

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

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

NORME DE LA CEI

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

(affiliated to the International Organization for Standardization — ISO)

IEC STANDARD

Publication 76-1

Première édition — First edition

1976

Transformateurs de puissance

Première partie: Généralités

Power transformers

Part 1: General



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 utilisée dans la présente publication

Seuls sont définis ici les termes spéciaux se rapportant à la présente publication

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

Symboles graphiques et littéraux

Seuls les symboles graphiques et littéraux spéciaux sont inclus dans la présente publication

Le recueil complet des symboles graphiques approuvés par la CEI fait l'objet de la Publication 117 de la CEI

Les symboles littéraux et autres signes approuvés par la CEI font l'objet de la Publication 27 de la CEI

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

L'attention du lecteur est attirée sur la page 3 de la couverture, qui énumère les autres publications de la CEI préparées par le Comité d'Etudes qui a établi la présente publication

Revision of this publication

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

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

- **IEC Bulletin**
- **Report on IEC Activities**
Published yearly
- **Catalogue of IEC Publications**
Published yearly

Terminology used in this publication

Only special terms required for the purpose of this publication are defined herein

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

Graphical and letter symbols

Only special graphical and letter symbols are included in this publication

The complete series of graphical symbols approved by the IEC is given in IEC Publication 117

Letter symbols and other signs approved by the IEC are contained in IEC Publication 27

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

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

NORME DE LA CEI

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

(affiliated to the International Organization for Standardization — ISO)

IEC STANDARD

Publication 76-1

Première édition — First edition

1976

Transformateurs de puissance

Première partie: Généralités

Power transformers

Part 1: General



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 Domaine d'application	6
2 Conditions de service	6
3 Définitions	8
4 Régime nominal	22
5 Plaques signalétiques	26
6 Prescriptions diverses	28
7 Tolérances	28
8 Essais	30
8 1 Conditions générales pour les essais de type, essais individuels et essais spéciaux	30
8 2 Mesure de la résistance des enroulements	32
8 3 Mesure du rapport de transformation et contrôle du couplage	34
8 4 Mesure de la tension de court-circuit (prise principale), de l'impédance de court-circuit et des pertes dues à la charge	34
8 5 Mesure des pertes et du courant à vide	36
8 6 Mesure des harmoniques du courant à vide	36
8 7 Mesures d'impédance(s) homopolaire(s) sur des transformateurs triphasés	36
8 8 Essais sur les changeurs de prises en charge	38
ANNEXE A — Renseignements à fournir à l'appel d'offres et à la commande	40

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
PREFACE	5
Clause	
1 Scope	7
2 Service conditions	7
3 Definitions	9
4 Rating	23
5 Rating plates	27
6 Miscellaneous requirements	29
7 Tolerances	29
8 Tests	31
8 1 General requirements for type, routine and special tests	31
8 2 Measurement of winding resistance	33
8 3 Measurement of voltage ratio and check of voltage vector relationship	35
8 4 Measurement of impedance voltage (principal tapping), short-circuit impedance and load loss	35
8 5 Measurement of no-load loss and current	37
8 6 Measurement of the harmonics of the no-load current	37
8 7 Measurement of zero-sequence impedance(s) on three-phase transformers	37
8 8 Tests on on-load tap-changers	39
APPENDIX A — Information required with enquiry and order	41

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

TRANSFORMATEURS DE PUISSANCE

Première partie : Généralités

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 publication a été établie par le Comité d'Etudes N° 14 de la CEI: Transformateurs de puissance

Elle constitue la première partie d'une série de cinq qui, lorsqu'elle sera complète, remplacera la deuxième édition de la Publication 76 (1967)

Un premier projet fut discuté lors de la réunion tenue à Bruxelles en 1971 et un deuxième projet fut discuté lors de la réunion tenue à Athènes en 1972, d'où résulta un projet, document 14(Bureau Central)29, qui fut soumis à l'approbation des Comités nationaux suivant la Règle des Six Mois en avril 1974

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

Afrique du Sud (République d')	France	Roumanie
Allemagne	Hongrie	Royaume-Uni
Argentine	Israël	Suède
Australie	Italie	Suisse
Autriche	Japon	Tchécoslovaquie
Belgique	Norvège	Turquie
Danemark	Pays-Bas	Union des Républiques
Espagne	Pologne	Socialistes Soviétiques
Etats-Unis d'Amérique	Portugal	Yougoslavie
Finlande		

La Publication 76 a été divisée en cinq parties, indiquées ci-après, qui seront 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

En attendant la publication de la troisième partie, les prescriptions relatives aux niveaux d'isolement et essais diélectriques de la Publication 76 (1967) continuent à s'appliquer

Autres publications de la CEI citées dans la présente publication:

- Publications nos*
- 71: Coordination de l'isolement
 - 84: Recommandations pour les convertisseurs à vapeur de mercure.
 - 85: Recommandations relatives à la classification des matières destinées à l'isolement des machines et appareils électriques en fonction de leur stabilité thermique en service
 - 119: Recommandations pour les cellules, éléments redresseurs et groupes redresseurs à semi conducteurs polycristallins
 - 146: Convertisseurs à semiconducteurs
 - 185: Transformateurs de courant
 - 186: Transformateurs de tension.
 - 354: Guide de charge pour transformateurs immergés dans l'huile
 - 542*: Guide d'application pour changeurs de prises en charge
 - 551*: Mesures des niveaux de bruit des transformateurs et des bobines d'inductance

* En cours d'impression

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

POWER TRANSFORMERS

Part 1: General

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 publication has been prepared by IEC Technical Committee No 14, Power Transformers

It is the second of a series of five parts which, when completed, will supersede the second edition of Publication 76 (1967)

A first draft was discussed at the meeting held in Brussels in 1971, and a second draft was discussed at the meeting held in Athens in 1972, as a result of which a draft, Document 14(Central Office)29, was submitted to the National Committees for approval under the Six Months' Rule in April 1974

The following countries voted explicitly in favour of publication:

Argentina	Israel	Spain
Australia	Italy	Sweden
Austria	Japan	Switzerland
Belgium	Netherlands	Turkey
Czechoslovakia	Norway	Union of Soviet Socialist Republics
Denmark	Poland	United Kingdom
Finland	Portugal	United States of America
France	Romania	Yugoslavia
Germany	South Africa (Republic of)	
Hungary		

Publication 76 has been divided into the following five parts, which are to be 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

Until Part 3 is published, the insulation levels and dielectric test requirements of Publication 76 (1967) continue to apply.

Other IEC publications quoted in this publication:

- Publications Nos
- 71: Insulation Co-ordination
 - 84: Recommendations for Mercury-arc Converters
 - 85: Recommendations for the Classification of Materials for the Insulation of Electrical Machinery and Apparatus in Relation to their Thermal Stability in Service
 - 119: Recommendations for Polycrystalline Semiconductor Rectifier Stacks and Equipments
 - 146: Semiconductor Converters
 - 185: Current Transformers
 - 186: Voltage Transformers
 - 354: Loading Guide for Oil-immersed Transformers
 - 542*: Application Guide for On-load Tap-changers
 - 551*: Measurement of Transformer and Reactor Sound Levels

* Being printed

TRANSFORMATEURS DE PUISSANCE

Première partie : Généralités

1 Domaine d'application

La présente norme s'applique aux transformateurs de puissance (y compris les autotransformateurs), à l'exception de certains petits transformateurs et transformateurs spéciaux dont la liste suit

- Transformateurs de puissance nominale inférieure à 1 kVA en monophasé ou à 5 kVA en polyphasé
- Transformateurs de mesure (faisant l'objet des Publications 185¹ et 186² de la CEI).
- Transformateurs pour convertisseurs statiques (faisant l'objet des Publications 84³, 119⁴ et 146⁵ de la CEI)
- Transformateurs de démarrage
- Transformateurs d'essais
- Transformateurs de traction montés sur matériel roulant
- Transformateurs de soudure

Lorsqu'il n'existe pas de norme de la CEI pour les transformateurs mentionnés ci-dessus ou pour d'autres transformateurs spéciaux, la présente norme peut être appliquée en tout ou en partie

2 Conditions de service

2.1 Conditions normales de service

La présente norme contient les prescriptions détaillées pour les transformateurs destinés à être utilisés dans les conditions suivantes

a) Altitude

Altitude ne dépassant pas 1 000 m

Note — Pour des altitudes plus élevées, voir le paragraphe 2.2

b) Température du fluide de refroidissement

Dans le cas des appareils refroidis à l'eau, la température de l'eau à l'entrée ne dépasse pas 25 °C

Dans le cas des appareils refroidis à l'air, la température de l'air ne dépasse en aucun cas 40 °C et n'est jamais inférieure à -25 °C dans le cas des transformateurs pour l'extérieur, ou inférieure à -5 °C dans le cas des transformateurs pour l'intérieur

En outre, pour les appareils refroidis à l'air, la température de l'air ne dépasse en aucun cas les valeurs suivantes

30 °C pour la température moyenne journalière,

20 °C pour la température moyenne annuelle

Note — Pour des températures plus élevées, voir le paragraphe 2.2

c) Forme d'onde de la tension d'alimentation

La tension d'alimentation a une forme d'onde pratiquement sinusoïdale

¹ Transformateurs de courant

² Transformateurs de tension

³ Recommandations pour les convertisseurs à vapeur de mercure

⁴ Recommandations pour les cellules, éléments redresseurs et groupes redresseurs à semiconducteurs polycristallins

⁵ Convertisseurs à semiconducteurs

POWER TRANSFORMERS

Part 1: General

1 Scope

This standard applies to power transformers (including auto-transformers) with the exception of certain small and special transformers as follows

- Single-phase transformers rated at less than 1 kVA and polyphase transformers rated at less than 5 kVA
- Instrument transformers (covered by IEC Publications 185¹ and 186²)
- Transformers for static converters (covered by IEC Publications 84,³ 119⁴ and 146⁵)
- Starting transformers
- Testing transformers
- Traction transformers mounted on rolling stock
- Welding transformers

Where IEC standards do not exist for the transformers mentioned above or for other special transformers, this standard may be applicable either as a whole or in part

2 Service conditions

2.1 Normal service conditions

This standard gives detailed requirements for transformers for use under the following conditions:

a) Altitude

A height above sea-level not exceeding 1 000 m (3 300 ft)

