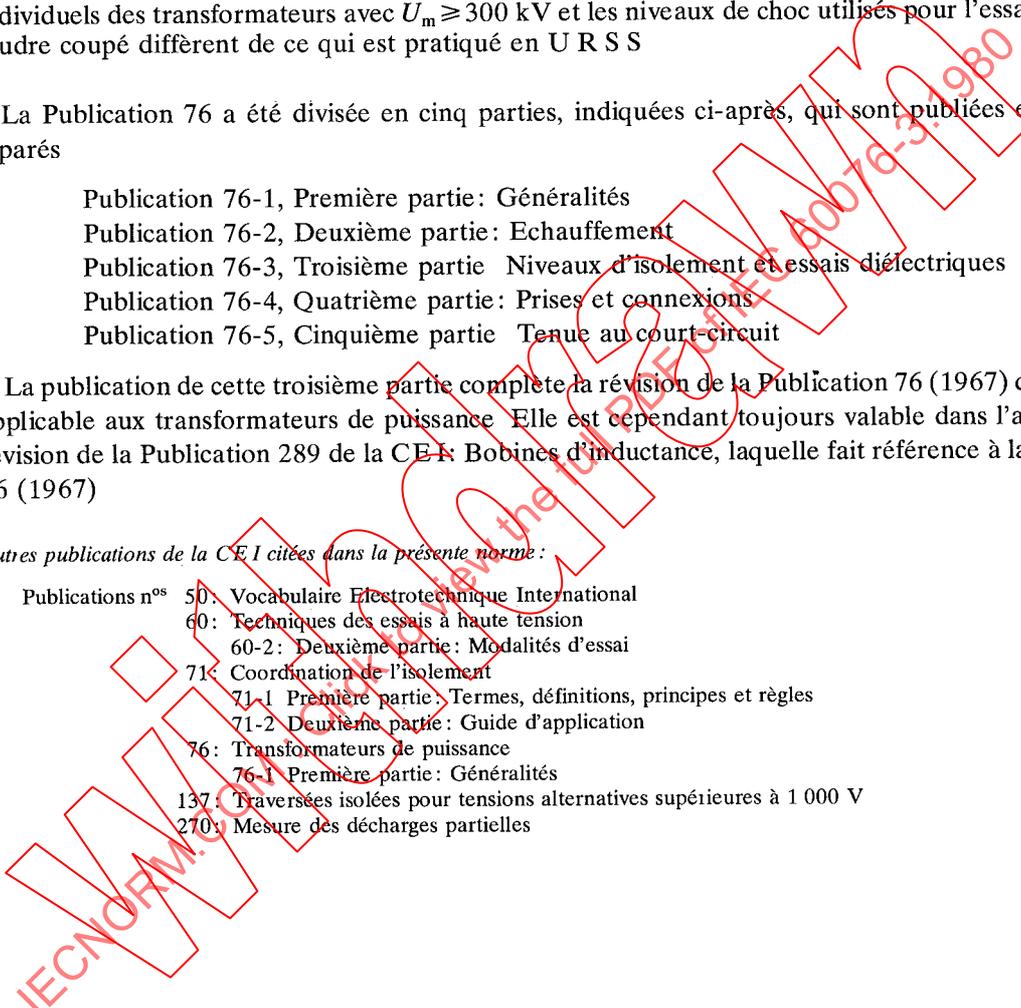
La Publication 76 a été divisée en cinq parties, indiquées ci-après, qui sont publiées en fascicules séparés

- 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 C E I: Bobines d'inductance, laquelle fait référence à la Publication 76 (1967)

Autres publications de la C E I 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'isolement 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 isolement

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 Isolement uniforme d'un enroulement de transformateur

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

1 4 Isolement non uniforme d'un enroulement de transformateur

Isolement 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 $U_m = 245$ kV
- un enroulement à isolation uniforme connecté en étoile avec $U_m = 72,5$ kV
- un enroulement tertiaire connecté en triangle avec $U_m = 24$ 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 $U_m = 24$ 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 1 050 LI 1 300 – 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 tappings, 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	<ul style="list-style-type: none"> - 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 	<ul style="list-style-type: none"> - 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	<ul style="list-style-type: none"> - 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 	<ul style="list-style-type: none"> - 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	<ul style="list-style-type: none"> - 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 	<ul style="list-style-type: none"> - 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	<ul style="list-style-type: none"> - 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 	<ul style="list-style-type: none"> - 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	<ul style="list-style-type: none"> – 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 	<ul style="list-style-type: none"> – 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	<ul style="list-style-type: none"> – 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 	<ul style="list-style-type: none"> – 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	<ul style="list-style-type: none"> – 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 	<ul style="list-style-type: none"> – 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	<ul style="list-style-type: none"> – 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 	<ul style="list-style-type: none"> – 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 $U_m < 300$ 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 $U_m < 52$ kV et le choix entre les différentes combinaisons de tensions de tenue assignées pour $U_m \geq 123$ 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 CIGRE, 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)
≤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
145	275		650
	325		750
170	360		850
245	395		950

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

TABLEAU III

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 II (fondée sur la pratique courante aux Etats-Unis d'Amérique et dans 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)	
		Transformateurs de distribution (kV)	Autres transformateurs (kV)
4,40	19	60	75
13,20 } 13,97 } 14,52 }	34	95	110
26,4	50		150
36,5	70		200
72,5	140		350
	185		450
123	230		550
	275		650
145	325		750
	360		825
170	395		900
245			

- Un essai de tenue à fréquence industrielle par tension appliquée à la borne neutre, article 10 (essai individuel)
Cet essai a pour but de vérifier la tenue à fréquence industrielle du neutre par rapport à la terre
- Un essai au choc appliqué à la borne neutre, paragraphe 12 3 2 (essai spécial), si une tension assignée de tenue au choc a été spécifiée pour le neutre
Le but de cet essai est celui indiqué au paragraphe 5 2

5 4 Prescriptions relatives à l'isolement et essais diélectriques pour les enroulements à isolation non uniforme avec $U_m \geq 300$ kV

Il existe deux méthodes différentes permettant de définir les caractéristiques et les essais des transformateurs qui ont des enroulements appartenant à cette catégorie. Le choix de l'une de ces deux méthodes fait partie des renseignements à fournir avec un appel d'offres et une commande, et, dans le cas où la méthode 2 a été choisie, il faut également indiquer quelle est la procédure retenue (paragraphe 11 4)

La méthode 1 (paragraphe 5 4 1), pour les spécifications et les essais, fait usage d'une tension assignée de tenue au choc de foudre et d'une tension assignée de tenue de courte durée à fréquence industrielle. Cette dernière est également supposée représenter une tenue suffisante au choc de manœuvre

TABLE III

*Rated withstand voltages for transformer windings with highest voltage for equipment $U_m < 300$ 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)	
		Distribution transformers (kV)	Other transformers (kV)
4 40	19	60	75
13 20 } 13 97 } 14 52 }	34	95	110
26 4	50		150
36 5	70		200
72 5	140		350
	185		450
123	230		550
145	275		650
	325		750
170	360		825
	395		900
245			

- A separate-source power-frequency voltage withstand test for the neutral terminal, Clause 10 (routine test)
This test is intended to verify the power-frequency voltage withstand strength of the neutral terminal to earth
- 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
The purpose of the test is as indicated in Sub-clause 5 2

5 4 *Insulation requirements and dielectric tests for windings with $U_m \geq 300$ kV, non-uniform insulation*

There are two alternative methods for the specification and testing of transformers which have windings belonging to this category. Which method has been selected is part of the information to be supplied with an enquiry and with an order, and if Method 2 has been selected it is also necessary to indicate the choice between alternative procedures (Sub-clause 11 4)

Method 1, Sub-clause 5 4 1, for specifying and testing makes use of a rated lightning impulse withstand voltage and a rated short-duration power-frequency withstand voltage. The latter is also intended to represent a sufficient withstand strength against switching impulse voltages

La méthode 2 (paragraphe 5 4 2) fait usage d'une tension assignée de tenue au choc de manœuvre et d'une tension assignée de tenue au choc de foudre. L'essai par tension induite à fréquence industrielle n'est relié qu'aux contraintes existant dans les conditions normales de service et pendant les surtensions temporaires. Les modalités de l'essai par tension induite diffèrent de celles de la méthode 1 par une durée plus longue, une tension d'essai phase-terre plus basse et le jugement de l'essai est fondé sur la mesure des décharges partielles dans le transformateur.

5 4 1 Méthode 1

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 IV.
- Une tension assignée de tenue au choc de foudre pour les extrémités ligne, conformément au tableau IV.
- 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.

Les tensions de tenue sont vérifiées par les essais diélectriques suivants

- Un essai par tension induite, article 11 (essai individuel).
Cet essai est effectué conformément au paragraphe 11 3.
Le but de cet essai est celui indiqué au paragraphe 5 3.
- Un essai au choc de foudre plein appliqué aux bornes de ligne, article 12 (essai individuel).
Le but de cet essai est celui indiqué au paragraphe 5 2.
- Un essai de tenue à fréquence industrielle par tension appliquée à la borne neutre, article 10 (essai individuel).
Le but de cet essai est celui indiqué au paragraphe 5 3.

TABLEAU IV

Tensions d'essai pour les extrémités ligne des enroulements de transformateurs dont $U_m \geq 300$ kV, spécifiées conformément à la méthode 1, paragraphe 5 4 1

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) (kV)
300	395	950
	460	1050
362	460	1050
	510	1175
420	570	1300
	630	1425

Method 2, Sub-clause 5.4.2, makes use of a rated switching impulse withstand voltage and a rated lightning impulse withstand voltage. The induced power-frequency overvoltage test is related only to stresses under normal operating conditions and temporary overvoltages. The induced voltage test procedure specified differs from that of Method 1 in that the duration is longer, the test voltage phase-to-earth is lower, and the test criterion is based on the measurement of partial discharges in the transformer.

5.4.1 *Method 1*

The rated withstand voltages of the winding are

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

The withstand voltages are verified by the following dielectric tests:

- An induced overvoltage withstand test, Clause 11 (routine test)
The test is carried out according to Sub-clause 11.3
The purpose of this test is as indicated in Sub-clause 5.3
- A full-wave lightning impulse test for the line terminals, Clause 12 (routine test)
The purpose of this test is as indicated in Sub-clause 5.2
- A separate-source power-frequency voltage withstand test for the neutral terminal, Clause 10 (routine test)
The purpose of this test is as indicated in Sub-clause 5.3

TABLE IV

Test voltages for line terminals of windings with $U_m \geq 300$ kV, specified according to Method 1, Sub-clause 5.4.1

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)
300	395	950
	460	1050
362	460	1050
	510	1175
420	570	1300
	630	1425

- Un essai au choc du neutre, paragraphe 12 3 2 (essai spécial), si une tension assignée de tenue au choc du neutre a été spécifiée L'essai est effectué sur tous les appareils de la commande concernée
Le but de cet essai est celui indiqué au paragraphe 5 2

5 4 2 Méthode 2

Les tensions de tenue assignées de l'enroulement sont

- Une tension assignée de tenue au choc de manœuvre pour les extrémités ligne, suivant le tableau V
- Une tension assignée de tenue au choc de foudre pour les extrémités ligne, suivant le tableau V
- 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

La Publication 71-1 de la CEI peut servir de guide pour le choix des tensions assignées de tenue au choc

TABLEAU V

Tensions d'essai pour les extrémités ligne des enroulements de transformateurs dont $U_m \geq 300$ kV, spécifiées conformément à la méthode 2, paragraphe 5 4 2

Tension la plus élevée pour le matériel U_m (valeur efficace) (kV)	Tension assignée de tenue au choc de manœuvre (entre phase et neutre) (crête) (kV)	Tension assignée de tenue au choc de foudre (crête) (kV)
	750	850
300	850	950
362	950	1050
420	1050	1175
		1300
525	1175	1425
	1425	1550
765	1550	1800
		1950

Note — Pendant les essais de tenue au choc de manœuvre d'un transformateur triphasé, la tension entre phases doit être approximativement égale à 1,5 fois la tension entre phase et neutre (voir paragraphe 14 3)

- 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. The test is carried out on all units of the order concerned.
The purpose of the test is as indicated in Sub-clause 5 2

5 4 2 Method 2

The rated withstand voltages of the winding are:

- A rated switching impulse withstand voltage for the line terminals, according to Table V
- A rated lightning impulse withstand voltage for the line terminals, according to Table V
- A rated short-duration power-frequency withstand voltage for the neutral terminal, Sub-clause 5 5
- If specified, a rated lightning impulse withstand voltage for the neutral terminal, Sub-clause 5 5 3

Guidance on the selection of rated impulse withstand voltages may be obtained from IEC Publication 71-1

TABLE V
Test voltages for line terminals of windings with $U_m \geq 300$ kV specified according to Method 2, Sub-clause 5 4 2

Highest voltage for equipment U_m (r m s) (kV)	Rated switching impulse withstand voltage (phase-to-neutral) (peak) (kV)	Rated lightning impulse withstand voltage (peak) (kV)
300	750	850
362	850	950
420	950	1050
525	1050	1175
765	1175	1300
	1425	1425
	1550	1550
		1800
		1950

Note — During the switching impulse withstand test on a three phase transformer the phase-to-phase test voltage shall be approximately 1.5 times the phase-to-neutral voltage (see Sub-clause 14 3)

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

- Un essai au choc de manœuvre appliqué aux bornes de ligne, article 14 (essai individuel)
Cet essai a pour but de vérifier la tenue au choc de manœuvre des extrémités ligne par rapport à la terre, et entre les extrémités ligne sur les transformateurs triphasés
- Un essai au choc de foudre plein appliqué aux bornes de ligne, article 12 (essai individuel)
Le but de cet essai est celui indiqué au paragraphe 5 2
- Un essai de tenue à fréquence industrielle par tension appliquée à la borne neutre, article 10 (essai individuel)
Le but de cet essai est celui indiqué au paragraphe 5 3
- Un essai au choc appliqué au neutre, paragraphe 12 3 2 (essai spécial), si une tension assignée de tenue au choc du neutre a été spécifiée. L'essai est effectué sur tous les appareils de la commande concernée
Le but de cet essai est celui indiqué au paragraphe 5 2

Du point de vue des contraintes existant dans les conditions normales de service et pendant les surtensions temporaires, le transformateur doit être soumis à

- Un essai par tension induite à fréquence industrielle avec mesure des décharges partielles conformément au paragraphe 11 4 (essai individuel)
Différentes procédures d'essai sont spécifiées dans ce paragraphe et il convient de faire le choix entre ces variantes au moment de la commande. La procédure d'essai s'applique à tous les enroulements à isolation non uniforme du transformateur

Cet essai doit être effectué après tous les autres essais diélectriques

5 5 Prescriptions et essais relatifs à l'isolement du neutre d'un enroulement à isolation non uniforme

5 5 1 Généralités

Le niveau d'isolement nécessaire est différent suivant que le neutre est prévu pour être directement mis à la terre ou non. Dans le dernier cas, il convient qu'un dispositif de protection contre les surtensions soit installé entre la borne neutre et la terre, de façon à limiter les surtensions transitoires, sinon l'isolement non uniforme de l'enroulement n'est pas recommandée.

Note — Les recommandations ci-dessous portent sur la détermination de la tension de tenue minimale nécessaire pour le neutre. Un accroissement de cette valeur peut quelquefois être obtenu facilement et peut améliorer l'interchangeabilité du transformateur dans le réseau. Il peut également être nécessaire de concevoir l'enroulement avec un niveau supérieur pour l'isolement du neutre, en raison du schéma d'essai à utiliser pour l'essai par tension induite à fréquence industrielle du transformateur (paragraphe 11 3)

5 5 2 Neutre prévu pour être directement mis à la terre

Le neutre est prévu pour être en permanence connecté à la terre directement ou à travers un transformateur de courant mais sans l'adjonction intentionnelle d'aucune impédance dans la connexion.

Dans ce cas, la valeur de la tension de tenue de courte durée à fréquence industrielle doit être au moins égale à 38 kV.

The rated withstand voltages are verified by the following dielectric tests

- A switching impulse test for the line terminals, Clause 14 (routine test)
This test is intended to verify the switching impulse withstand strength of the line terminals to earth, and between line terminals on three-phase transformers
- A full-wave lightning impulse voltage withstand test for the line terminals, Clause 12 (routine test)
The purpose of this test is as indicated in Sub-clause 5 2
- A separate-source power-frequency voltage withstand test for the neutral terminal, Clause 10 (routine test)
The purpose of this test is as indicated in Sub-clause 5 3
- 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. The test is carried out on all units of the order concerned
The purpose of the test is as indicated in Sub-clause 5 2

From the point of view of stresses under normal operating conditions and temporary over-voltages, the transformer shall undergo

- An induced power-frequency overvoltage test with partial discharge measurement according to Sub-clause 11 4 (routine test)
There are alternative procedures specified in this sub-clause, and the choice between these should be decided at the time of the order. The test procedure applies to all windings of the transformer having non-uniform insulation

This test shall be carried out after completion of the other dielectric tests

5 5 *Insulation requirements and tests for the neutral terminal of a winding with non-uniform insulation*

5 5 1 *General*

The necessary insulation level depends on whether the neutral terminal is intended to be directly earthed or not. In the latter case, an overvoltage protective device should be installed between the neutral terminal and earth in order to limit transient overvoltages—otherwise non-uniform insulation of the winding is not recommended

Note — The recommendations below deal with determination of the necessary minimum withstand voltage for the neutral terminal. An increase of the value may sometimes easily be arranged and can improve the interchangeability of the transformer in the system. It may also be necessary to design the winding with higher neutral insulation level because of the test connection to be used for the induced power-frequency test of the transformer (Sub-clause 11 3)

5 5 2 *Neutral terminal to be directly earthed*

The neutral terminal is to be permanently connected to earth directly or through a current transformer but without any intentionally added impedance in the connection

In this case the short-time power-frequency withstand voltage shall be at least 38 kV

Aucun essai de choc sur la borne de neutre n'est recommandé. Pendant les essais de choc sur une borne de ligne, la borne de neutre doit être directement connectée à la terre.

5.5.3 Neutre prévu pour ne pas être mis à la terre directement

Le neutre n'est pas destiné à être mis directement à la terre en permanence. Il peut être relié à la terre à travers une impédance importante (par exemple bobine d'extinction d'arc). Les bornes neutres séparées des enroulements de phase peuvent être reliées à un transformateur de réglage.

La tension assignée du parafoudre qui doit être mis en place pour la protection du neutre doit être choisie au moins égale à la tension à fréquence industrielle maximale dans les conditions de défaut du réseau qui sont prises en considération.

Il est de la responsabilité de l'acheteur de choisir le dispositif de protection contre les sursensions, de déterminer le niveau de protection au choc, et de spécifier la tension de tenue au choc correspondante pour le neutre du transformateur. Une valeur normalisée appropriée est à prélever de préférence dans le tableau II ou III. La tension assignée correspondante de tenue à fréquence industrielle qui figure dans ce tableau doit également être appliquée. Il est recommandé de vérifier que la tension de tenue à fréquence industrielle est supérieure à la tension de défaut du réseau précitée.

La tension assignée de tenue au choc du neutre est vérifiée par l'un des deux essais décrits au paragraphe 12.3.2. Il n'est pas recommandé d'essai au choc coupé sur le neutre.

6 Essais sur un transformateur comportant un enroulement à prises

Si l'étendue de prises est inférieure ou égale à $\pm 5\%$, les essais diélectriques doivent être faits avec le transformateur sur la prise principale.

Si l'étendue de prises est supérieure à $\pm 5\%$, le choix de la prise ne peut pas être prescrit de façon universelle et les dispositions suivantes sont applicables.

Les conditions d'essais déterminent le choix d'une prise particulière pour l'essai à fréquence industrielle par tension induite et pour l'essai au choc de manœuvre (article 4).

Pendant l'essai au choc de foudre, les contraintes diélectriques sont réparties différemment selon la prise connectée et la conception générale du transformateur. En l'absence d'un accord pour réaliser l'essai au choc sur une prise particulière, on doit utiliser les deux prises extrêmes et la prise principale, une prise sur chacune des trois phases d'un transformateur triphasé, ou sur chacun des trois transformateurs monophasés d'un banc triphasé.

7 Prescriptions relatives à l'isolement et conditions d'essais pour les transformateurs du type sec

En attendant la publication d'une nouvelle norme relative aux transformateurs du type sec, les dispositions suivantes sont applicables.

Les transformateurs secs ne forment pas un groupe homogène sous l'angle des prescriptions relatives à l'isolement et des essais. Les articles de cette publication sont applicables lorsque les transformateurs du type sec sont prévus pour des réseaux ordinaires de distribution publique ou industriels. Ils sont alors construits suivant le paragraphe 5.2 et le tableau II, liste 1 ou 2.

Cependant, pour l'utilisation dans des réseaux particuliers où les exigences d'isolement sont plus faibles que dans le cas général, et où cela a été confirmé par l'expérience, des transformateurs secs non conçus pour des essais au choc et même avec des tensions d'essai à fréquence industrielle plus basses peuvent être employés. Aucune valeur précise n'est recommandée ici.

No impulse test on the neutral terminal is recommended. During impulse tests on a line terminal, the neutral terminal shall be connected directly to earth.

5.5.3 *Neutral terminal to be not directly earthed*

The neutral terminal is not to be permanently in direct connection to earth. It may be connected to earth through a considerable impedance (e.g. arc-suppression coil earthing). Separate phase-winding neutral terminals may be connected to a regulating transformer.

The rated voltage of the surge arrester which is to be installed for neutral protection shall be selected at least equal to the maximum power-frequency voltage under such conditions of system faults as are considered.

It is the responsibility of the purchaser to select the overvoltage protective device, to determine its impulse protection level, and to specify the corresponding impulse withstand voltage for the neutral terminal of the transformer. A suitable standard value is preferably to be selected from Table II or III. The corresponding rated power-frequency withstand voltage from the table shall also apply. It should be checked that the power-frequency withstand voltage is greater than the above-mentioned system-fault voltage.

The rated impulse withstand voltage of the neutral terminal is verified by either of the two tests described in Sub-clause 12.3.2. A chopped-wave impulse test on the neutral is not recommended.

6 **Tests on a transformer having a tapped winding**

If the tapping range is $\pm 5\%$ or less, the dielectric tests shall be done with the transformer connected on the principal tapping.

If the tapping range is larger than $\pm 5\%$, the choice of tapping cannot be prescribed universally and the following applies:

Testing conditions determine the choice of tapping required for the induced power-frequency test and for the switching impulse test (Clause 4).

Under lightning impulse test the dielectric stresses are distributed differently depending on the tapping connection and the general design of the transformer. Unless impulse testing on a particular tapping has been agreed, the two extreme tapplings and the principal tapping shall be used, one tapping for each of the three individual phases of a three-phase transformer or the three single-phase transformers designed to form a three-phase bank.

7 **Insulation requirements and test conditions for dry-type transformers**

Pending publication of a new standard for dry-type transformers the following applies:

Dry-type transformers are not a uniform category with respect to insulation requirements and tests. The clauses of this publication are applicable when dry-type transformers are intended for general power distribution in public or industrial systems. They are then designed in accordance with Sub-clause 5.2 and Table II, list 1 or 2.

However, for application in particular systems where the insulation requirements are lower than in general, and where this has been proven by experience, dry-type transformers not designed for impulse type tests and with even lower power frequency test voltages may be applied. No definite figures are recommended here.