Note — For greater altitudes, see Sub-clause 2.2

b) Temperature of cooling medium

For water-cooled apparatus, cooling water at a temperature not exceeding 25 °C at the inlet

For air-cooled apparatus, air at a temperature never exceeding 40 °C, and

never below –25 °C in the case of outdoor transformers, or

never below –5 °C in the case of indoor transformers

In addition, for air-cooled apparatus, an air temperature never exceeding the following values:

30 °C average in any one day;

20 °C average in any one year

Note — For higher temperatures, see Sub-clause 2.2

c) Wave shape of supply voltage

A supply voltage of which the wave shape is approximately sinusoidal

¹ Current Transformers

² Voltage Transformers

³ Recommendations for Mercury-arc Converters

⁴ Recommendations for Polycrystalline Semiconductor Rectifier Stacks and Equipments

⁵ Semiconductor Converters

d) Symétrie des tensions d'alimentation polyphasées

Dans le cas des transformateurs polyphasés, les tensions d'alimentation sont pratiquement symétriques

2.2 Dispositions pour conditions de service exceptionnelles

L'acheteur doit préciser dans son appel d'offres toutes les conditions non prévues dans les conditions normales de service du paragraphe 2.1

Des prescriptions complémentaires, à l'intérieur de certaines limites, sont données pour le régime nominal et les conditions d'essai lorsque les transformateurs sont prévus pour des conditions de service autres que des conditions normales de service indiquées au paragraphe 2.1

- pour les transformateurs du type sec et immergés dans l'huile, refroidis à l'air, devant fonctionner en dehors des limites normales de température, dans le paragraphe 2.2 de la Publication 76-2 de la CEI;
 - pour tous les types de transformateurs devant fonctionner à une altitude au-dessus du niveau de la mer supérieure à 1 000 m, dans le paragraphe 2.3 de la Publication 76-2 de la CEI, et dans la Publication 76-3 * de la CEI
- Troisième partie Niveaux d'isolement et essais diélectriques

Des conditions de température en dehors des limites du domaine des prescriptions complémentaires, ainsi que des conditions de fonctionnement exceptionnelles, par exemple en cas de refroidissement par une circulation d'air restreinte, doivent faire l'objet d'un accord entre le constructeur et l'acheteur

3 Définitions

Les définitions ci-après sont applicables à la présente norme. Les autres termes utilisés ont la signification qui leur est attribuée par le Vocabulaire Electrotechnique International (V E I)

3.1 Généralités

3.1.1 Transformateur **

Appareil statique à induction électromagnétique destiné à transformer un système de courants alternatifs en un ou plusieurs systèmes de courants alternatifs de même fréquence et de courant et de tension généralement différents

3.1.2 Autotransformateur

Transformateur dans lequel au moins deux enroulements ont une partie commune

3.1.3 Transformateur sur-volteur-dévolteur

Transformateur dont l'un des enroulements est destiné à être inséré en série dans un circuit dans le but d'en modifier la tension. L'autre enroulement est un enroulement d'excitation

3.1.4 Transformateur immergé dans l'huile

Transformateur dont le circuit magnétique et les enroulements sont immergés dans l'huile

Note — Au regard de la présente norme, les liquides isolants synthétiques, par exemple les askarels, sont assimilés à l'huile

3.1.5 Transformateur sec

Transformateur dont le circuit magnétique et les enroulements ne sont pas immergés dans un diélectrique liquide

* En attendant la publication de la troisième partie, voir l'article 22 de la Publication 76 (1967)

** Les transformateurs autres que les autotransformateurs et les transformateurs sur-volteurs dévolteurs peuvent être appelés transformateurs à enroulements séparés

d) Symmetry of polyphase supply voltages

For polyphase transformers, supply voltages which are approximately symmetrical

2.2 Provision for unusual service conditions

The purchaser shall specify in his enquiry any conditions not covered by the normal service conditions in Sub-clause 2.1

Supplementary requirements, within defined limits, for the rating and testing of transformers designed for other than the normal service conditions listed in Sub-clause 2.1, are given

- for air-cooled transformers of the dry and oil-immersed types for operation outside the normal temperature limits of cooling air, in Sub-clause 2.2 of IEC Publication 76-2,
- for all types of transformers for operation at altitudes in excess of 1 000 m (3 300 ft) above sea-level, in Sub-clause 2.3 of IEC Publication 76-2, and IEC Publication 76-3 *, Part 3 Insulation Levels and Dielectric Tests

Temperature conditions outside the limits covered by the supplementary requirements and special operating conditions, e.g. restricted cooling air circulation, are subject to agreement between the manufacturer and the purchaser

3 Definitions

For the purposes of this standard, the following definitions apply. Other terms used have the meanings ascribed to them in the International Electrotechnical Vocabulary (IEV).

3.1 General

3.1.1 Transformer **

A static piece of apparatus which, by electro-magnetic induction, transforms alternating voltage and current between two or more windings at the same frequency and usually at different values of voltage and current

3.1.2 Auto-transformer

A transformer in which at least two windings have a common part

3.1.3 Booster transformer

A transformer of which one winding is intended to be connected in series with a circuit in order to alter its voltage. The other winding is an energizing winding

3.1.4 Oil-immersed type transformer

A transformer of which the core and windings are immersed in an oil

Note — For the purposes of this standard, a synthetic insulating liquid, e.g. askarel, is regarded as an oil

3.1.5 Dry-type transformer

A transformer of which the core and windings are not immersed in an insulating liquid

* Pending publication of Part 3, see Clause 22 of Publication 76 (1967)

** Transformers other than auto-transformers or booster transformers can be designated separate winding transformers. In the case of a two-winding transformer, the term double-wound transformer may be used

3 1 6 Transformateur hermétique

Transformateur qui ne respire pas, c'est-à-dire qui est scellé de sorte qu'il ne peut se produire d'échange notable entre ses composants internes et l'atmosphère externe

Note — Les transformateurs hermétiques entrent dans deux catégories:

- a) Les transformateurs dans lesquels le volume total d'huile, de gaz, d'air ou de toute combinaison reste constant dans toute la plage de température
- b) Les transformateurs dans lesquels le volume total d'huile, de gaz, d'air ou de toute combinaison varie dans toute la plage de température, cette variation étant absorbée par un réservoir flexible hermétique ou une membrane souple

3 2 Bornes et point neutre

3 2 1 Borne

Pièce conductrice destinée à relier un enroulement à des conducteurs extérieurs

3 2 2 Borne de ligne

Borne destinée à être reliée à un conducteur de ligne d'un réseau

3 2 3 Borne neutre

a) Pour les transformateurs polyphasés et les groupes polyphasés constitués de transformateurs monophasés

Borne(s) reliée(s) à un point neutre d'un enroulement monté en étoile ou en zigzag

b) Pour les transformateurs monophasés

Borne destinée à être reliée à un point neutre d'un réseau

3 2 4 Point neutre

Point d'un système symétrique de tensions qui est normalement au potentiel zéro

Note — Pour un système polyphasé connecté en étoile ou en zigzag, c'est le point commun

3 2 5 Bornes homologues

Bornes des différents enroulements d'un transformateur, marquées avec les mêmes lettres ou avec des symboles correspondants

3 3 Enroulements

3 3 1 Enroulement

Ensemble des spires formant un circuit électrique associé à l'une des tensions pour lesquelles le transformateur a été établi

Note — Pour un transformateur polyphasé, « l'enroulement » est l'ensemble des enroulements de phase (voir le paragraphe 3 3 2)

3 3 2 Enroulement de phase

Ensemble des spires formant une phase d'un enroulement polyphasé

Note — Le terme « enroulement de phase » ne doit pas être utilisé pour désigner l'ensemble des bobines d'une colonne déterminée

3 3 3 Enroulement haute tension *

Enroulement dont la tension nominale est la plus élevée

3 3 4 Enroulement basse tension *

Enroulement dont la tension nominale est la plus basse

Note — Pour un transformateur survolteur-dévolteur, l'enroulement dont la tension nominale est la plus basse peut être celui dont le niveau d'isolement est le plus élevé

3 3 5 Enroulement à tension intermédiaire *

Dans les transformateurs à plus de deux enroulements, enroulement dont la tension nominale est intermédiaire entre la plus haute et la plus basse des tensions nominales

* L'enroulement qui, en service, reçoit la puissance active du réseau d'alimentation peut être désigné comme « l'enroulement primaire »; celui qui fournit la puissance active au circuit d'utilisation, comme « l'enroulement secondaire »

3 1 6 *Sealed transformer*

A transformer which is non-breathing, that is, so sealed that there can be no significant interchange between its contents and the the external atmosphere

Note — Sealed transformers fall into two categories:

- a) Transformers in which the total volume of oil, gas, air, or any combination, remains constant over the temperature range
- b) Transformers in which the total volume of oil, gas, air, or any combination, varies over the temperature range and this variation is accommodated by a sealed flexible container or a flexible membrane

3 2 *Terminals and neutral point*

3 2 1 *Terminal*

A conducting element intended for connecting a winding to external conductors

3 2 2 *Line terminal*

A terminal intended for connection to a line conductor of a system

3 2 3 *Neutral terminal*

a) *For polyphase transformers and polyphase banks of single-phase transformers*

The terminal(s) connected to the neutral point of a star-connected or zigzag-connected winding

b) *For single-phase transformers*

The terminal intended for connection to a neutral point of a system

3 2 4 *Neutral point*

The point of a symmetrical system of voltages which is normally at zero potential

Note — For a star-connected or zigzag-connected polyphase system, it is the common point

3 2 5 *Corresponding terminals*

Terminals of different windings of a transformer, marked with the same letter or corresponding symbol

3 3 *Windings*

3 3 1 *Winding*

The assembly of turns forming an electrical circuit associated with one of the voltages assigned to the transformer

Note — For a polyphase transformer, the “winding” is the combination of the phase windings (see Sub clause 3 3 2)

3 3 2 *Phase winding*

The assembly of turns forming one phase of a polyphase winding

Note — The term “phase winding” should not be used for identifying the assembly of coils on a certain leg

3 3 3 *High-voltage winding* *

The winding having the highest rated voltage

3 3 4 *Low-voltage winding* *

The winding having the lowest rated voltage

Note — For a booster transformer, the winding having the lower rated voltage may be that having the higher insulation level

3 3 5 *Intermediate-voltage winding* *

A winding of a multi-winding transformer having rated voltage intermediate between the highest and lowest winding rated voltages