8 **Renouvellement des essais diélectriques**

Si un transformateur a déjà subi des essais diélectriques de réception complets conformément aux paragraphes 5 2, 5 3 ou 5 4 et si ensuite des essais diélectriques doivent être effectués à nouveau, les niveaux de tensions d'essai doivent être réduits à 75 % des valeurs d'origine, sauf convention contraire, et à condition que l'isolation interne n'ait pas été modifiée entre-temps

Note — Cette règle ne s'applique pas à l'essai à fréquence industrielle par tension induite (paragraphe 11 4) pour les transformateurs spécifiés conformément au paragraphe 5 4 2

9 **Isolement des circuits auxiliaires**

Sauf spécification contraire, les circuits auxiliaires d'alimentation et de commande doivent être soumis à un essai de tenue à fréquence industrielle de une minute sous une tension de valeur efficace 2 kV par rapport à la terre. Les moteurs et autres appareils des auxiliaires doivent remplir les conditions d'isolement indiquées dans les normes CEM appropriées (ce qui correspond en général à des valeurs plus faibles que pour les seuls circuits et ce qui oblige quelquefois à les débrancher pour l'essai des circuits)

Note — Les accessoires des gros transformateurs sont habituellement démontés pour le transport. Après montage complet sur le site, il est recommandé d'effectuer un essai à 1 000 V avec un ohmmètre à magnéto

10 **Essai par tension appliquée**

L'essai par tension appliquée doit être effectué avec une tension alternative monophasée de forme aussi proche que possible de la forme sinusoïdale et à toute fréquence appropriée au moins égale à 80 % de la fréquence nominale

On mesure la valeur de crête de la tension. La valeur de crête divisée par $\sqrt{2}$ doit être égale à la valeur d'essai

L'essai doit commencer à une tension égale au maximum au tiers de la valeur d'essai spécifiée et la tension est portée à la valeur d'essai aussi rapidement que le permet la mesure. A la fin de l'essai, on réduit rapidement la tension à une valeur inférieure au tiers de la valeur d'essai avant de la couper

La pleine tension d'essai doit être appliquée pendant 60 s entre l'enroulement en essai et toutes les bornes des autres enroulements, le circuit magnétique, le bâti et la cuve ou l'enveloppe du transformateur, reliés ensemble à la terre

L'essai est satisfaisant s'il ne se produit aucun effondrement de la tension d'essai

Note — Sur des enroulements à isolation non uniforme, l'essai est effectué uniquement pour la tension d'essai spécifié pour le neutre. Les bornes de ligne sont alors soumises à l'essai par tension induite modifié suivant le paragraphe 11 3 ou 11 4

11 **Essai par tension induite**

11 1 *Généralités*

L'essai est effectué de trois façons différentes, décrites dans les paragraphes 11 2, 11 3 et 11 4, suivant le type d'enroulement

8 Repeated dielectric tests

If a transformer has already withstood complete dielectric acceptance tests according to Sub-clauses 5 2, 5 3 or 5 4, and subsequently acceptance tests are to be repeated, the test voltage levels shall be reduced to 75 % of the original values, unless otherwise agreed, and provided that the internal insulation has not been modified in the meantime

Note — This rule does not apply to the induced power-frequency overvoltage test (Sub-clause 11 4) on transformers specified according to Sub-clause 5 4 2

9 Insulation of auxiliary wiring

Unless otherwise specified the wiring for auxiliary power and control circuitry shall be subjected to a one-minute power-frequency withstand test of 2 kV r m s to earth. Motors and other apparatus for auxiliary equipment shall fulfil insulation requirements according to the relevant IEC standard (which are generally lower than the value specified for the wiring alone, and which may sometimes make it necessary to disconnect them in order to test the circuits)

Note — Auxiliary equipment for large transformers is usually dismantled for shipment. After completion of erection on site, a 1 000 V megohm meter test is recommended

10 Separate-source voltage withstand test

The separate-source voltage test shall be made with single-phase alternating voltage as nearly as possible of sine-wave form and of any convenient frequency not less than 80% of the rated frequency

The peak value of voltage shall be measured. The peak value divided by $\sqrt{2}$ shall be equal to the test value

The test shall be commenced at a voltage not greater than one-third of the specified test value and the voltage shall be increased to the test value as rapidly as is consistent with measurement. At the end of the test, the voltage shall be reduced rapidly to less than one-third of the test value before switching off

The full test voltage shall be applied for 60 s between the winding under test and all terminals of the remaining windings, core, frame and tank or casing of the transformer, connected together to earth

The test is successful if no collapse of the test voltage occurs

Note — On windings with non-uniform insulation, the test is carried out with only the test voltage specified for the neutral terminal. The line terminals are then subjected to a modified induced overvoltage test according to Sub-clause 11 3 or 11 4

11 Induced overvoltage withstand test

11 1 General

The test is carried out in three alternative ways, described in Sub-clauses 11 2, 11 3 and 11 4, for different categories of windings

On doit appliquer une tension alternative aux bornes d'un enroulement du transformateur. La forme de la tension doit être aussi proche que possible de la forme sinusoïdale et sa fréquence doit dépasser suffisamment la fréquence nominale pour éviter un courant magnétisant excessif au cours de l'essai.

On doit mesurer la valeur de crête de la tension d'essai induite. La valeur de crête divisée par $\sqrt{2}$ doit être égale à la valeur d'essai.

L'essai doit commencer à une tension égale au maximum au tiers de la valeur d'essai et cette tension est portée à la valeur d'essai aussi rapidement que le permet la mesure. À la fin de l'essai, on réduit rapidement la tension à une valeur inférieure au tiers de la valeur d'essai avant de la couper.

Sauf spécification contraire dans les paragraphes qui suivent, la durée de l'essai à la pleine tension d'essai est de 60 s pour toute fréquence d'essai inférieure ou égale à deux fois la fréquence assignée. Lorsque la fréquence d'essai dépasse le double de la fréquence assignée, la durée de l'essai doit être

$$120 \times \frac{\text{fréquence assignée}}{\text{fréquence d'essai}} \text{ secondes}$$

avec un minimum de 15 s.

11.2 *Essai par tension induite des transformateurs avec enroulements haute tension à isolation uniforme*

D'une façon générale, la tension d'essai aux bornes d'un enroulement sans prises du transformateur doit être égale à deux fois la valeur de la tension assignée, mais la tension d'essai entre bornes de ligne d'un enroulement triphasé ne doit pas dépasser la tension de tenue assignée indiquée à la colonne 2 du tableau II ou III.

L'essai d'un enroulement triphasé est, de préférence, effectué avec des tensions triphasées équilibrées induites dans les trois phases de l'enroulement. Si l'enroulement a un neutre sorti, celui-ci peut être mis à la terre pendant l'essai.

L'essai est satisfaisant s'il ne se produit aucun effondrement de la tension d'essai.

11.3 *Essai par tension induite phase-terre des transformateurs dont l'enroulement haute tension est à isolation non uniforme avec $U_m < 300 \text{ kV}$ (paragraphe 5.3), ou $U_m \geq 300 \text{ kV}$, enroulement prescrit suivant la méthode 1 (paragraphe 5.4.1)*

Les bornes de ligne doivent être soumises à une tension d'essai dont la valeur est spécifiée dans le tableau approprié.

Sur les transformateurs monophasés, l'essai est normalement effectué avec la borne neutre à la terre. Si le rapport de transformation est réglable à l'aide de prises, il est recommandé d'utiliser celles-ci de façon à satisfaire, autant que possible, simultanément aux conditions d'essai sur les différents enroulements. Dans les cas exceptionnels (voir article 4), le neutre peut être porté à une certaine tension en le reliant à un transformateur auxiliaire. On peut également connecter un autre enroulement du transformateur essayé en série avec l'enroulement haute tension.

La procédure d'essai pour un transformateur triphasé consiste en trois applications monophasées de la tension d'essai en reliant différents points de l'enroulement à la terre à chaque fois. La figure 1 indique des schémas d'essai recommandables, qui évitent des surtensions excessives entre extrémités ligne. D'autres méthodes sont également possibles.

Les autres enroulements séparés doivent généralement être mis à la terre au neutre s'ils sont connectés en étoile et à l'une de leurs bornes s'ils sont connectés en triangle.

An alternating voltage shall be applied to the terminals of one winding of the transformer. The form of the voltage shall be as nearly as possible sinusoidal and its frequency sufficiently above the rated frequency to avoid excessive magnetizing current during the test.

The peak value of the induced test voltage shall be measured. The peak value divided by $\sqrt{2}$ shall be equal to the test value.

The test shall be commenced at a voltage not greater than one-third of the test value and the voltage shall be increased to the test value as rapidly as is consistent with measurement. At the end of the test, the voltage shall be reduced rapidly to less than one-third of the test value before switching off.

Unless otherwise specified in the sub-clauses below, the duration of the test at full test voltage shall be 60 s for any test frequency up to and including twice the rated frequency. When the test frequency exceeds twice the rated frequency, the duration of the test shall be:

$$120 \times \frac{\text{rated frequency}}{\text{test frequency}} \text{ seconds}$$

but not less than 15 s

11.2 *Induced overvoltage withstand test for transformers with uniformly insulated high-voltage windings*

As a rule, the test voltage across an untapped winding of the transformer shall be equal to twice the rated voltage, but the phase-to-phase test voltage of any three-phase winding shall not exceed the rated withstand voltage according to Table II or III, column 2.

A three-phase winding shall preferably be tested with symmetrical three-phase voltages induced in the three winding phases. If the winding has a neutral terminal, this may be earthed during the test.

The test is successful if no collapse of the test voltage occurs.

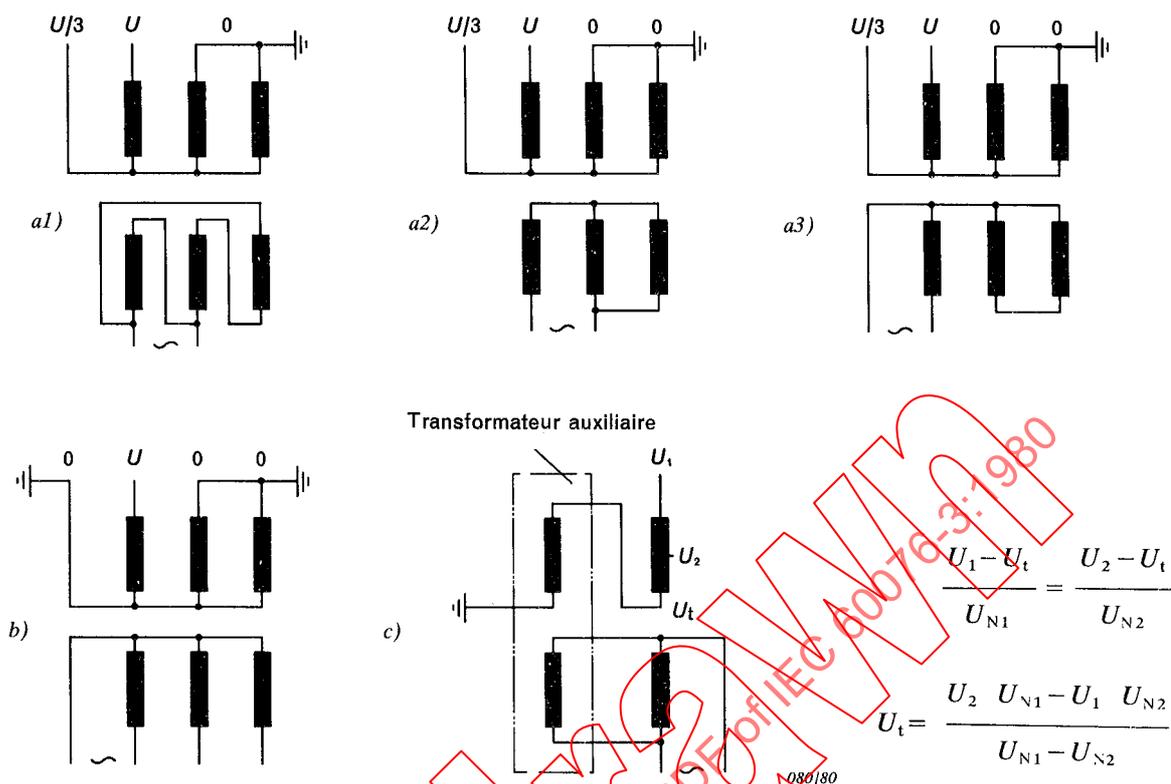
11.3 *Induced phase-to-earth overvoltage withstand test for transformers with non-uniformly insulated high-voltage windings ($U_m < 300$ kV (Sub-clause 5.3), or $U_m \geq 300$ kV, specified according to Method 1 (Sub-clause 5.4.1))*

The line terminals shall be subjected to the test voltage value specified in the appropriate table.