* The winding which receives the active power from the supply system in service conditions can be designated as the “primary”; that which delivers the active power to the load circuit as the “secondary”

3 3 6 Enroulement auxiliaire

Enroulement prévu pour une charge faible comparée à la puissance nominale du transformateur

3 3 7 Enroulement de stabilisation

Enroulement supplémentaire en triangle, spécialement utilisé sur des transformateurs à couplage étoile-étoile ou étoile-zigzag dans le but de réduire l'impédance homopolaire de l'enroulement connecté en étoile (voir le paragraphe 3 7 6)

Notes 1 — Il peut être nécessaire de diminuer cette impédance, par exemple pour réduire l'importance de l'harmonique 3 ou pour équilibrer les tensions entre phases et neutre

2 — Un enroulement est considéré comme enroulement de stabilisation si ses bornes ne sont pas sorties pour être reliées à un circuit extérieur. Cependant, un ou deux points de l'enroulement destinés à constituer le même sommet du triangle peuvent être sortis, par exemple pour être mis à la terre. Sur un transformateur triphasé, si d'autres points de l'enroulement sont sortis, l'enroulement doit être considéré comme un enroulement normal répondant à l'une des définitions des paragraphes 3 3 3, 3 3 4 ou 3 3 5 ou comme un enroulement auxiliaire comme défini au paragraphe 3 3 6 suivant le cas

3 3 8 Enroulement commun

Partie commune des enroulements d'un autotransformateur

3 3 9 Enroulement série

Partie de l'enroulement d'un autotransformateur ou enroulement d'un transformateur survolteur-dévolteur qui est destinée à être connectée en série avec un circuit

3 3 10 Enroulement d'excitation

Enroulement d'un transformateur survolteur-dévolteur qui est destiné à fournir la puissance à l'enroulement série

3 4 Régime nominal

3 4 1 Régime nominal

Ensemble des valeurs numériques attribuées aux grandeurs qui définissent le fonctionnement du transformateur dans les conditions spécifiées dans cette norme et qui servent de base aux garanties du constructeur et aux essais

3 4 2 Grandeurs nominales

Grandeurs (tension, courant, etc.) dont les valeurs numériques définissent le régime nominal

Notes 1 — Sauf spécification contraire, les grandeurs nominales sont relatives aux prises principales (voir le paragraphe 3 5 1 1). Pour les grandeurs relatives aux autres prises, voir le paragraphe 3 5 et la Publication 76-4 de la CEI

2 — Les tensions et courants sont toujours exprimés par leurs valeurs efficaces, sauf spécification contraire

3 4 3 Tension nominale d'un enroulement

Tension spécifiée pour être appliquée ou développée en fonctionnement à vide entre les bornes de ligne d'un enroulement d'un transformateur polyphasé, ou entre les bornes d'un enroulement d'un transformateur monophasé

Notes 1 — Les tensions nominales de tous les enroulements apparaissent simultanément en fonctionnement à vide lorsque la tension appliquée à l'un d'entre eux a sa valeur nominale

2 — Dans le cas des transformateurs monophasés destinés à constituer un groupe triphasé, la tension nominale d'un enroulement destiné à être connecté en étoile est indiquée par une fraction dont le numérateur est la tension entre phases et dont le dénominateur est $\sqrt{3}$, par exemple:

$$\frac{380}{\sqrt{3}} \text{ V}$$

Pour l'enroulement série des transformateurs survolteurs dévolteurs triphasés, qui est constitué d'enroulements de phase indépendants (voir le paragraphe 3 10 5), la tension est indiquée comme si l'enroulement était connecté en étoile

3 4 4 Rapport de transformation nominal

Rapport entre la tension nominale d'un enroulement et celle d'un autre enroulement caractérisé par une tension nominale inférieure ou égale

3 4 5 Fréquence nominale

Fréquence à laquelle le transformateur est destiné à fonctionner

3 3 6 Auxiliary winding

A winding intended only for a small load compared with the rated power of the transformer

3 3 7 Stabilizing winding

A supplementary delta-connected winding, especially provided on star-star-connected or star-zigzag-connected transformers to decrease the zero-sequence impedance of the star-connected winding (see Sub-clause 3 7 6)

Notes 1 — Decrease of this impedance may be necessary, for example, to reduce the magnitude of third-harmonic voltages or to stabilize voltages to the neutral

2 — A winding is regarded as a stabilizing winding if its terminals are not brought out for connection to an external circuit. However, one or two points of the winding which are intended to form the same corner point of the delta may be brought out, for example for earthing. For a three-phase transformer, if other points of the winding are brought out, the winding should be regarded as a normal winding as defined in Sub-clauses 3 3 3, 3 3 4 or 3 3 5, or an auxiliary winding as defined in Sub-clause 3 3 6, as the case may be

3 3 8 Common winding

The common part of the windings of an auto-transformer

3 3 9 Series winding

The part of the winding of an auto-transformer or the winding of a booster transformer which is intended to be connected in series with a circuit

3 3 10 Energizing winding

The winding of a booster transformer which is intended to supply power to the series winding

3 4 Rating

3 4 1 Rating

Those numerical values assigned to the quantities which define the operation of the transformer in the conditions specified in this standard and on which the manufacturer's guarantees and the tests are based

3 4 2 Rated quantities

Quantities (voltage, current, etc.) the numerical values of which define the rating

Notes 1 — Unless otherwise specified, rated quantities are related to principal tapplings (see Sub-clause 3 5 1 1). For quantities related to other tapplings, see Sub-clause 3 5 and IEC Publication 76-4

2 — Voltages and currents are always expressed by their r.m.s. values, unless otherwise specified

3 4 3 Rated voltage of a winding

The voltage assigned to be applied, or developed at no-load, between the line terminals of a winding of a polyphase transformer, or between the terminals of a winding of a single-phase transformer

Notes 1 — The rated voltages of all windings appear simultaneously at no load when the voltage applied to one of them has its rated value

2 — For single-phase transformers intended to be associated in a three-phase bank, the rated voltage of a winding intended to be connected in star is indicated by a fraction, in which the numerator is the line-to-line voltage, and the denominator is $\sqrt{3}$, for example:

$$\frac{380}{\sqrt{3}} \text{ V}$$

For the series winding of a three phase booster transformer which is designed as an open winding (see Sub-clause 3 10 5), the voltage is indicated as if the winding were connected in star

3 4 4 Rated voltage ratio

The ratio of the rated voltage of a winding to the rated voltage of another winding associated with a lower or equal rated voltage

3 4 5 Rated frequency

The frequency at which the transformer is designed to operate

3 4 6 Puissance nominale

Valeur conventionnelle de la puissance apparente (en kVA ou MVA) destinée à servir de base à la construction du transformateur, aux garanties du constructeur et aux essais en déterminant une valeur bien définie du courant nominal admissible lorsque la tension nominale est appliquée, dans les conditions spécifiées par la présente norme

Notes 1 — Si la puissance d'un transformateur varie, par exemple pour différents modes de réfrigération, la puissance nominale est la puissance la plus élevée

2 — Les deux enroulements d'un transformateur à deux enroulements ont la même puissance nominale, laquelle est par définition la puissance nominale du transformateur

3 — Dans le cas des transformateurs à plus de deux enroulements, la puissance nominale de chacun des enroulements doit être mentionnée. La moitié de la somme arithmétique des valeurs de la puissance nominale des enroulements donne une indication approximative pour déterminer les dimensions d'un transformateur à plus de deux enroulements en comparaison avec un transformateur à deux enroulements

3 4 7 Courant nominal

Courant arrivant à une borne de ligne d'un enroulement, obtenu en divisant la puissance nominale de l'enroulement par la tension nominale de cet enroulement et par un facteur de phase approprié (voir le tableau I, page 24)

Notes 1 — Si la connexion en triangle ou en polygone est faite en reliant extérieurement deux à deux les bornes des enroulements de phases, ce courant correspond à la valeur obtenue pour l'ensemble de deux bornes ainsi reliées

2 — Dans le cas des transformateurs monophasés destinés à constituer un groupe triphasé, le courant nominal d'un enroulement destiné à être connecté en triangle est indiqué par une fraction dont le numérateur est le courant de ligne du groupe triphasé et dont le dénominateur est $\sqrt{3}$, par exemple:

$$\frac{500}{\sqrt{3}} \text{ A}$$

3 5 Prises

3 5 1 Définitions relatives à un enroulement à prises

3 5 1 1 Prise principale

Prise à laquelle se réfèrent les grandeurs nominales

3 5 1 2 Facteur de prise (correspondant à une prise donnée)

Rapport $\frac{U_d}{U_N}$ (facteur de prise) ou $100 \frac{U_d}{U_N}$ (facteur de prise exprimé en pour-cent),

où

U_N = tension nominale de l'enroulement

U_d = tension qui serait développée aux bornes de l'enroulement, connecté sur la prise considérée, dans un fonctionnement à vide en appliquant à un enroulement sans prise sa tension nominale

Note — Le « facteur de prise » exprime la valeur relative du « nombre effectif de spires » de l'enroulement à prises pour la prise considérée, la base 1 étant le nombre effectif de spires de cet enroulement pour la prise principale

3 5 1 3 Prise additive — Prise soustractive

Prise dont le facteur de prise est supérieur à 1 (prise additive) ou inférieur à 1 (prise soustractive)

3 5 1 4 Echelon de réglage

Différence entre les « facteurs de prises exprimés en pour-cent » de deux prises adjacentes

Note — C'est, en d'autres termes, le nombre de spires d'un échelon rapporté au nombre effectif de spires de l'enroulement pour la prise principale et exprimé en pour cent

3 5 1 5 Etendue de prises

Etendue de variation du « facteur de prise exprimé en pour-cent » par rapport à la valeur « 100 » (si ce facteur varie de $100 + a$ à $100 - b$, l'étendue de prises s'exprime par $+a\%$, $-b\%$ ou $\pm a\%$ si $a = b$)

3 5 2 Rapport de transformation de prise (d'une paire d'enroulements)

Rapport qui est égal au rapport de transformation nominal

— multiplié par le facteur de prise de l'enroulement à prises si celui-ci est l'enroulement haute tension;

— divisé par le facteur de prise de l'enroulement à prises si celui-ci est l'enroulement basse tension