On single-phase transformers, the test is normally carried out with the neutral terminal earthed. If the ratio between the windings is variable by tapings, this should be used to satisfy test voltage conditions on the different windings simultaneously as far as possible. In exceptional cases (see Clause 4) the voltage on the neutral terminal may be raised by connection to an auxiliary booster transformer. Alternatively, another winding of the transformer under test may be connected in series with the high-voltage winding.

The test sequence for a three-phase transformer consists of three single-phase applications of test voltage with different points of the winding connected to earth at each time. Recommended test connections which avoid excessive overvoltage between line terminals are shown in Figure 1. There are also other possible methods.

Other separate windings shall generally be earthed at the neutral if they are star-connected, and at one of the terminals if they are delta-connected.



Le schéma a) peut être utilisé lorsque le neutre est prévu pour supporter au moins un tiers de la tension d'essai U . Trois schémas différents d'alimentation de l'enroulement basse tension sont représentés. Le schéma a1) seul est applicable lorsque le transformateur comporte des culasses magnétiques de retour non bobinées (transformateur cuirassé ou à cinq colonnes).

Le schéma b) est applicable et recommandé dans le cas des transformateurs triphasés comportant des culasses magnétiques non bobinées pour le retour du flux traversant le noyau de la phase essayée. S'il existe un enroulement en triangle, il doit être ouvert pendant l'essai.

Le schéma c) montre un transformateur auxiliaire qui produit une tension de polarisation U_t à la borne neutre d'un autotransformateur en essai. Les tensions assignées des enroulements de l'autotransformateur sont U_{N1} et U_{N2} et les tensions d'essai correspondantes U_1 et U_2 .

Ce schéma peut aussi être utilisé pour un transformateur triphasé sans culasses magnétiques non bobinées dont l'isolation du neutre est conçue pour moins d'un tiers de la tension U .

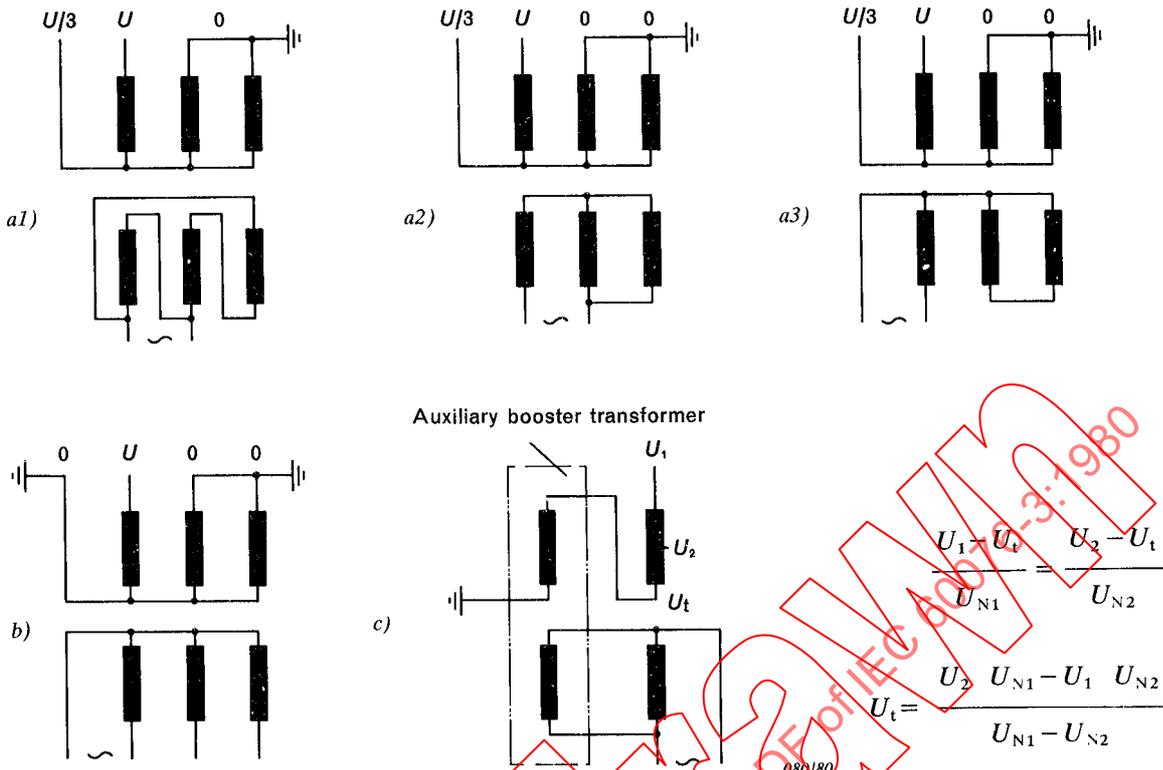
Fig. 1 — Schémas d'essais monophasés par tension induite appliqués à des transformateurs à isolation non uniforme (paragraphe 11.3)

La tension par spire pendant l'essai atteint différentes valeurs qui dépendent du schéma d'essai.

Le choix d'un schéma d'essai convenable est déterminé par les caractéristiques du transformateur et les possibilités de la station d'essai.

Note — Dans le cas de transformateurs ayant une disposition compliquée des enroulements, il est recommandé que toutes les connexions entre enroulements pendant les essais soient examinées par le constructeur et l'acheteur, dès le stade de l'offre, afin que l'essai représente autant que possible une combinaison réaliste des contraintes de service.

L'essai est satisfaisant s'il ne se produit aucun effondrement de la tension d'essai.



Connection *a*) may be used when the neutral is designed to withstand at least one-third of the voltage U . Three different generator connections to the low-voltage winding are shown. Only *a1*) is possible if the transformer has unwound magnetic return paths (shell form or five-limb core form).

Connection *b*) is possible and recommended for three-phase transformers having unwound magnetic return paths for the flux in the tested limb. If there is a delta-connected winding, it has to be open during the test.

Connection *c*) shows an auxiliary booster transformer, which gives a bias voltage U_t at the neutral terminal of an auto-transformer under test. Rated voltages of the two auto-connected windings are U_{N1} , U_{N2} , and the corresponding test voltages, U_1 , U_2 .

This connection may also be used for a three-phase transformer without unwound magnetic return paths having the neutral insulation designed for less than one third of the voltage U .

FIG 1 — Connections for single-phase induced over-voltage withstand tests on transformers with non-uniform insulation (Sub-clause 11.3)

The voltage per turn during the test reaches different values depending on the test connection.

The choice of a suitable test connection is determined by the characteristics of the transformer and of the test plant.

Note — In the case of transformers with complicated winding arrangements, it is recommended that the complete connection of all windings during the test be reviewed between manufacturer and purchaser at the contract stage, in order that the test will represent a realistic service stress combination as far as possible.

The test is successful if no collapse of the test voltage occurs.

11.4 Essai par tension induite des transformateurs dont les enroulements haute tension sont à isolation non uniforme, avec $U_m \geq 300 \text{ kV}$, prescrit suivant la méthode 2, paragraphe 5.4.2

L'essai est applicable à tous les enroulements à isolation non uniforme du transformateur, qu'ils soient réunis pour former un autotransformateur ou séparés

Le neutre de l'enroulement essayé doit être mis à la terre. Pour les autres enroulements séparés, s'ils sont connectés en étoile, leur neutre doit être mis à la terre, et, s'ils sont connectés en triangle, l'une de leurs bornes doit être mise à la terre

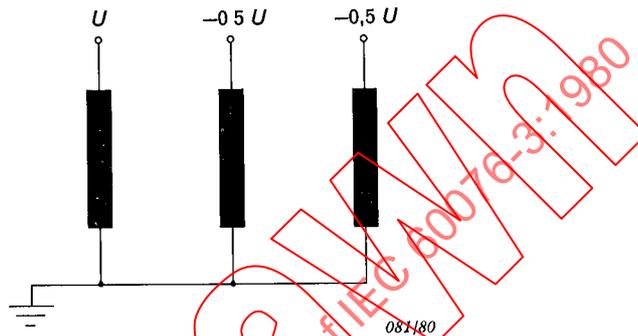
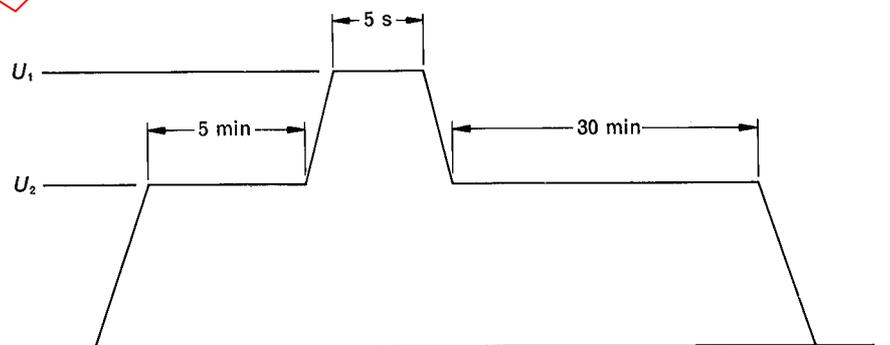


FIG 2 — Essai phase par phase sur un transformateur triphasé

Un transformateur triphasé doit être essayé soit phase par phase avec un couplage monophasé produisant aux bornes de ligne des tensions conformes à ce qui est indiqué sur la figure 2, soit avec un couplage triphasé équilibré. Le choix du couplage d'essai doit faire l'objet d'un accord entre constructeur et acheteur au moment de la commande

La séquence d'application de la tension d'essai doit être conforme à la figure 3. La tension doit être appliquée avec un niveau ne dépassant pas le tiers de U_2 , augmentée jusqu'à U_2 , maintenue à cette valeur pendant une durée de 5 min, portée à U_1 , et maintenue à cette valeur pendant une durée de 5 s, réduite immédiatement jusqu'à U_2 , sans coupure, et maintenue à cette valeur pendant une durée de 30 min; la tension est ensuite réduite jusqu'à une valeur inférieure au tiers de U_2 puis coupée

La durée de l'essai est indépendante de la fréquence de la tension d'essai



082/80

FIG 3 — Séquence d'application de la tension d'essai

11.4 Induced overvoltage withstand test for transformers with non-uniformly insulated high-voltage windings, $U_m \geq 300 \text{ kV}$, specified according to Method 2, Sub-clause 5.4.2

The test applies to all non-uniformly insulated windings of the transformer, regardless of whether they are auto-connected or separate

The neutral terminal of the winding under test shall be earthed. For other separate windings, if they are star-connected they shall be earthed at the neutral, and if they are delta-connected they shall be earthed at one of the terminals

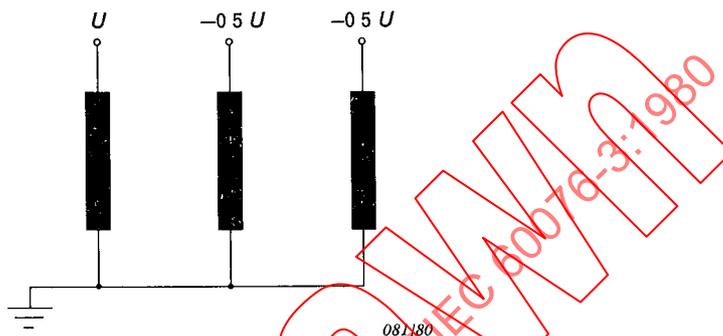


FIG 2 — Phase-by-phase test on a three-phase transformer

A three-phase transformer shall be tested either phase-by-phase in a single-phase connection that gives voltages on the line terminals according to Figure 2, or in symmetrical three-phase connection. The choice shall be agreed between the parties at the time of placing the order.

The time sequence for the application of test voltage shall be as shown in Figure 3. The voltage shall be switched on at a level not higher than one-third of U_2 , raised to U_2 , held there for a duration of 5 min, raised to U_1 , held there for a duration of 5 s, immediately reduced again without interruption to U_2 , held there for a duration of 30 min, and reduced to a value below one-third of U_2 before switching off.

The duration of the test shall be independent of the test frequency

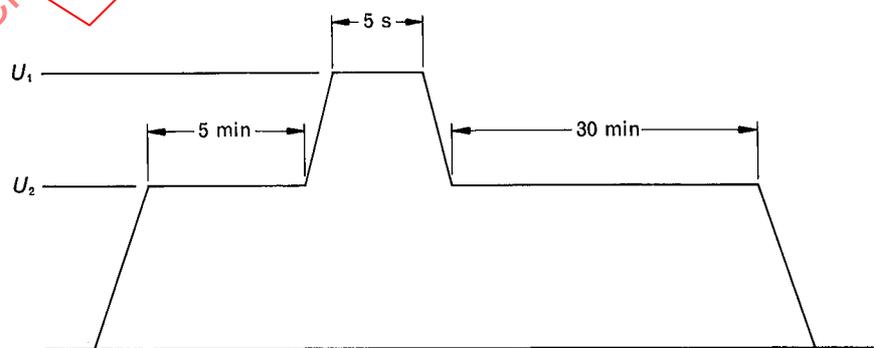


FIG 3 — Time sequence for the application of test voltage

Pendant toute la durée d'application de la tension, les décharges partielles doivent être observées conformément aux indications ci-dessous. La « charge apparente » q ne doit pas dépasser une valeur spécifiée.

Les tensions d'essai entre bornes de ligne et de neutre, exprimées en valeurs réduites par rapport à $U_m/\sqrt{3}$, doivent être les suivantes

U_1 doit être égale à $\sqrt{3} U_m/\sqrt{3} = U_m$

U_2 doit être égale à soit $1,5 U_m/\sqrt{3}$ avec valeur spécifiée de $q = 500 \text{ pC}$
soit $1,3 U_m/\sqrt{3}$ avec valeur spécifiée de $q = 300 \text{ pC}$

Ce dernier choix doit faire l'objet d'un accord entre constructeur et acheteur au moment de la commande.

Note — Les valeurs spécifiées de q sont provisoires et pourront être révisées en fonction de l'expérience.

Les décharges partielles doivent être observées et mesurées comme indiqué ci-dessous. Des renseignements complémentaires sont donnés dans l'annexe A, qui se réfère elle-même à la Publication 270 de la CEI. Mesure des décharges partielles.

- Les mesures doivent être effectuées aux bornes de ligne de tous les enroulements à isolation non uniforme, ce qui signifie que, dans le cas des deux enroulements ayant une partie commune d'un autotransformateur, cela s'applique simultanément aux bornes de ligne haute et basse tension.
- La voie de mesure reliée à chaque borne utilisée doit être étalonnée avec des impulsions répétitives injectées entre cette borne et la masse. Cet étalonnage est utilisé pour la détermination des mesures effectuées durant l'essai.
- On doit considérer comme « charge apparente » mesurée à une borne déterminée du transformateur, à l'aide de l'étalonnage approprié, conforme à ce qui vient d'être décrit, la plus grande valeur stable des impulsions répétitives. Il convient de négliger des pointes élevées se produisant occasionnellement.
- Avant et après chaque application de la tension d'essai, le niveau de bruit de fond doit être noté pour chaque voie de mesure.
- Le niveau de bruit de fond doit être inférieur à la moitié de la limite spécifiée pour la charge apparente q .
- Pendant l'augmentation de la tension jusqu'à U_2 et sa diminution à partir de U_2 , il convient de noter les valeurs des éventuelles tensions d'apparition et d'extinction des décharges.
- Une mesure doit être faite, et notée, pendant la première période à la tension U_2 .
- Il n'est pas prescrit de faire une observation des décharges pendant la courte application de la tension U_1 .
- Pendant toute la durée de la deuxième période à la tension U_2 , le niveau des décharges partielles doit être observé en permanence et des mesures doivent être notées ou enregistrées de temps en temps.

L'essai est satisfaisant si

- il n'y a pas d'effondrement de la tension d'essai;
- le niveau permanent de la charge apparente, mesuré pendant les 29 dernières minutes de la période de 30 min à la tension U_2 , reste inférieur à la valeur limite spécifiée sur toutes les voies de mesure et n'évolue pas de façon sensible, avec une croissance continue, au voisinage de cette limite.

During the whole application of test voltage, partial discharges shall be monitored as described below. The “apparent charge” q shall not be higher than a specified value.

The test voltages between line and neutral terminals expressed in terms of $U_m/\sqrt{3}$ shall be as follows:

U_1 shall be $\sqrt{3} \cdot U_m/\sqrt{3} = U_m$

U_2 shall be either $1.5 U_m/\sqrt{3}$ with specified value of $q = 500$ pC
or $1.3 U_m/\sqrt{3}$ with specified value of $q = 300$ pC

The choice shall be agreed between manufacturer and purchaser at the time of placing the order.

Note — The specified values of q are provisional and subject to review in the light of experience.

The partial discharges shall be observed and evaluated as follows. Further information may be obtained from Appendix A, which, in turn, refers to IEC Publication 270: Partial Discharge Measurements.

- Measurements shall be carried out at the line terminals of all non-uniformly insulated windings, which means that the higher and lower voltage line terminals of an auto-connected pair of windings will be used simultaneously.
- The measuring channel from each terminal used shall be calibrated with repetitive impulses between the terminal and earth, and this calibration is used for the evaluation of readings during the test.
- The “apparent charge” measured at a specific terminal of the transformer, using the appropriate calibration as just described, shall refer to the highest steady-state repetitive impulses. Occasional high kicks should be disregarded.
- Before and after the application of test voltage, the background noise level shall be recorded on all measuring channels.
- The background noise level shall be lower than half the specified limit for apparent charge q .
- During the raising of voltage up to level U_2 and reduction from U_2 down again, possible inception and extinction voltages should be noted.
- A reading shall be taken and noted during the first period at voltage U_2 .
- Observations during the short application of voltage U_1 are not required.
- During the whole of the second period at voltage U_2 , the partial discharge level shall be continuously observed and readings at intervals noted or recorded.

The test is successful if:

- no collapse of the test voltage occurs;
- the continuous level of “apparent charge” during the last 29 of the 30 min application of voltage U_2 stays below the specified limit in all the measuring channels, and does not show a significant, steadily rising trend near this limit.

Si la mesure de la charge apparente dépasse temporairement la limite spécifiée puis revient à une valeur inférieure à ce niveau, l'essai peut continuer, sans être interrompu, jusqu'à ce qu'on ait constaté des mesures acceptables pendant 30 min à partir de cet instant. Il convient de négliger des pointes élevées se produisant occasionnellement.

Pour autant qu'il ne se produise pas de claquage ou qu'il n'apparaisse pas de très grandes décharges pendant une longue durée, l'essai est considéré comme non destructif. Le non-respect du critère d'acceptation relatif aux décharges partielles ne doit donc pas autoriser un refus immédiat mais doit conduire à une concertation entre constructeur et acheteur à propos d'investigations complémentaires. Des suggestions pour de telles investigations sont données à l'annexe A.

En ce qui concerne les difficultés qui peuvent être provoquées par les traversées pendant l'essai, voir également l'article 2.

12 Essai au choc de foudre

12.1 Généralités

Les définitions générales des termes relatifs aux essais au choc, les prescriptions relatives aux circuits d'essai, la détermination des caractéristiques et les contrôles périodiques sur les dispositifs de mesure approuvés peuvent se trouver dans la Publication 60 de la CEI Techniques des essais à haute tension.

Des informations complémentaires seront données dans un « Guide d'essai au choc des transformateurs » (en préparation).

Pour les transformateurs immergés dans l'huile, la tension d'essai est normalement de polarité négative, parce que cela réduit le risque de claquage extérieur aléatoire dans le circuit d'essai.

Les éclatements de traversées peuvent être enlevés ou leur écartement augmenté pour éviter un amorçage pendant l'essai.

Lorsque des éléments non linéaires ou des parafoudres placés à l'intérieur ou à l'extérieur du transformateur sont utilisés pour limiter les surtensions transmises, la procédure d'essai au choc doit être discutée à l'avance pour chaque cas particulier. Si de tels éléments sont en place pendant l'essai, l'interprétation des enregistrements (paragraphe 12.5) peut être difficile.

Le choc appliqué lors de l'essai doit être un choc de foudre plein normalisé :

$$1,2 \pm 30\% / 50 \pm 20\% \mu s$$

Il y a des cas, cependant, où cette forme de choc normalisée ne peut raisonnablement être obtenue, à cause de la faible inductance des enroulements ou d'une forte capacité par rapport à la masse. La forme du choc qui en résulte est alors souvent oscillante. De plus larges tolérances peuvent dans de tels cas être autorisées après accord entre constructeur et acheteur. L'amplitude de la polarité opposée d'un choc oscillant ne doit pas dépasser 50% de la première crête.

Le problème de la forme du choc peut aussi être résolu en utilisant certaines variantes dans les modalités de mise à la terre pendant l'essai (voir paragraphe 12.3).

Le circuit de choc et les connexions de mesure doivent rester inchangés pendant l'étalonnage et les essais à pleine tension.

12.2 Séquence d'essais

La séquence d'essai se compose d'un choc dont la tension est comprise entre 50% et 75% de la pleine tension d'essai, puis de trois chocs à la pleine tension. Si, au cours de l'un de ces chocs, un

If the apparent charge reading rises above the specified limit for a significant time and then returns below this level again, the test may continue without interruption until acceptable readings have been obtained for 30 min. Occasional high kicks should be disregarded.

As long as no breakdown occurs, and unless very high partial discharges are sustained for a long time, the test is regarded as non-destructive. A failure to meet the partial discharge acceptance criterion shall therefore not warrant immediate rejection but lead to consultation between purchaser and manufacturer about further investigations. Suggestions for such procedures are given in Appendix A.

Concerning difficulties with bushings during the test, see also Clause 2.

12 Lightning impulse test

12.1 General

General definitions of terms related to impulse tests, requirements for test circuits, performance tests and routine checks on approved measuring devices may be found in IEC Publication 60, High-voltage Test Techniques.

Further information will be given in a Guide to Impulse Testing of Transformers (in preparation).

For oil-immersed transformers, the test voltage is normally of negative polarity, because this reduces the risk of erratic external flashover in the test circuit.

Bushing spark gaps may be removed or their spacing increased to prevent sparkover during the test.

When non-linear elements or surge diverters—built into the transformer or external—are installed for the limitation of transferred overvoltage transients, the impulse test procedure shall be discussed in advance for each particular case. If such elements are present during the test, the evaluation of test records (Sub-clause 12.5) may be difficult.

The test impulse shall be a full standard lightning impulse:

$$1.2 \pm 30\% / 50 \pm 20\% \mu\text{s}$$

There are cases, however, where this standard impulse shape cannot reasonably be obtained, because of low winding inductance or high capacitance to earth. The resulting impulse shape is then often oscillatory. Wider tolerances may in such cases be permitted by agreement between the parties. The amplitude of opposite polarity of an oscillatory impulse should not exceed 50% of the first amplitude.

The impulse shape problem may also be treated by alternative methods of earthing during the test, see Sub-clause 12.3.

The impulse circuit and measuring connections shall remain unchanged during calibration and full voltage tests.