Note — Alors que le rapport de transformation nominal est, par définition, au moins égal à 1, le rapport de transformation de prise peut être inférieur à 1 (cela peut se produire pour certaines prises quand le rapport de transformation nominal est voisin de 1)

3 4 6 Rated power

A conventional value of apparent power (in kVA or MVA), establishing a basis for the design, the manufacturer's guarantees and the tests, determining a well-defined value for the rated current that may be carried with rated voltage applied, under the conditions specified in this standard

Notes 1 — If the power of a transformer varies, with different methods of cooling for example, the rated power is the highest power

- 2 — Both windings of a two-winding transformer have the same rated power, which by definition is the rated power of the transformer
- 3 — For multi-winding transformers, the rated power for each of the windings should be stated. Half the arithmetic sum of the values of the rated power of the windings gives a rough estimate for determining the dimensions of a multi-winding transformer as compared with a two-winding transformer

3 4 7 Rated current

The current, flowing through a line terminal of a winding, derived by dividing the rated power of the winding by the rated voltage of the winding and by an appropriate phase factor (see Table I, page 25)

Notes 1, — If the delta or other polygon connection is made externally by linking the terminals of two-phase windings in pairs, this current corresponds to the value obtained for the pair of terminals thus connected

- 2 — For single-phase transformers intended to be associated in a three-phase bank, the rated current of a winding intended to be connected in delta is indicated by a fraction, in which the numerator is the corresponding line current and the denominator is $\sqrt{3}$, for example:

$$\frac{500}{\sqrt{3}} \text{ A}$$

3 5 Tappings

3 5 1 Definitions relating to a tapped winding

3 5 1 1 Principal tapping

The tapping to which the rated quantities are related

3 5 1 2 Tapping factor (corresponding to a given tapping)

The ratio $\frac{U_d}{U_N}$ (tapping factor) or $100 \frac{U_d}{U_N}$ (tapping factor expressed as a percentage),

where:

U_N = rated voltage of the winding

U_d = voltage which would be developed at no-load at the terminals of the winding, connected on the tapping concerned, by applying rated voltage to an untapped winding

Note — The “tapping factor” expresses the relative value of the “effective number of turns” of the tapped winding at the relevant tapping, the basis 1 being the effective number of turns of this winding at the principal tapping

3 5 1 3 Plus tapping—Minus tapping

A tapping whose tapping factor is higher than 1 (plus tapping) or lower than 1 (minus tapping)

3 5 1.4 Tapping step

The difference between the “tapping factors expressed as a percentage” of two adjacent tappings

Note — This is the number of turns of a step referred to the effective number of turns of the winding at the principal tapping and expressed as a percentage

3 5 1 5 Tapping range

The variation range of the “tapping factor expressed as a percentage” compared with the value “100” (if this factor ranges from $100 + a$ to $100 - b$, the tapping range is said to be $+a\%$, $-b\%$, or $\pm a\%$ if $a = b$)

3 5 2 Tapping voltage ratio (of a pair of windings)

The ratio which is equal to the rated voltage ratio

- multiplied by the tapping factor of the tapped winding if this is the high-voltage winding;
- divided by the tapping factor of the tapped winding if this is the low-voltage winding

Note — While the rated voltage ratio is, by definition, at least equal to 1, the tapping voltage ratio can be lower than 1 (for certain tappings when the rated voltage ratio is close to 1)

3 5 3 Définitions relatives au régime de prise (pour une connexion de prise donnée du transformateur)

Note préliminaire

Les définitions ci-après sont généralement dérivées des définitions données pour le régime nominal (paragraphe 3 4), celui-ci étant en fait le « régime de prise » de la prise principale

3 5 3 1 Régime de prise

Ensemble des valeurs numériques attribuées aux grandeurs (tensions, courants, etc.) qui servent de base aux garanties du constructeur et, le cas échéant, aux essais pour la connexion de prise considérée

Note — Il est considéré dans la présente norme qu'il n'y a qu'un « régime de prise » par prise, comme il n'y a qu'un « régime nominal » pour la prise principale. Considérer plusieurs régimes de prise peut constituer une étape intermédiaire dans le calcul des grandeurs de prise (voir la Publication XXX de la CEI: Guide d'application pour les transformateurs de puissance, en préparation) mais, sauf dans des cas très spéciaux, spécifier plusieurs régimes de prise serait une complication inutile

3 5 3 2 Grandeurs de prise

Grandeurs dont les valeurs numériques définissent le régime de prise

Les grandeurs de prise comprennent notamment pour chaque enroulement et chaque prise

- a) une tension de prise (voir le paragraphe 3 5 3 3);
- b) une puissance de prise (voir le paragraphe 3 5 3 4),
- c) un courant de prise (voir le paragraphe 3 5 3 5)

Note — Les grandeurs de prise, à savoir: puissance de prise, tension de prise et courant de prise, sont rattachées à une connexion de prise donnée du transformateur et s'appliquent donc à tout enroulement, même s'il n'a pas de prise

3 5 3 3 Tension de prise d'un enroulement

Tension spécifiée pour être appliquée ou développée en fonctionnement à vide entre les bornes de ligne d'un enroulement d'un transformateur polyphasé, ou entre les bornes d'un enroulement d'un transformateur monophasé

Note — Quand le transformateur est connecté sur la prise considérée, les tensions de prise de tous les enroulements apparaissent simultanément dans un fonctionnement à vide

3 5 3 4 Puissance de prise d'un enroulement

Valeur conventionnelle de la puissance apparente destinée à servir de base aux garanties du constructeur pour la connexion de prise considérée du transformateur et, le cas échéant, aux essais, et déterminant la valeur du courant de prise

3 5 3 5 Courant de prise d'un enroulement

Courant arrivant à une borne de ligne de l'enroulement obtenu en divisant la puissance de prise de l'enroulement par la tension de prise de l'enroulement et par le facteur de phase approprié (voir le tableau I)

3 5 4 Prise à pleine puissance — Prise à puissance réduite

Prise dont la puissance de prise est égale (prise à pleine puissance) ou inférieure (prise à puissance réduite) à la puissance nominale

3 6 Pertes et courant à vide

Note — Sauf spécification contraire, les valeurs se rapportent à la prise principale; par conséquent, les définitions ci-après se rapportent à cette prise (pour les autres prises, voir la Publication 76-4 de la CEI)

3 6 1 Pertes à vide

Puissance active absorbée quand la tension nominale, à la fréquence nominale est appliquée aux bornes de l'un des enroulements, l'autre ou les autres enroulements étant à circuit ouvert

3 6 2 Courant à vide

Courant à une borne de ligne d'un enroulement quand la tension nominale à la fréquence nominale est appliquée à cet enroulement, l'autre ou les autres enroulements étant à circuit ouvert

Notes 1 — Le courant à vide d'un enroulement est souvent exprimé en pourcentage du courant nominal de cet enroulement. Pour les transformateurs à plus de deux enroulements, ce pourcentage est rapporté à l'enroulement ayant la puissance nominale la plus élevée

2 — Pour les transformateurs polyphasés, les courants à vide aux différentes bornes de ligne peuvent être inégaux. Si, dans ce cas, les valeurs des différents courants à vide ne sont pas indiquées séparément, le courant à vide est supposé égal à la moyenne arithmétique de ces courants

3 5 3 Definitions relating to the tapping duty (for a given tapping connection of the transformer)

Preliminary note

The following definitions are generally derived from the definitions relating to the rating (Sub clause 3 4), the rating being, in fact, the “tapping duty” of the principal tapping

3 5 3 1 Tapping duty

The numerical values assigned to the quantities (voltages, currents, etc.) which are used for the given tapping connection, as a basis for the manufacturer’s guarantees and, in certain cases, for the tests

Note — This standard considers only one “tapping duty” per tapping, as only one “rating” is considered for the principal tapping. More than one tapping duty can appear as an intermediate step in the calculation of tapping quantities (see IEC Publication XXX, Application Guide for Power Transformers, in preparation) but, except for very special cases, to specify more than one tapping duty would be an unnecessary complication

3 5 3 2 Tapping quantities

Those quantities the numerical values of which define the tapping duty

The tapping quantities include for each winding and each tapping

- a) a tapping voltage (see Sub-clause 3 5 3 3),
- b) a tapping power (see Sub-clause 3 5 3 4),
- c) a tapping current (see Sub-clause 3 5 3 5)

Note — Tapping quantities, namely: the tapping power, the tapping voltage and the tapping current, are related to a given tapping connection of the transformer and apply therefore to any winding, including any untapped winding

3 5 3 3 Tapping voltage of a winding

The voltage assigned to be applied, or developed at no-load, between the line terminals of a winding of a poly-phase transformer, or between the terminals of a winding of a single-phase transformer

Note — When the transformer is connected at the relevant tapping, the tapping voltages of all windings appear simultaneously at no-load

3 5 3 4 Tapping power of a winding

A conventional value of apparent power, establishing for the relevant tapping connection of the transformer a basis for the manufacturer’s guarantees and, in certain cases, for the tests, and determining the value of the tapping current

3 5 3 5 Tapping current of a winding

The current flowing through a line terminal of a winding derived by dividing the tapping power of the winding by the tapping voltage of the winding and by an appropriate phase factor (see Table I)

3 5 4 Full-power tapping—Reduced-power tapping

A tapping whose tapping power is equal to the rated power (full-power tapping) or lower than the rated power (reduced-power tapping)

3 6 Losses and no-load current

Note — Unless otherwise specified, the values are related to the principal tapping; consequently, the following definitions are related to this tapping (for other tapplings, see IEC Publication 76-4)

3 6 1 No-load loss

The active power absorbed when rated voltage at rated frequency is applied to the terminals of one of the windings, the other winding(s) being open-circuited

3 6 2 No-load current

The current flowing through a line terminal of a winding when rated voltage is applied at rated frequency, the other winding(s) being open-circuited

Notes 1 — The no-load current of a winding is often expressed as a percentage of the rated current of the same winding. For multi-winding transformers, this percentage is referred to the winding with the highest rated power

- 2 — For polyphase transformers, the no-load currents through the different line terminals may be unequal. If, in this case, the values of the different no-load currents are not given separately, the no-load current is assumed to be the arithmetic mean value of these currents

3 6 3 Pertes dues à la charge

a) D'un transformateur à deux enroulements

Puissance active absorbée à la fréquence nominale quand le courant nominal traverse la ou les bornes de ligne de l'un des enroulements, les bornes de l'autre enroulement étant court-circuitées. La valeur est rapportée à la température de référence indiquée au tableau IV, page 32

b) D'un transformateur à plus de deux enroulements, relatives à une certaine paire d'enroulements