12.2 Test sequence

The test sequence shall consist of one impulse of a voltage between 50% and 75% of the full test voltage, and three subsequent impulses at full voltage. If, during any of these applications, an

claquage extérieur se produit dans le circuit ou à une traversée, ou si le dispositif d'enregistrement oscillographique est déficient sur l'une des voies de mesure spécifiées, on ne tient pas compte de cet essai et un nouveau choc est appliqué

Des chocs supplémentaires avec des amplitudes non supérieures à 50% peuvent être effectués, mais il n'est pas nécessaire de les faire figurer au compte rendu des essais

12 3 Connexions d'essais

12 3 1 Connexions d'essais pendant les essais sur les bornes de ligne

La séquence d'essais au choc est appliquée successivement à chacune des bornes de ligne de l'enroulement essayé. Dans le cas d'un transformateur triphasé, les autres bornes de ligne de l'enroulement doivent être reliées à la terre directement ou à travers une faible impédance, par exemple un shunt de mesure du courant.

Si l'enroulement a le neutre sorti, le neutre doit être relié à la terre directement ou à travers une faible impédance, par exemple un shunt de mesure du courant. La cuve doit être reliée à la terre.

Dans le cas d'un transformateur à enroulements séparés, les bornes des enroulements non soumis à l'essai sont également reliées à la terre directement ou par des impédances telles que dans tous les cas la tension apparaissant à ces bornes reste inférieure à 75% de leur tension de tenue assignée au choc de foudre.

Lors des essais sur les bornes de ligne de l'enroulement haute tension d'un autotransformateur, il peut arriver qu'on ne puisse raisonnablement obtenir la forme de choc normalisée si les bornes de ligne de l'enroulement commun sont reliées à la terre directement ou à travers un shunt de mesure du courant. Il en est de même pour l'essai sur les bornes de ligne de l'enroulement commun lorsque les bornes de ligne de l'enroulement haute tension sont mises à la terre. Il est alors permis de relier à la terre les bornes de ligne non soumises à l'essai par l'intermédiaire de résistances dont la valeur ne dépasse pas 400 Ω . De plus, les tensions apparaissant sur les bornes de ligne non soumises à l'essai ne doivent pas dépasser 75% de leur tension assignée de tenue au choc de foudre.

Lors de l'essai au choc d'enroulements ayant une impédance faible, il est difficile d'obtenir une forme correcte de choc sur les bornes essayées. Dans ce cas, on peut se mettre d'accord pour appliquer des tolérances plus larges (voir paragraphe 12 1). Il est aussi possible de simplifier le problème en reliant les extrémités non essayées de l'enroulement à la terre à travers des résistances. La valeur de ces résistances ne doit pas dépasser 500 Ω et doit être choisie de telle façon que la tension qui apparaît sur les extrémités ne dépasse pas 75% de leur tension de tenue assignée au choc de foudre. On peut aussi, en variante et après accord conclu au moment de la commande, utiliser la méthode de la surtension transmise (paragraphe 12 3 3).

Des exceptions à cette procédure générale sont indiquées aux paragraphes 12 3 2 et 12 3 3 ci-dessous.

12 3 2 Essais au choc du neutre d'un enroulement

Lorsque le neutre d'un enroulement a une tension assignée de tenue au choc, il peut être contrôlé par un essai au choc appliqué par l'intermédiaire de l'une quelconque des bornes de ligne ou des trois bornes de ligne d'un enroulement triphasé reliées ensemble. Le neutre est relié à la terre à travers une impédance telle que l'amplitude de la tension apparaissant aux bornes de cette impédance, lorsqu'un choc de foudre normal est appliqué à la borne de ligne, soit égale à la tension de tenue assignée du neutre. L'amplitude du choc appliqué à la borne de ligne n'est pas spécifiée, mais elle ne doit pas dépasser 75% de la tension assignée de tenue au choc de foudre de l'extrémité ligne.

external flashover in the circuit or across a bushing spark gap should occur, or if the oscillographic recording should fail on any of the specified measuring channels, that application shall be disregarded and a further application made

Additional impulses at amplitudes not higher than 50% may be used but need not be shown in the report of the test

12.3 Test connections

12.3.1 Test connections during tests on line terminals

The impulse test-sequence is applied to each of the line terminals of the tested winding in succession. In the case of a three-phase transformer, the other line terminals of the winding shall be earthed directly or through a low impedance, such as a current measuring shunt.

If the winding has a neutral terminal, the neutral shall be earthed directly or through a low impedance such as a current measuring shunt. The tank shall be earthed.

In the case of a separate-winding transformer, terminals of windings not under test are likewise earthed directly or through impedances so that under all circumstances the voltage appearing on them is limited to less than 75% of their rated lightning impulse withstand voltage.

In the case of an auto-transformer, when testing the line terminals of the high-voltage winding, it may happen that the standard impulse waveform cannot reasonably be obtained if the line terminals of the common winding are earthed directly or through a current measuring shunt. The same applies to the testing of the line terminals of the common winding if the line terminals of the high-voltage winding are earthed. It is then permissible to earth the non-tested line terminals through resistors not exceeding 400 Ω . Furthermore, the voltages appearing on the non-tested line terminals to earth should not exceed 75% of their rated lightning impulse withstand voltage.

When impulse testing windings with low impedance it is difficult to obtain correct impulse shape on the tested terminals. In this case wider tolerances may be applied by agreement (see Sub-clause 12.1). It is also possible to simplify the problem by earthing the non-tested terminals of the winding through resistors. The resistance value shall not be higher than 500 Ω and shall be chosen so that the voltage appearing on the terminals is limited to not more than 75% of their rated lightning impulse withstand voltage. Alternatively, by agreement at the time of placing the order the transferred surge method may be employed (Sub-clause 12.3.3).

Exceptions from this main procedure are given in the following Sub-clauses 12.3.2 and 12.3.3.

12.3.2 Impulse test on a neutral terminal

When the neutral terminal of a winding has a rated impulse withstand voltage, it may be verified by an impulse test applied through any one of the line terminals or through all three line terminals of a three-phase winding connected together. The neutral terminal is connected to earth through an impedance, and the voltage amplitude developed across this impedance, when a standard lightning impulse is applied to the line terminal, shall be equal to the rated withstand voltage of the neutral terminal. The amplitude of the impulse applied to the line terminal is not prescribed, but shall not exceed 75% of the rated lightning impulse withstand voltage of the line terminal.

En variante, on peut appliquer un essai au choc correspondant à la tension de tenue assignée du neutre directement sur celui-ci, toutes les bornes de ligne étant alors reliées à la terre. Dans ce cas, cependant, une plus longue durée du front, pouvant atteindre $13\mu\text{s}$, est permise.

12.3.3 Méthode de la surtension transmise

Lorsque l'enroulement basse tension ne peut pas être soumis en service à des surtensions dues à la foudre, transmises par le réseau basse tension, il peut être convenu entre constructeur et acheteur de faire son essai au choc avec les surtensions transmises à partir de l'enroulement haute tension.

Cette méthode est justifiée lorsque la construction du transformateur est telle qu'un choc appliqué directement à l'enroulement basse tension pourrait conduire à des contraintes qui ne se rencontrent pas dans la pratique sur les enroulements à plus haute tension, en particulier lorsqu'il y a un enroulement de réglage important physiquement proche de l'enroulement basse tension.

Lors de l'application de la surtension transmise, les essais sur l'enroulement basse tension sont effectués en même temps que les essais au choc de l'enroulement voisin à tension plus élevée. Les bornes de ligne de l'enroulement basse tension sont reliées à la terre à travers des résistances dont la valeur est telle que l'amplitude de la tension de choc transmise entre une borne de ligne et la terre, entre différentes bornes de ligne ou aux bornes d'un enroulement de phase, soit la plus élevée possible sans cependant dépasser la tension assignée de tenue au choc. La résistance ne doit pas dépasser $5\,000\ \Omega$.

Les détails de la procédure d'essai doivent faire l'objet d'un accord avant l'essai.

12.4 Enregistrements à effectuer lors des essais

Les enregistrements oscillographiques effectués pendant les étalonnages et pendant les essais doivent indiquer clairement la forme de la tension de choc appliquée (durée de front, durée jusqu'à la mi-valeur).

L'enregistrement doit comporter au moins une voie de mesure supplémentaire. Dans la plupart des cas, un oscillogramme du courant s'écoulant de l'enroulement vers la terre présentera la meilleure sensibilité pour la détection des défauts. Comme exemples d'autres grandeurs mesurées appropriées, on peut citer le courant à la terre provenant de la cuve ou la tension transmise à un enroulement non essayé.

Des recommandations complémentaires concernant le choix des vitesses de balayages, etc., seront fournies par le Guide d'application pour les essais au choc.

12.5 Critères de l'essai

L'absence de différences notables entre les enregistrements des formes de tensions et courants correspondant à une tension réduite et à la pleine tension d'essai constitue une preuve que l'isolation a résisté à l'essai.

L'interprétation détaillée des enregistrements oscillographiques des essais et la discrimination entre les perturbations marginales et les véritables enregistrements de défauts requiert une grande compétence et une grande expérience. Des renseignements complémentaires seront donnés dans le Guide d'application pour les essais au choc.

S'il y a un doute quant à l'interprétation de divergences éventuelles entre les oscillogrammes, trois chocs à pleine tension doivent à nouveau être appliqués ou tout l'essai au choc doit être répété.

As an alternative, an impulse test corresponding to the rated withstand voltage of the neutral is applied directly to the neutral with all line terminals earthed. In this case, however, a longer duration of the front time is allowed – up to 13 μ s

12.3.3 *The transferred surge method*

When the low-voltage winding cannot be subjected in service to lightning overvoltages from the low-voltage system, this winding may, by agreement between manufacturer and purchaser, be impulse tested with surges transferred from the high-voltage winding

This method is justified when the design is such that an impulse directly applied to the low-voltage winding could result in unrealistic stressing of higher voltage windings, particularly when there is a large tapping winding physically adjacent to the low-voltage winding

In applying the transferred surge method, the tests on the low-voltage winding are carried out simultaneously with the impulse tests on the adjacent higher voltage winding. The line terminals of the low-voltage winding are connected to earth through resistances of such value that the amplitude of transferred impulse voltage between line terminal and earth, or between different line terminals or across a phase winding, will be as high as possible but not exceeding the rated impulse withstand voltage. The resistance shall not exceed 5 000 Ω .

The details of the procedure shall be agreed before the test

12.4 *Records of test*

The oscillographic records obtained during calibrations and tests shall clearly show the applied voltage impulse shape (front time, time-to-half value)

At least one more measurement channel shall be used. In most cases an oscillogram of the current flowing to earth from the tested winding will present the best sensitivity for fault indication. The current flowing from tank to earth, or the transferred voltage in a non-tested winding, are examples of alternative suitable measuring quantities

Further recommendations about suitable time-base durations etc. will be given in the Impulse Testing Guide

12.5 *Test criteria*

The absence of significant differences between voltage and current transients recorded at reduced voltage and those recorded at full test voltage constitutes evidence that the insulation has withstood the test

The detailed interpretation of the oscillographic test records and discrimination of marginal disturbances from true records of failure require a great deal of skill and experience. Further information will be given in the Impulse Testing Guide

If there is doubt about the interpretation of possible discrepancies between oscillograms, three subsequent impulses at full voltage shall be applied, or the whole impulse test on the terminal shall be repeated

D'autres observations réalisées durant l'essai (phénomènes sonores, etc) peuvent être utilisées pour confirmer les enregistrements oscillographiques, mais elles ne constituent pas une preuve par elles-mêmes

13 Essai au choc de foudre coupé sur la queue

13.1 Généralités

Cet essai est un essai spécial appliqué aux bornes de ligne d'un enroulement. Lorsqu'il a été décidé d'effectuer cet essai, celui-ci doit être combiné avec l'essai au choc de foudre plein suivant la procédure décrite plus loin. La valeur de crête du choc coupé doit être la même que pour le choc plein.

On utilise habituellement les mêmes réglages du générateur de choc et des dispositifs de mesure en ajoutant seulement le dispositif éclateur. Le choc de foudre normal doit avoir une durée jusqu'à la coupure entre 2 et 6 μ s.

13.2 Eclateur de coupure et caractéristiques de la coupure

Il est recommandé d'utiliser un éclateur commandé à temps réglable mais il est également permis d'utiliser un simple éclateur tige-tige. Le circuit de coupure doit être disposé de telle façon que l'amplitude de polarité opposée soit inférieure à 30% de l'amplitude du choc coupé.

13.3 Conduite et sanction de l'essai

Comme indiqué plus haut, l'essai est combiné avec l'essai au choc plein en une séquence unique. Il est recommandé de réaliser les différents essais dans l'ordre suivant :

- un choc plein à tension réduite,
- un choc plein à 100%,
- un ou plusieurs chocs coupés à tension réduite,
- deux chocs coupés à 100%,
- deux chocs pleins à 100%.

Les voies de mesure et les oscillogrammes doivent être du même type que ceux qui sont spécifiés pour l'essai au choc plein.

En principe, la détection des défauts au cours d'un essai au choc coupé est essentiellement fondée sur la comparaison des enregistrements oscillographiques correspondant aux chocs coupés à 100% et à niveau réduit. L'enregistrement du courant de neutre (ou tout autre enregistrement supplémentaire) présente une superposition de phénomènes transitoires dus au front du choc de base et à la coupure. On doit alors tenir compte des variations, même faibles, qui peuvent affecter la durée jusqu'à la coupure. La deuxième partie du tracé oscillant est alors modifiée et cet effet est difficile à distinguer de l'enregistrement d'un défaut.

Les enregistrements des chocs pleins à 100% consécutifs apportent une possibilité supplémentaire de détection d'un défaut, mais ils ne constituent pas en eux-mêmes un critère de qualité pour l'essai au choc coupé.

Additional observations during the test (sound effects etc) may be used to confirm the oscillographic records, but they do not constitute evidence in themselves

13 Test with lightning impulse chopped on the tail

13.1 General

The test is a special test on line terminals of a winding. When it has been agreed to make this test, it shall be combined with the full lightning impulse test in the manner described below. The peak value of the chopped impulse shall be the same as for the full impulse.

Usually, the same settings of the impulse generator and measuring equipment are used, and only the chopping gap equipment is added. The standard lightning impulse shall have a time to chopping between 2 and 6 μs .

13.2 Chopping gap and characteristics of the chopping

It is recommended to use a triggered-type chopping gap with adjustable timing, although a plain rod-rod gap is allowed. The chopping circuit shall be so arranged that the amount of overswing to opposite polarity of the recorded impulse will be limited to not more than 30% of the amplitude of the chopped impulse.

13.3 Test sequence and test criteria

As indicated above, the test is combined with the full impulse test in a single sequence. The recommended order of the different impulse applications is:

- one reduced full impulse,
- one 100% full impulse,
- one or more reduced chopped impulse(s),
- two 100% chopped impulses,
- two 100% full impulses.

The same types of measuring channels and oscillograms are specified as for the full impulse test.

In principle, the detection of faults during a chopped impulse test depends essentially on a comparison of the oscillographic records of 100% and reduced chopped impulses. The neutral current record (or any other supplementary recording) presents a superposition of transient phenomena due to the front of the original impulse and from the chopping. Account should therefore be taken of the possible variations, even slight, of the chopping time delay. The later part of the oscillation pattern is then modified, and this effect is difficult to separate from the record of a fault.

The recordings of successive 100% full impulse tests constitute a supplementary criterion of a fault, but they do not constitute in themselves a quality criterion for the chopped impulse test.

14 Essais au choc de manœuvre

14.1 Généralités

Cet essai est un essai individuel pour les enroulements dont U_m est supérieur ou égal à 300 kV, et qui sont spécifiés suivant la méthode 2 du paragraphe 5.4

Les définitions générales des termes relatifs aux essais au choc de manœuvre, les prescriptions relatives aux circuits d'essais, la détermination des caractéristiques et les contrôles périodiques sur les dispositifs de mesure approuvés se trouvent dans la Publication 60 de la CEI Techniques des essais à haute tension

Les chocs sont appliqués soit directement de la source de tension de choc à une borne de ligne de l'enroulement en essai, soit par l'intermédiaire d'un enroulement à plus basse tension, de telle façon que la tension d'essai soit transmise inductivement à l'enroulement en essai. La tension d'essai spécifiée doit apparaître entre ligne et neutre, et le neutre doit être relié à la terre. Dans un transformateur triphasé, la tension produite entre bornes de ligne pendant l'essai doit être approximativement 1,5 fois la tension entre bornes de ligne et de neutre (paragraphe 14.3)

La tension d'essai est normalement de polarité négative parce que cela réduit le risque d'un claquage extérieur aléatoire dans le circuit d'essai

Les tensions induites dans les différents enroulements du transformateur sont à peu près proportionnelles à leurs nombres de spires effectifs et la tension d'essai doit être déterminée par l'enroulement ayant la plus grande valeur de U_m (article 4)

La tension de choc doit avoir un temps de front virtuel d'au moins 20 μs , une durée de la tension au-dessus de 90% de l'amplitude spécifiée d'au moins 200 μs , et une durée totale depuis l'origine virtuelle jusqu'au premier passage par zéro d'au moins 500 μs

Note — La forme du choc diffère volontairement de la forme de choc normalisée 250/2 500 μs recommandée dans la Publication 60-2 de la CEI, Deuxième partie: Modalités d'essai, qui s'adresse principalement à l'isolation dans l'air

Le temps de front doit être choisi par le constructeur de telle façon que la distribution de la tension le long de l'enroulement soit en principe uniforme. Sa valeur est habituellement inférieure à 250 μs . Pendant l'essai, un flux important est engendré dans le circuit magnétique. La tension de choc peut être maintenue jusqu'à ce que le circuit magnétique atteigne la saturation et que l'impédance magnétisante du transformateur soit fortement réduite. La durée maximale possible du choc peut être augmentée en introduisant une polarisation rémanente opposée avant chaque essai de choc à pleine tension. Cela est obtenu grâce à des chocs à tension réduite de forme identique mais de polarité opposée ou par circulation temporaire d'un courant continu

14.2 Séquence d'essais et enregistrements

La séquence d'essais doit être composée d'un choc (d'étalonnage) à une tension comprise entre 50% et 75% de la pleine tension d'essai, puis de trois chocs à la pleine tension. Si le dispositif d'enregistrement oscillographique est déficient, on ne tient pas compte de l'essai correspondant et un nouveau choc est appliqué. Il est nécessaire d'obtenir des enregistrements oscillographiques au moins en ce qui concerne la forme de la tension de choc sur la borne de ligne soumise à l'essai

14.3 Connexions d'essai

Pendant l'essai, le transformateur doit être à vide de façon à présenter une impédance suffisante. Les enroulements non utilisés pour l'essai doivent être convenablement reliés à la terre en un point mais non court-circuités. Dans le cas d'un transformateur monophasé, la borne neutre de l'enroulement essayé doit être à la terre

14 Switching impulse test

14.1 General

The test is a routine test for windings with $U_m \geq 300$ kV specified according to Method 2 of Sub-clause 5.4.

General definitions of terms related to impulse tests, requirements on test circuits, performance tests and routine checks on approved measuring devices, may be found in IEC Publication 60: High-voltage Test Techniques.

The impulses are applied either directly from the impulse voltage source to a line terminal of the winding under test, or to a lower voltage winding so that the test voltage is inductively transferred to the winding under test. The specified test voltage shall appear between line and neutral terminals and the neutral shall be earthed. In a three-phase transformer, the voltage developed between line terminals during the test shall be approximately 1.5 times the voltage between line and neutral terminals (Sub-clause 14.3).

The test voltage is normally of negative polarity because this reduces the risk of erratic external flashover in the test circuit.

The voltages developed across different windings of the transformer are approximately proportional to their effective numbers of turns, and the test voltage will be determined by the winding with the highest U_m value (Clause 4).

The voltage impulse shall have a virtual front time of at least $20 \mu\text{s}$, a time above 90% of the specified amplitude of at least $200 \mu\text{s}$, and a total duration from the virtual origin to the first zero passage of at least $500 \mu\text{s}$.

Note — The impulse form is purposely different from the standard waveshape of $250/2500 \mu\text{s}$ recommended in IEC Publication 60-2, Part 2: Test Procedures, which refers particularly to insulation in air.

The front time shall be selected by the manufacturer so that the voltage distribution along the winding under test will be essentially uniform. Its value is usually less than $250 \mu\text{s}$. During the test considerable flux is developed in the magnetic circuit. The impulse voltage can be sustained up to the instant when the core reaches saturation and the magnetizing impedance of the transformer becomes drastically reduced. The maximum possible impulse duration can be increased by introducing remanence of opposite polarity before each full voltage test impulse. This is accomplished by lower voltage impulses of similar shape but opposite polarity or by temporary connection to a d.c. voltage source.

14.2 Test sequence and records

The test sequence shall consist of one impulse (calibration impulse) of a voltage between 50% and 75% of the full test voltage and three subsequent impulses at full voltage. If the oscillographic recording should fail, that application shall be disregarded and a further application made. Oscillographic records shall be obtained of at least the impulse wave-shape on the line terminal under test.

14.3 Test connections

During the test the transformer must be in a no-load condition in order to present sufficient impedance. Windings not used for the test shall be suitably earthed at one point but not short-circuited. For a single-phase transformer, the neutral terminal of the tested winding shall be earthed.

Un transformateur triphasé doit être essayé phase par phase avec le neutre à la terre et avec un schéma d'essai tel que la tension apparaissant sur les deux bornes de ligne restantes soit de polarité opposée et d'amplitude environ moitié (voir figure 2 du paragraphe 11 4)

Les éclateurs de traversées et autres moyens de limitation des surtensions sont traités comme spécifié pour l'essai au choc de foudre (voir paragraphe 12 1)

14 4 *Sanction de l'essai*

L'essai est satisfaisant s'il ne se produit pas d'effondrement brusque de la tension indiquée sur les oscillogrammes (noter cependant l'influence de la saturation magnétique sur la durée du choc; cet effet peut introduire des différences entre oscillogrammes successifs)

D'autres observations réalisées durant l'essai (phénomènes sonores anormaux, etc) peuvent être utilisées pour confirmer les enregistrements oscillographiques, mais elles ne constituent pas une preuve par elles-mêmes

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60076-3:1983

Without watermark

A three-phase winding shall be tested phase-by-phase with the neutral terminal earthed and with the transformer so connected that a voltage of opposite polarity and about half amplitude appears on the two remaining line terminals (see Figure 2 of Sub-clause 11 4)

Bushing spark gaps and additional means for limitation of overvoltages are treated as specified for the lightning impulse test (see Sub-clause 12 1)

14 4 *Test criteria*

The test is successful if there is no sudden collapse of voltage indicated on the oscillograms (Note, however, the influence of magnetic saturation on impulse duration—successive oscillograms may be different because of this effect)

Additional observations during the test (abnormal sound effects etc) may be used to confirm the oscillographic records, but they do not constitute evidence in themselves

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60076-3:1980

Withdawn

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

A1 Introduction

Une décharge partielle (DP) est une décharge électrique qui ne court-circuite que partiellement l'isolation entre conducteurs

Dans un transformateur, une telle décharge partielle provoque une variation brusque de la tension par rapport à la terre à chaque extrémité d'enroulement accessible de l'extérieur

Les impédances de mesure sont connectées effectivement entre la cuve mise à la terre et les bornes, ordinairement à travers la capacité d'une prise de traversée ou à travers un condensateur de liaison distinct, comme cela est précisé à l'article A2

La charge réellement mise en jeu à l'endroit de la décharge partielle ne peut être mesurée directement La mesure choisie pour l'intensité d'une décharge partielle est la charge apparente q définie dans la Publication 270 de la CEI

La charge apparente q ramenée à une borne de mesure donnée est déterminée par un étalonnage approprié (voir article A2)

Une décharge partielle donnée est caractérisée par différentes valeurs de la charge apparente à différentes bornes du transformateur La comparaison des indications recueillies simultanément à différentes bornes peut donner des informations sur la localisation de la source de décharge partielle à l'intérieur du transformateur (voir article A5)