Puissance active absorbée à la fréquence nominale lorsqu'un courant correspondant au courant nominal de celui des enroulements de la paire dont la puissance nominale est la plus faible traverse la ou les bornes de ligne de l'un des enroulements, les bornes de l'autre enroulement de la même paire étant court-circuitées et le ou les enroulements restants étant à circuit ouvert. Les valeurs relatives aux différentes paires d'enroulements sont rapportées à la température de référence indiquée au tableau IV, page 32

3 6 4 Pertes totales

Somme des pertes à vide et des pertes dues à la charge

Notes 1 — Dans les transformateurs à plus de deux enroulements, les pertes totales sont rapportées à une combinaison de charges spécifiée

2 — Les pertes dans les appareils auxiliaires ne sont pas comprises dans les pertes totales; elles doivent être indiquées séparément

3 7 Tension de court-circuit, impédance de court-circuit et chute de tension

3 7 1 Tension de court-circuit à courant nominal (prise principale)

a) D'un transformateur à deux enroulements

Tension à la fréquence nominale qu'il est nécessaire d'appliquer entre les bornes de ligne d'un enroulement polyphasé — ou les bornes d'un enroulement monophasé — pour y faire circuler le courant nominal quand les bornes de l'autre enroulement sont mises en court-circuit. La valeur est rapportée à la température de référence indiquée au tableau IV

b) D'un transformateur à plus de deux enroulements, relative à une certaine paire d'enroulements

Tension à la fréquence nominale qu'il est nécessaire d'appliquer entre les bornes de ligne d'un enroulement polyphasé — ou les bornes d'un enroulement monophasé — d'une certaine paire d'enroulements, l'autre enroulement de la même paire étant court-circuité, pour y faire circuler un courant correspondant au courant nominal de celui des enroulements de la paire dont la puissance nominale est la plus faible, le ou les enroulements restants étant à circuit ouvert. Les valeurs relatives aux différentes paires d'enroulements sont rapportées à la température de référence indiquée au tableau IV

Notes 1 — (Valable pour a) et b)) La tension de court-circuit à courant nominal s'exprime habituellement en pour cent de la tension nominale de l'enroulement auquel la tension est appliquée

2 — (Valable pour b) seulement) Afin de simplifier certains calculs, il peut être commode de convertir les tensions de court-circuit des différentes paires en les rapportant à la même puissance de référence qui doit toujours être indiquée

3 7 2 Tension résistive

Composante d'une tension de court-circuit en phase avec le courant

3 7 3 Tension réactive

Composante d'une tension de court-circuit en quadrature avec le courant

3 7 4 Impédance de court-circuit d'une paire d'enroulements Valeur ohmique ramenée à l'un des enroulements (pour une prise donnée)

Impédance étoilée équivalente, exprimée en ohms par phase, à la fréquence nominale, mesurée aux bornes d'un enroulement lorsque l'autre enroulement est en court-circuit. La valeur de l'impédance doit être rapportée à la température de référence indiquée au tableau IV

Notes 1 — Pour la prise principale, l'impédance de court circuit Z_k ramenée à un enroulement déterminé et la « tension de court-circuit à courant nominal u_z » en pour-cent sont liées par la relation:

$$Z_k = \frac{u_z}{100} \frac{U_N^2}{S_N}$$

dans laquelle U_N est la tension nominale de l'enroulement et S_N sa puissance nominale

2 — Limiter à la prise principale l'usage de la tension de court circuit u_z , exprimée en pour-cent, évite les malentendus qui pourraient résulter, pour les prises autres que la prise principale, d'une incertitude sur les tensions et courants de référence

3 6 3 Load loss

a) Of two-winding transformers

The active power absorbed at rated frequency when rated current is flowing through the line terminal(s) of one of the windings, the terminals of the other winding being short-circuited. The value is related to the reference temperature shown in Table IV, page 33

b) Of multi-winding transformers, rated to a certain pair of windings

The active power absorbed at rated frequency when a current flows through the line terminal(s) of one of the windings of the pair, corresponding to the smaller of the rated power values of both windings of that pair, the terminals of the other winding of the same pair being short-circuited and the remaining winding(s) being open-circuited. The various values for the different pairs of windings are related to the reference temperature shown in Table IV, page 33

3 6 4 Total losses

The sum of no-load loss and load loss

Notes 1 — For multi-winding transformers, the total losses refer to a specified loading combination

2 — The losses in the auxiliary plants are not included in the total losses; they should be stated separately

3 7 Impedance voltage, short-circuit impedance and voltage drop

3 7 1 Impedance voltage at rated current (principal tapping)

a) Of two-winding transformers

The voltage required to be applied at rated frequency to the line terminals of a winding of a polyphase transformer, or to the terminals of a winding of a single-phase transformer, to cause the rated current to flow through these terminals when the terminals of the other winding are short-circuited. The value is related to the reference temperature shown in Table IV

b) Of multi-winding transformers, related to a certain combination of two windings

The voltage required to be applied at rated frequency to the line terminals of one of the windings of the combination for a polyphase transformer, or to the terminals of such a winding for a single-phase transformer, to cause a current to flow through these terminals corresponding to the smaller of the rated power values of both windings of that combination, the terminals of the other winding of the combination being short-circuited and the remaining winding(s) being open-circuited. The various values for the different combinations are related to the reference temperature shown in Table IV

Notes 1 — (Applicable to both a) and b)) The impedance voltage at rated current is usually expressed as a percentage of the rated voltage of the winding to which the voltage is applied

2 — (Applicable to b) only) In order to simplify certain calculations, it may be convenient to recalculate the impedance voltages of the various combinations in terms of the same reference power, which should always be indicated

3 7 2 Resistance voltage

The component of an impedance voltage in phase with the current

3 7 3 Reactance voltage

The component of an impedance voltage in quadrature with the current

3 7 4 Short-circuit impedance of a pair of windings Ohmic value related to one of the windings (for a given tapping)

The equivalent star connection impedance, expressed in ohms per phase, at rated frequency, measured between the terminals of a winding when the other winding is short-circuited. The value of impedance is to be related to the reference temperature shown in Table IV

Notes 1 — For the principal tapping, short circuit impedance Z_k related to a certain winding and “impedance voltage at rated current u_z ” in per cent are linked by the relation:

$$Z_k = \frac{u_z}{100} \frac{U_N^2}{S_N}$$

in which U_N is the rated voltage of the winding and S_N its rated power

2 — Restricting the use of impedance voltage u_z , expressed as a percentage, to the principal tapping avoids misunderstanding which could result, for the other tapplings, from ambiguity in the reference currents and voltages

3 7 5 Chute (ou augmentation) de tension pour une condition de charge spécifiée

Différence arithmétique entre la tension à vide d'un enroulement et la tension en charge aux bornes du même enroulement à une charge et un facteur de puissance spécifiés, la tension appliquée à l'autre ou à l'un des autres enroulements étant égale

- à sa valeur nominale si le transformateur est sur la prise principale (la tension à vide du premier enroulement est alors égale à sa tension nominale),
- à la tension de prise si le transformateur est sur une autre prise

Cette différence est généralement exprimée en pour-cent de la tension à vide du premier enroulement

Note — Dans le cas des transformateurs à plus de deux enroulements, la chute (ou l'augmentation) de tension dépend non seulement du courant et du facteur de puissance dans l'enroulement lui-même, mais aussi du courant et du facteur de puissance dans les autres enroulements

3 7 6 Impédance homopolaire (d'un enroulement polyphasé)

Impédance, exprimée en ohms par phase à la fréquence nominale, entre les bornes de ligne d'un enroulement polyphasé en étoile ou en zigzag reliées ensemble et sa borne neutre

Notes 1 — L'impédance homopolaire peut avoir plusieurs valeurs, car elle dépend non seulement du mode de connexion de l'enroulement lui-même, mais aussi du couplage des autres enroulements et des connexions entre leurs bornes de ligne et leurs bornes neutres. Par exemple, pour un transformateur à deux enroulements, si le deuxième enroulement est en étoile à neutre sorti, on peut définir deux impédances homopolaires selon que ce deuxième enroulement est à vide (impédance homopolaire à vide) ou que sa borne neutre est court-circuitée avec ses bornes de ligne (impédance homopolaire de court-circuit)

- 2 — L'impédance homopolaire peut dépendre de la valeur du courant
- 3 — Pour les autotransformateurs, on peut considérer d'autres impédances homopolaires, en particulier celle que l'on obtient en appliquant une tension entre les bornes d'entrée reliées ensemble et les bornes de sortie reliées ensemble

3 8 Echauffement

Différence entre la température de la partie considérée et, respectivement, la température de l'air de refroidissement ou celle de l'eau à l'entrée des réfrigérants pour les transformateurs refroidis à l'air ou à l'eau

3 9 Isolement

Pour les définitions se rapportant à l'isolement, voir la Publication 76-3 de la CEI. En attendant la publication de cette troisième partie, voir le paragraphe 4 9 de la Publication 76 (1967)

3 10 Connexions et couplages

3 10 1 Connexion étoile

Connexion des enroulements dans laquelle une extrémité de chaque enroulement de phase d'un transformateur polyphasé, ou de chaque enroulement de même tension nominale pour les transformateurs monophasés constituant un groupe polyphasé, est connectée à un point commun (point neutre), l'autre extrémité étant reliée à la borne de ligne correspondante

3 10 2 Connexion triangle

Connexion en série des enroulements de phase d'un transformateur triphasé, ou des enroulements de même tension nominale de transformateurs monophasés constituant un groupe triphasé, effectuée de manière à réaliser un circuit fermé

3 10 3 Connexion en triangle ouvert

Connexion en série des enroulements dans laquelle les trois enroulements de phase d'un transformateur triphasé, ou les enroulements de même tension nominale de transformateurs monophasés constituant un groupe triphasé, sont connectés en triangle sans fermeture du triangle à l'un de ses sommets

3 10 4 Connexion en zigzag

Connexion des enroulements telle qu'une extrémité de chaque enroulement de phase d'un transformateur polyphasé est reliée à un point commun (point neutre) et où chaque enroulement de phase comporte deux parties dans lesquelles sont induites des tensions déphasées. Ces deux parties ont normalement le même nombre de spires

3 7 5 *Voltage drop (or rise) (regulation) for a specified load condition*

The arithmetic difference between the no-load voltage of a winding and the voltage developed at the terminals of the same winding at a specified load and power factor, the voltage supplied to (one of) the other winding(s) being equal to

- its rated value if the transformer is connected on the principal tapping (the no-load voltage of the former winding is then equal to its rated value),
- the tapping voltage if the transformer is connected on another tapping

This difference is generally expressed as a percentage of the no-load voltage of the former winding

Note — For multi-winding transformers, the voltage drop (or rise) depends not only on the load and power factor of the winding itself, but also on the load and power factor of the other windings

3 7 6 *Zero-sequence impedance (of a polyphase winding)*

The impedance, expressed in ohms per phase at rated frequency, between the line terminals of a polyphase star winding or zigzag-connected winding connected together and its neutral terminal

Notes 1 — The zero-sequence impedance may have several values because it depends not only on the method of connection of the winding itself, but also on the way in which the other windings are connected and on the connections between their neutrals and the line terminals. For example, for a two-winding transformer, if the second winding is star-connected and has a neutral terminal, two zero-sequence impedances can be defined depending on whether the second winding is unloaded (no-load zero-sequence impedance), or whether its neutral terminal is short-circuited with the line terminals (short-circuit zero-sequence impedance)

2 — The zero-sequence impedance may be dependent on the value of the current

3 — For auto-transformers, other zero-sequence impedances may be considered, in particular those obtained by applying a voltage between the input terminals connected together and the output terminals connected together

3 8 *Temperature rise*

The difference between the temperature of the part under consideration and the temperature of the cooling air, or of the water at the intake of the cooling equipment, for air-cooled or water-cooled transformers respectively

3 9 *Insulation*

For definitions relating to insulation, see IEC Publication 76-3. Pending publication of this Part 3, see Sub-clause 4 9 of Publication 76 (1967)

3 10 *Connections*

3 10 1 *Star connection*

The winding connection so arranged that one end of each of the phase-windings of a polyphase transformer, or of each of the windings for the same rated voltage of single-phase transformers associated in a polyphase bank, is connected to a common point (the neutral point) and the other end to its appropriate line terminal

3 10 2 *Delta connection*

The winding connection so arranged that the phase windings of a three-phase transformer, or the windings for the same rated voltage of single-phase transformers associated in a three-phase bank, are connected in series to form a closed circuit

3 10 3 *Open-delta connection*

The winding connection in which the phase windings of a three-phase transformer, or the windings for the same rated voltage of single-phase transformers associated in a three-phase bank, are connected in series without closing one corner of the delta

3 10 4 *Zigzag connection*

The winding connection in which one end of each phase winding of a polyphase transformer is connected to a common point (neutral point), and each phase winding consists of two parts in which phase-displaced voltages are induced. These two parts normally have the same number of turns

3 10 5 *Enroulements de phase indépendants*

Enroulements de phase d'un transformateur polyphasé qui ne sont pas reliés ensemble à l'intérieur du transformateur

3 10 6 *Déphasage*

Ecart angulaire entre les vecteurs représentant les tensions entre le point neutre (réel ou fictif) et les bornes homologues de deux enroulements lorsqu'un système de tensions direct est appliqué aux bornes de l'enroulement à haute tension dans l'ordre de séquence alphabétique de ces bornes si elles sont repérées par des lettres, ou dans leur ordre de séquence numérique si elles sont repérées par des chiffres. Les vecteurs sont supposés tourner dans le sens inverse des aiguilles d'une horloge

Le déphasage s'exprime par un indice horaire qui est l'heure indiquée sur le cadran d'une horloge dont la grande aiguille (aiguille des minutes) est arrêtée sur 12 h et coïncide avec le vecteur de la tension entre le point neutre (réel ou fictif) et une borne de ligne de l'enroulement à haute tension, et dont la petite aiguille (aiguille des heures) coïncide avec le vecteur de la tension entre le point neutre (réel ou fictif) et la borne de ligne homologue de l'enroulement à basse tension (ou à tension intermédiaire)

3 10 7 *Symbole de couplage*

Symbole conventionnel indiquant les modes de connexions des enroulements à haute tension, à tension intermédiaire, s'il y a lieu, et à basse tension, et leurs déphasages respectifs, exprimés par l'indice horaire

3 11 *Types d'essais*

3 11 1 *Essai individuel*

Essai effectué sur chaque transformateur pris individuellement

3 11 2 *Essai de type*

Essai effectué sur un transformateur représentatif d'autres transformateurs en vue de montrer que ces transformateurs satisfont aux conditions spécifiées qui ne sont pas contrôlées par les essais individuels

Note — Un transformateur est considéré comme représentatif d'autres appareils s'il est complètement identique en ce qui concerne les grandeurs nominales et la construction, mais l'essai de type peut être également considéré comme valable s'il est effectué sur un transformateur qui présente de légères différences portant sur les grandeurs nominales ou d'autres caractéristiques. Ces différences devront faire l'objet d'un accord entre le constructeur et l'acheteur

3 11 3 *Essai spécial*

Essai autre qu'un essai de type ou qu'un essai individuel, défini par accord entre le constructeur et l'acheteur, et effectué seulement sur un ou plusieurs transformateurs d'une même fourniture

4 *Régime nominal*

4 1 *Généralités*

Le constructeur doit assigner au transformateur des valeurs nominales qui sont marquées sur la plaque signalétique (voir l'article 5). Ces valeurs nominales doivent être telles que le transformateur puisse fournir un courant égal à son courant nominal dans des conditions de charge continue sans dépasser les limites d'échauffement spécifiées dans la Publication 76-2 de la CEI, en admettant que la tension appliquée est égale à la tension nominale et que l'alimentation est effectuée à la fréquence nominale (voir le paragraphe 3 4 2)

4 2 *Puissance nominale*

La puissance nominale assignée doit tenir compte des conditions de fonctionnement correspondant à celles spécifiées à l'article 2 et s'obtient en faisant le produit de la tension nominale par le courant nominal et le facteur de phase approprié indiqué dans le tableau I

3 10 5 *Open windings*

Phase windings of a polyphase transformer which are not interconnected within the transformer

3 10 6 *Phase displacement*

The angular difference between the vectors representing the voltages between the neutral point (real or imaginary) and the corresponding terminals of two windings, a positive-sequence voltage system being applied to the high-voltage terminals following each other in alphabetical sequence if they are lettered, or in numerical sequence if they are numbered. The vectors are assumed to rotate in a counter-clockwise sense.

The phase displacement is expressed as the hour figure shown on a clock whose large (minute) hand is pointing at 12 and coincides with the vector of the voltage between the neutral point (real or imaginary) and the high-voltage line terminal, and whose small (hour) hand coincides with the vector of the voltage between the neutral point (real or imaginary) and the corresponding low-voltage or intermediate-voltage terminal.

3 10 7 *Connection symbol*

A conventional notation indicating the connections of the high-voltage, intermediate-voltage (if any) and low-voltage windings and their relative phase displacement(s) expressed as clock-hour figure(s).

3 11 *Kinds of tests*

3 11 1 *Routine test*

A test to which each individual transformer is subjected.

3 11 2 *Type test*

A test made on a transformer which is representative of other transformers, to demonstrate that these transformers comply with specified requirements not covered by routine tests.

Note — A transformer is considered to be representative of others if it is fully identical in rating and construction, but the type test may be also considered valid if it is made on a transformer which has minor deviations of rating or other characteristics. These deviations should be subject to agreement between the manufacturer and the purchaser.

3 11 3 *Special test*

A test other than a type test or a routine test, agreed by the manufacturer and the purchaser, and applicable only to one or more transformers of a particular contract.

4 **Rating**

4 1 *General*

The manufacturer shall assign ratings to the transformer, which shall be marked on the rating plate (see Clause 5). These ratings shall be such that the transformer can deliver its rated current under steady loading conditions without exceeding the limits of temperature rise specified in IEC Publication 76-2, assuming that the applied voltage is equal to the rated voltage and that the supply is at rated frequency (see Sub-clause 3 4 2).

4 2 *Rated power*

The rated power assigned shall take into account service conditions corresponding to those specified in Clause 2 and shall be related to the product of rated voltage, rated current and the appropriate phase factor given in Table I.

TABEAU I

Facteur de phase

Nombre de phases	Facteur de phase
1	1
3	$\sqrt{3}$

La puissance nominale ainsi assignée correspond à un service continu; néanmoins, les transformateurs immergés dans l'huile répondant à la présente norme peuvent être surchargés; des directives concernant les surcharges sont données dans la Publication 354 de la CEI: Guide de charge pour transformateurs immergés dans l'huile

Dans le cadre des conditions définies dans le guide de charge, des surcharges occasionnelles* pouvant atteindre 1,5 fois la valeur nominale peuvent être admises pour les transformateurs de puissance nominale au plus égale à 100 MVA**. Dans ces conditions, aucune limitation ne doit être apportée par les traversées, les changeurs de prises en charge ou par d'autres accessoires. Des surcharges journalières se répétant régulièrement ou des surcharges en service de secours dépassant cette valeur peuvent être limitées à cause des accessoires et, dans ces cas, on doit en référer au constructeur.

Note — Quand la tension nominale est appliquée à l'un des enroulements, la puissance apparente qui peut être réellement fournie par l'autre enroulement (ou un des autres enroulements) chargé à son courant nominal peut différer de sa puissance nominale d'une quantité qui dépend de la chute (ou augmentation) de tension correspondante (voir le paragraphe 3.7.5). Cette puissance apparente est égale au produit de la tension réelle en charge aux bornes dudit enroulement par le courant nominal (voir le paragraphe 3.4.7) correspondant à cet enroulement et par le facteur de phase approprié (voir le tableau I).

4.3 Valeurs préférentielles de la puissance nominale

Le tableau II indique les valeurs préférentielles de la puissance nominale pour les transformateurs triphasés, mais la conformité à la présente norme ne nécessite pas d'adoption des seules valeurs du tableau II; convient, toutefois, de les adopter dans toute la mesure du possible. Elles figurent dans la série R 10 de la Norme R 3 de l'ISO. Nombres préférentiels. Séries des nombres préférentiels.