La procédure de réception spécifiée au paragraphe 11 4 impose la mesure de la charge apparente aux bornes de ligne de l'enroulement

On considère que cette procédure autorise une assez bonne sensibilité pour la détection de sources de décharges quelconques, indépendamment de leur position, à condition que les recommandations ci-dessous soient suivies Les valeurs limites de la charge apparente spécifiées, à titre d'essai, sont fondées sur l'expérience pratique des mesures de décharges partielles effectuées sur des transformateurs qui ont en outre subi avec succès les essais diélectriques traditionnels à fréquence industrielle

A2 Circuits de mesure et d'étalonnage — Méthode d'étalonnage

Le matériel de mesure est relié aux bornes par des câbles coaxiaux adaptés L'impédance de mesure est, dans sa forme la plus simple, l'impédance d'adaptation du câble, qui peut lui-même constituer l'impédance d'entrée du mesureur

Pour améliorer le rapport signal sur bruit de l'ensemble de mesure, il peut être utile d'utiliser des circuits accordés, des transformateurs d'impulsion et des amplificateurs entre les bornes de l'objet essayé et le câble Le circuit doit présenter une résistance raisonnablement constante, vue des bornes de l'objet essayé, sur toute la gamme de fréquences utilisée pour les mesures de décharges partielles

Pour la mesure des décharges partielles entre une borne de ligne d'un enroulement et la cuve mise à la terre, la disposition préférée consiste à connecter l'impédance de mesure directement entre la prise de mesure de la traversée-condensateur et la collerette reliée à la terre (figure 4, page 56) S'il n'y a pas de

APPENDIX A

APPLICATION GUIDE FOR PARTIAL DISCHARGE MEASUREMENTS DURING INDUCED OVERVOLTAGE WITHSTAND TEST ON TRANSFORMERS ACCORDING TO SUB-CLAUSE 11.4

A1 Introduction

A partial discharge (PD) is an electric discharge that only partially bridges the insulation between conductors.

In a transformer, such a partial discharge causes a transient change of the voltage to earth at every externally available winding terminal.

Measuring impedances are connected effectively between the earthed tank and the terminals, usually through a bushing tap or through a separate coupling capacitor, as detailed in Clause A2.

The actual charge transferred at the site of a partial discharge cannot be measured directly. The preferred measure of the intensity of a partial discharge is the *apparent charge* q as defined in IEC Publication 270.

The apparent charge q related to any measuring terminal is determined by a suitable calibration (see Clause A2).

A particular partial discharge gives rise to different values of apparent charge at different terminals of the transformer. The comparison of simultaneously collected indications at different terminals may give information about the location of the partial discharge source within the transformer (see Clause A5).

The acceptance test procedure specified in Sub-clause 11.4 calls for measurement of apparent charge at the winding line terminals.

This is considered to give sufficiently good sensitivity to arbitrary discharge sources irrespective of location, provided that the recommendations below are observed. The specified, *tentative* acceptance values of apparent charge are based on practical experience from partial discharge measurements on transformers which have in addition passed traditional power frequency dielectric tests.

A2 Connection of measuring and calibration circuits — Calibration procedure

The measuring equipment is connected to the terminals by matched coaxial cables. The measuring impedance is, in its simplest form, the matching impedance of the cable, which may in turn be the input impedance of the measuring instrument.

In order to improve the signal-to-noise ratio of the complete measuring system, it may be convenient to make use of tuned circuits, pulse transformers, and amplifiers between the test object terminals and the cable. The circuit shall represent a reasonably constant resistance, when viewed from the test object terminals, throughout the frequency range used for the partial discharge measurements.

During the measurement of partial discharge between a line terminal of a winding and the earthed tank, the preferred arrangement is to install the measuring impedance effectively between the condenser bushing capacitance tap and the earthed flange (Figure 4, page 57). If a capacitance tap is not provided,

prise de mesure, il est possible d'isoler de la cuve la collerette de la traversée et de l'utiliser comme borne de mesure. Les capacités équivalentes situées entre le conducteur central, la borne de mesure et la terre agissent comme un atténuateur sur le signal dû aux décharges partielles. Cela est cependant pris en compte par l'étalonnage obtenu par injection entre la tête de la traversée et la terre

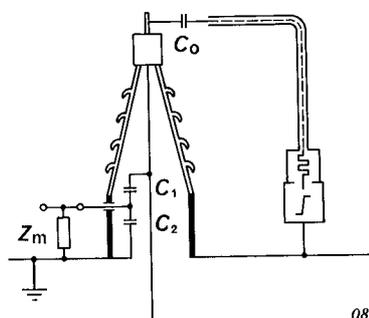


FIG 4 — Circuit pour mesure de décharges partielles quand une prise de mesure de traversée-condensateur est disponible

Si des mesures doivent être effectuées à une borne sous tension sans que l'on dispose d'une prise de mesure sur la traversée-condensateur (ou d'une collerette isolée), on doit utiliser un condensateur de liaison à haute tension. Ce condensateur doit être exempt de décharges partielles et la valeur de sa capacité doit être grande comparée à la capacité d'injection C_0 du générateur d'étalonnage. L'impédance de mesure (avec un éclateur de protection) est connectée entre la borne basse tension du condensateur et la terre, voir figure 5.

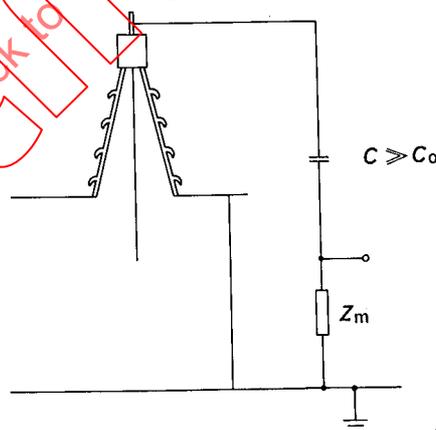


FIG 5 — Circuit pour mesure de décharges partielles utilisant un condensateur de liaison à haute tension

L'étalonnage du dispositif de mesure complet est effectué par injection de charges connues entre les bornes d'étalonnage. Suivant la Publication 270 de la CEI, un générateur d'étalonnage est constitué d'un générateur d'échelon de tension à faible temps de montée et d'un petit condensateur série de capacité connue C_0 . Le temps de montée ne devrait pas dépasser $0,1 \mu s$ et C_0 devrait être de l'ordre de

it is also possible to insulate the bushing flange from the tank and use it as the measuring terminal. The equivalent capacitances between the central conductor, the measuring terminal, and earth, act as an attenuator for the partial discharge signal. This is, however, covered by the calibration which takes place between the top terminal of the bushing and earth.

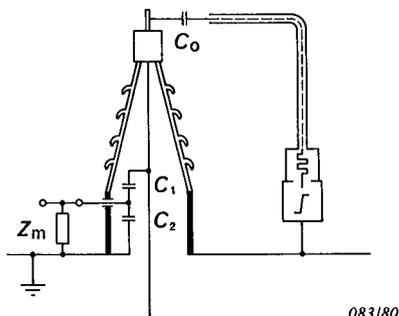


FIG 4 — Circuit for partial discharge measurement when condenser bushing capacitance tap is available

If measurements have to be taken at a live terminal without any available condenser bushing tap (or insulated flange), the method with a high-voltage coupling capacitor is used. A partial discharge free capacitor shall be used, and its capacitance value should be suitably large in comparison with the calibration generator capacitance C_0 . The measuring impedance (with a protective gap) is connected between the low-tension terminal of the capacitor and earth, see Figure 5.

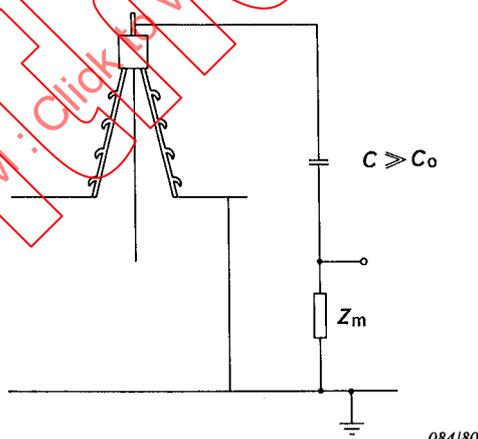


FIG 5 — Circuit for partial discharge measurement using a high-voltage coupling capacitor

The calibration of the complete measuring system is made by injecting known charges between the calibration terminals. According to IEC Publication 270, a calibration generator consists of a step voltage pulse generator with short rise time and a small series capacitor of known capacitance C_0 . The rise time should be not more than $0.1 \mu\text{s}$ and C_0 should be around 50 pF . When this generator is

50 pF Lorsque ce générateur est branché entre deux bornes d'étalonnage présentant une capacité très supérieure à C_0 , la charge injectée par le générateur est

$$q_0 = U_0 C_0$$

où U_0 est la valeur de l'échelon de tension (habituellement comprise entre 2 et 50 V)

Pour le générateur d'étalonnage, il convient d'utiliser pour l'essai une fréquence de répétition d'environ une impulsion par demi-période de la tension à fréquence industrielle

Si les bornes d'étalonnage sont très distantes l'une de l'autre, il y a un risque d'erreur par suite de la présence de capacités parasites au niveau des connexions La figure 4, page 56, indique une méthode applicable pour l'étalonnage entre la terre et une autre borne Un condensateur C_0 est connecté à la borne haute tension et est relié au générateur d'échelons de tension par un câble coaxial muni d'une résistance d'adaptation

Si aucune des bornes d'étalonnage n'est mise à la terre, la capacité du générateur d'impulsions lui-même sera également une source d'erreur Le générateur devra de préférence avoir une alimentation autonome et être de petites dimensions

A3 Appareils de mesure, gamme de fréquences

Les caractéristiques des appareils de mesure doivent être conformes à la Publication 270 de la CEI

L'observation oscillographique pendant l'essai est généralement utile, en particulier parce qu'elle apporte la possibilité de faire la distinction entre les décharges partielles réelles dans le transformateur et certaines formes de perturbations extérieures Ceci dépend de la fréquence de répétition, de la position sur l'onde de tension, des différences de polarité, etc

Les mesures doivent être effectuées de façon continue ou à des instants rapprochés pendant toute la durée de l'essai Un enregistrement continu par oscillographe ou enregistreur magnétique n'est pas obligatoire

Les systèmes de mesure des décharges partielles sont classés en systèmes à bande étroite ou à bande large Un système à bande étroite possède une bande passante d'environ 10 kHz ou moins, avec une fréquence centrale ajustable (par exemple les mesureurs de perturbations radiophoniques) Un système à bande large utilise un assez grand rapport entre les limites supérieure et inférieure de la bande de fréquences, par exemple 150 à 50 kHz ou même 400 à 50 kHz

Avec un système à bande étroite, il est possible d'éviter, par réglage de la fréquence d'accord, les signaux parasites provenant d'un émetteur radio, mais on doit s'assurer que les résonances d'enroulement dans le transformateur pour des fréquences voisines de la fréquence de mesure ne modifient pas trop sensiblement la mesure La fréquence utilisée pour une mesure en bande étroite ne doit pas dépasser 500 kHz et doit être de préférence inférieure à 300 kHz Il y a deux raisons pour cela La première est que la transmission des impulsions dues aux décharges se fait avec une atténuation importante des fréquences les plus élevées; la deuxième est que lorsqu'on applique une impulsion d'étalonnage à une borne de ligne, cette impulsion peut provoquer des oscillations à cette borne et au voisinage, ce qui complique l'étalonnage pour une fréquence d'accord supérieure à 500 kHz

Un système de mesure à large bande est moins critique en ce qui concerne l'atténuation et la réponse aux différentes formes d'impulsions mais il est plus sensible aux perturbations dans des aires d'essai dépourvues d'écran électromagnétique Des filtres coupe-bande peuvent être utilisés contre les émetteurs radio Il arrive que l'on puisse identifier les sources de décharges partielles par comparaison de la forme et de la polarité des impulsions