Les valeurs de puissance recommandées pour les transformateurs monophasés destinés à constituer un groupe triphasé sont égales au tiers des valeurs du tableau II; les valeurs recommandées pour les transformateurs monophasés non destinés à un tel usage sont les mêmes que pour les transformateurs triphasés.

TABEAU II

Valeurs préférentielles de la puissance nominale pour les transformateurs triphasés

kVA	kVA	kVA
5	31,5	200
6,3	40	250
8	50	315
10	63	400
12,5	80	500
16	100	630
20	125	800
25	160	1 000, etc

* Pour la mise en pratique du guide d'application pour changeurs de prises en charge, Publication 542 (en préparation), par surcharge occasionnelle on entend:

- a) un fonctionnement à 1,5 fois le courant nominal pendant 3% de sa durée de vie sans changement de prises
- b) des changements de prise sur la base de 3% du nombre de ces fonctionnements effectués à des courants égaux à 1,5 fois le courant nominal du transformateur

** Les transformateurs spéciaux, par exemple les transformateurs de groupe ne sont pas considérés normalement comme nécessitant des capacités de surcharge.

TABLE I

Phase factors

Number of phases	Phase factor
1	1
3	$\sqrt{3}$

The rated power assigned here corresponds to continuous duty, nevertheless, oil-immersed transformers complying with this standard can be overloaded and guidance on overloads is given in IEC Publication 354, Loading Guide for Oil-immersed Transformers

Within the conditions defined in the Loading Guide, occasional overloads * up to 1.5 times the rated value can be allowed on transformers with rated powers up to 100 MVA ** Under these conditions, no limitations by bushings, on-load tap-changers or other auxiliary equipment shall apply Regular daily overloads or emergency overloads in excess of this may be restricted by consideration of auxiliary equipment and, in these cases, reference should be made to the manufacturer

Note — With rated voltage applied to one of the windings, the apparent power that can actually be delivered by (one of) the other winding(s) loaded with its rated current will deviate from its rated power by an amount depending on the corresponding voltage drop (or rise) (see Sub-clause 3.7.5) This apparent power is equal to the product of the actual voltage on load of the latter winding, the rated current (see Sub-clause 3.4.7) related to that winding and the appropriate phase factor (see Table I)

4.3 Preferred values of rated power

Preferred values of rated power for three-phase transformers are listed in Table II, but compliance with this standard does not require the adoption of only the values given in that table The values should, however, be adopted whenever possible They are in the R 10 series given in ISO Standard R 3: Preferred numbers Series of preferred numbers

For single-phase transformers intended for use in three-phase banks, the recommended rated power values are one-third of the values in Table II, for single-phase transformers not intended for such use, the values are the same as for three-phase transformers

TABLE II

Preferred values of rated power for three-phase transformers

kVA	kVA	kVA
5	31.5	200
6.3	40	250
8	50	315
10	63	400
12.5	80	500
16	100	630
20	125	800
25	160	1 000, etc

* In using the Application Guide for On-load Tap changers, Publication 542 (in preparation), it is understood that occasional overload means:

- a) operation at 1.5 times the rated current of the transformer for 3% of its life without making tap-changes
- b) tap changing on the basis of 3% of the operations being at currents of 1.5 times the rated current of the transformer

** Special purpose transformers, e.g. generator transformers, are not considered normally to require overload capacities

4.4 Fonctionnement à une tension supérieure à la tension nominale

- a) Le transformateur doit être capable de débiter ses courants nominaux en étant alimenté sous 105 % de la tension nominale

Note — On ne tient pas compte du léger échauffement supplémentaire dû à l'augmentation des pertes à vide résultant de la surtension de 5 %

- b) Pour des cas spéciaux (par exemple des transformateurs où la circulation de puissance active ou réactive peut se faire dans les deux sens), l'acheteur peut spécifier que le transformateur doit être capable de fonctionner à une tension supérieure à 105 % de la tension nominale, mais n'excédant pas 110 %. Sauf accord particulier sur la relation entre le courant et la tension, pour un courant égal à K fois le courant nominal ($0 \leq K \leq 1$), la tension sera limitée à celle donnée par la formule

$$U(\%) = 110 - 5 K^2$$

5 Plaques signalétiques

Chaque transformateur doit être muni d'une plaque signalétique résistant aux intempéries, fixée à un emplacement visible et donnant les indications énumérées ci-dessous. Les inscriptions doivent être portées de façon indélébile (par exemple par gravure ou par poinçonnage)

5.1 Informations à donner dans tous les cas

- a) Type du transformateur (par exemple transformateur, autotransformateur, survolteur-dévolteur, etc.)
- b) Numéro de la spécification
- c) Nom du constructeur
- d) Numéro de série du constructeur
- e) Année de construction
- f) Nombre de phases
- g) Puissance nominale (Pour les transformateurs à plus de deux enroulements, on doit donner la puissance nominale de chacun d'eux. On doit indiquer également les combinaisons de charges sauf si la puissance nominale de l'un des enroulements est égale à la somme des puissances nominales des autres enroulements.)
- h) Fréquence nominale
- i) Tensions nominales
- j) Courants nominaux
- k) Symbole de couplage
- l) Tension de court-circuit au courant nominal (valeur mesurée) et, si nécessaire, sa puissance de référence. La puissance de référence doit toujours être donnée pour les transformateurs à plus de deux enroulements.
- m) Mode de refroidissement (Si le transformateur a plusieurs modes de refroidissement, les puissances correspondantes qui diffèrent de la puissance nominale peuvent être exprimées en pour-cent de celle-ci, par exemple ONAN/ONAF 70/100 %)
- n) Masse totale
- o) Masse de l'huile isolante

Si le transformateur a plus d'un régime nominal selon les différentes connexions d'enroulements qui ont été prévues à la construction, les régimes nominaux supplémentaires doivent être tous indiqués sur la plaque signalétique

5.2 Informations supplémentaires à donner dans certains cas

- p) Classe de température de l'isolation (pour les transformateurs du type sec)
- q) Échauffement (si ce n'est pas une valeur normale)
- r) Schéma des connexions (dans le cas où les symboles de couplage ne donnent pas d'indication complète en ce qui concerne les connexions intérieures). Si les connexions peuvent être changées à l'intérieur du transformateur, on doit indiquer quelles sont celles qui ont été réalisées en usine

4.4 Operation at higher than rated voltage

- a) The transformer shall be capable of delivering rated currents at an applied voltage equal to 105% of the rated voltage

Note — The slight temperature rise increase which would correspond to the 5% overvoltage, due to higher no-load loss, is disregarded

- b) For special cases of application (e.g. transformers where the flow of active or reactive power may be in either direction), the purchaser may specify that the transformer shall be capable of operation at a voltage above 105% of the rated voltage but not greater than 110%. If no specific requirements are agreed for the current/voltage relationship, the voltage shall be limited for a current equal to K times the rated current ($0 \leq K \leq 1$) by the formula

$$U(\%) = 110 - 5 K^2$$

5 Rating plates

Each transformer shall be provided with a rating plate of weatherproof material, fitted in a visible position, showing the appropriate items indicated below. The entries on the plate shall be indelibly marked (e.g. by etching, engraving or stamping)

5.1 Information to be given in all cases

- a) Kind of transformer (e.g. transformer, auto-transformer, booster transformer, etc.)
b) Number of the specification
c) Manufacturer's name
d) Manufacturer's serial number
e) Year of manufacture
f) Number of phases
g) Rated power (For multi-winding transformers, the rated power of each winding should be given. The loading combinations should also be indicated unless the rated power of one of the windings is the sum of the rated powers of the other windings.)
h) Rated frequency
i) Rated voltages
j) Rated currents
k) Connection symbol
l) Impedance voltage at rated current (measured value) and, if necessary, the reference power. The reference power should always be given for multi-winding transformers.
m) Type of cooling (If the transformer has several methods of cooling, outputs that differ from the rated power can be shown as percentages of the rated power, e.g. ONAN/ONAF 70/100%)
n) Total mass
o) Mass of insulating oil

If the transformer has more than one rating, depending upon different connections of windings which have been specifically allowed for in the design, the additional ratings shall all be given on the rating plate

5.2 Additional information to be given in certain cases

- p) Temperature class of insulation (for dry-type transformers)
q) Temperature rise (if not a normal value)
r) Connection diagram (in cases where the connection symbol will not give complete information regarding the internal connections). If the connections can be changed inside the transformer, the connection fitted at the works shall be indicated

- s) Niveaux d'isolement (pour les enroulements prévus pour des tensions de 3,6 kV et au-dessus et pour les extrémités côté neutre des enroulements à isolation non uniforme) *
- t) Masse pour le transport (pour les transformateurs dont la masse totale dépasse 5 t)
- u) Masse à soulever pour décufrage (pour les transformateurs dont la masse totale dépasse 5 t)
- v) Nature du liquide isolant, si ce n'est pas de l'huile minérale

Note — Dans le cas des transformateurs immergés dans du liquide isolant synthétique contenant des polychlorobiphényles, par exemple askarel, il est recommandé d'apposer sur le transformateur une plaque distinctive dont le texte signale qu'il convient de prendre des précautions en regard de l'environnement

w) Détails concernant les prises

- 1) indication de l'enroulement qui est muni de prises,
- 2) tableau donnant pour chaque prise la tension de prise, le courant de prise et la puissance de prise de chaque enroulement,
- 3) valeur de l'impédance de court-circuit sur les prises extrêmes et sur la prise moyenne, avec indication de l'enroulement auquel l'impédance est rapportée,

Note se rapportant aux points 2) et 3) — Pour les transformateurs à enroulements séparés de puissance nominale au plus égale à 3 150 kVA et d'étendue de prises au plus égale à $\pm 5\%$, le tableau peut être limité aux tensions de prise (cela implique alors que courants de prise et puissances de prise varient comme indiqué au paragraphe 3.3 de la Publication 76-4), et la valeur de l'impédance de court-circuit peut n'être donnée que pour la prise principale

- 4) éventuellement information sur la capacité du transformateur de fonctionner à une tension dépassant 105% de la tension de prise ou, pour la prise principale, 105% de la tension nominale (voir paragraphe 4.4 et Publication 76-4, paragraphe 2.7)

Note — Des indications plus détaillées peuvent être données sur la plaque signalétique ou sur une plaque spéciale, après accord entre le constructeur et l'acheteur. Si nécessaire, on donnera sur une plaque spéciale, la liste de toutes les caractéristiques, de préférence sous forme de tableau

6 Prescriptions diverses

6.1 Dimensionnement de la connexion de neutre

Le conducteur neutre et la borne neutre des transformateurs (par exemple transformateurs de distribution) destinés à alimenter une charge placée entre phase et neutre doivent être dimensionnés pour le courant de charge adéquat et le courant de défaut à la terre.

Le conducteur neutre et la borne neutre des transformateurs non prévus pour alimenter une charge placée entre phase et neutre doivent être dimensionnés pour le courant de défaut à la terre.

6.2 Déclenchement de la charge sur les transformateurs de groupe

Les transformateurs destinés à être reliés directement aux bornes de groupe de telle façon qu'ils peuvent avoir à subir les conséquences d'un déclenchement de la charge doivent être capables de supporter l'application pendant 5 s d'une tension égale à 1,4 fois la tension nominale aux bornes du transformateur auxquelles le groupe doit être raccordé.

7 Tolérances

A cause des différences inévitables dans la qualité des matières premières et des irrégularités de fabrication, ainsi que des erreurs de mesure, il est admis que les valeurs obtenues aux essais puissent différer des valeurs calculées, et des tolérances sur les valeurs garanties sont nécessaires.

Le tableau III donne les tolérances applicables à certaines grandeurs nominales et à d'autres grandeurs lorsqu'elles sont sujettes aux garanties des constructeurs se référant à cette norme. Lorsqu'une tolérance dans un sens n'est pas indiquée, la valeur n'est soumise à aucune limitation dans ce sens.

Un transformateur est considéré comme satisfaisant à la présente norme quand les quantités soumises aux tolérances ne sont pas à l'extérieur des tolérances données par le tableau III.

* Texte provisoire en attendant la publication de la troisième partie (Publication 76-3)

- s) Insulation levels (applicable to windings rated for voltages of 3.6 kV and above and to the neutral end of windings with non-uniform insulation) *
- t) Transportation mass (for transformers exceeding 5 t total mass)
- u) Untanking mass (for transformers exceeding 5 t total mass)
- v) Insulating liquid, if not mineral oil

Note — In the case of transformers immersed in synthetic insulating liquid containing polychlorinated biphenyls, for example askarel, it is recommended that a distinctive plate be fitted with wording drawing attention to the need to take care because of environmental considerations

w) Details regarding tapplings

- 1) indication of the winding which is fitted with tapplings,
- 2) a table giving for each tapping the tapping voltage, the tapping current and the tapping power of each winding,
- 3) values of short-circuit impedance on the extreme tapplings and on the principal tapping and an indication of the winding to which the impedance is related;

Note common to Items 2) and 3) — For separate winding transformers of rated power up to and including 3 150 kVA and of tapping range not exceeding $\pm 5\%$, the table can be limited to the tapping voltages (it is then implied that tapping currents and tapping powers vary as indicated in Sub-clause 3.3 of Publication 76-4) and the values of short-circuit impedance can be limited to the value on the principal tapping

- 4) information, if any, on the ability of the transformer to operate at a voltage exceeding 105% of the tapping voltage or, for the principal tapping, 105% of the rated voltage (see Sub-clause 4.4 and Publication 76-4, Sub-clause 2.7)

Note — More detailed information may be given on the rating plate or on a special plate, by agreement between the manufacturer and the purchaser. If necessary, a list of all characteristics should be given on a special plate, preferably in tabular form

6 Miscellaneous requirements

6.1 Dimensions of neutral connection

The neutral conductor and terminal of transformers (e.g. distribution transformers) intended to carry a load between phase and neutral shall be dimensioned for the appropriate load current and earth-fault current

The neutral conductor and terminal of transformers not intended to carry load between phase and neutral shall be dimensioned for earth-fault current

6.2 Load rejection on generator transformers

Transformers intended to be connected directly to generators in such a way that they may be subjected to load rejection conditions shall be able to withstand 1.4 times rated voltage for 5 s at the transformer terminals to which the generator is to be connected

7 Tolerances

Because of inevitable differences in basic materials and variations in manufacture, as well as measurement errors, the values obtained on test may differ from the calculated values, and tolerances on guaranteed values are necessary

Table III gives tolerances to be applied to certain rated quantities and to other quantities when they are the subject of manufacturers' guarantees referring to this standard. Where a tolerance in one direction is omitted, there is no restriction on the value in that direction

A transformer is considered as complying with this standard when the quantities subject to tolerances are not outside the tolerances given in Table III

* Provisional text, pending publication of Part 3 (Publication 76-3)

TABLEAU III

Tolérances

Articles	Tolérance
1 a) Pertes totales b) Pertes partielles } voir la note 1	+ 10 % des pertes totales + 15 % de chacune des pertes partielles, à condition de ne pas dépasser la tolérance sur les pertes totales
2 Rapport de transformation à vide pour la prise principale (Rapport de transformation nominal) Note — Les tolérances pour d'autres prises doivent faire l'objet d'un accord entre le constructeur et l'acheteur	La plus faible des deux valeurs suivantes: a) $\pm 0,5\%$ du rapport spécifié b) Un pourcentage du rapport spécifié égal à 1/10 de la tension de court-circuit réelle à courant nominal exprimée en pour-cent (voir la note 2)
3 Tension de court-circuit à courant nominal (prise principale) a) Si la prise principale est la prise médiane ou l'une des deux prises médianes: i) transformateur à deux enroulements ii) transformateur à plus de deux enroulements b) Dans les autres cas	$\pm 10\%$ de la tension de court-circuit spécifiée pour cette prise $\pm 10\%$ de la tension de court-circuit spécifiée pour une paire d'enroulements spécifiée $\pm 15\%$ de la tension de court-circuit spécifiée pour une deuxième paire d'enroulements spécifiée Pour les autres paires d'enroulements, la tolérance doit être fixée par accord et spécifiée Voir la Publication 76-4, paragraphe 2 4 2
4 Impédance de court-circuit pour une prise quelconque	Supérieure ou égale à la valeur indiquée en 3 a) (voir aussi la Publication 76-4, paragraphe 2 4 2)
5 Courant à vide	+ 30 % du courant à vide spécifié

Notes 1 — Dans le cas des transformateurs à plus de deux enroulements, les tolérances sur les pertes s'entendent pour chaque paire d'enroulements à moins que la garantie ne précise qu'elles se rapportent à une combinaison de charges déterminée

2 — La variante b) ne s'applique pas aux cas des autotransformateurs et des survolteurs-dévolteurs pour lesquels la faible valeur d'impédance entraînerait une tolérance exceptionnellement faible

8 Essais

8 1 Conditions générales pour les essais de type, essais individuels et essais spéciaux

Les transformateurs doivent être soumis aux essais décrits ci-après

Les essais doivent être effectués à une température ambiante quelconque comprise entre 10 °C et 40 °C et avec une eau de refroidissement (s'il y a lieu) dont la température ne dépasse pas 25 °C

Les essais doivent être effectués dans les ateliers du constructeur, à moins d'accord différent entre l'acheteur et le constructeur

Tous les éléments constitutifs et accessoires extérieurs susceptibles d'influencer le fonctionnement du transformateur pendant l'essai doivent être en place

Les enroulements à prises doivent être reliés à leur prise principale, à moins qu'il n'en soit spécifié autrement par l'article relatif à l'essai en cause ou par accord entre le constructeur et l'acheteur

Pour toutes les caractéristiques autres que l'isolement, les essais sont basés sur les conditions nominales, à moins qu'il n'en soit spécifié autrement par l'article relatif à l'essai en cause

TABLE III

Tolerances

Item	Tolerance
1 a) Total losses b) Component losses } see Note 1	+ 10 % of the total losses + 15 % of each component loss, provided that the tolerance for total losses is not exceeded
2 Voltage ratio at no load on the principal tapping (Rated voltage ratio) <i>Note</i> — Tolerances on other tapplings should be the subject of agreement between the manufacturer and the purchaser	The lower of the following values: a) $\pm 0.5\%$ of the declared ratio b) A percentage of the declared ratio equal to 1/10 of the actual percentage impedance voltage at rated current (see Note 2)
3 Impedance voltage at rated current (principal tapping) a) If the principal tapping corresponds with the mean tapping position or with one of the two middle tapping positions: i) two-winding transformers ii) multi-winding transformers b) Other cases	$\pm 10\%$ of the declared impedance voltage for that tapping $\pm 10\%$ of the declared impedance voltage for one specified pair of windings $\pm 15\%$ of the declared impedance voltage for a second specified pair of windings Tolerance to be agreed and stated for further pairs of windings See Publication 76-4, Sub-clause 2.4.2
4 Short circuit impedance for any tapping	Not less than as indicated above in 3 a) (see also Publication 76-4, Sub-clause 2.4.2)
5 No-load current	+ 30 % of the declared no-load current

Notes 1 — The loss tolerances of multi-winding transformers apply to every pair of windings unless the guarantee states that they apply to a given loading condition

2 — Alternative b) does not apply in the case of auto-transformers and booster transformers, where the smallness of the impedance would result in an exceptionally small tolerance

8 Tests

8.1 General requirements for type, routine and special tests

Transformers shall be subjected to tests as specified below

Tests shall be made at any ambient temperature between 10 °C and 40 °C and with cooling water (if required) at any temperature not exceeding 25 °C

Tests shall be made at the manufacturer's works, unless otherwise agreed between the manufacturer and the purchaser

All external components and fittings that are likely to affect the performance of the transformer during the test shall be in place

Tapped windings shall be connected on their principal tapping, unless the relevant test clause requires otherwise or unless the manufacturer and the purchaser agree otherwise

The test basis for all characteristics other than insulation is the rated condition, unless the test clause states otherwise

Lorsqu'il est spécifié que les résultats d'essais doivent être ramenés à une température de référence, cette température doit être conforme au tableau IV ci-dessous

TABLEAU IV
Températures de référence

Classe de température de l'isolation*	Température de référence
A E B	75 °C**
Autres classes de température de l'isolation	115 °C

* Selon la Publication 85 de la CEI: Recommandations relatives à la classification des matières destinées à l'isolement des machines et appareils électriques en fonction de leur stabilité thermique en service

** 80 °C quand la circulation d'huile est forcée-dirigée

8 1 1 *Essais individuels*

- a) Mesure de la résistance des enroulements (paragraphe 8 2)
- b) Mesure du rapport de transformation et contrôle du couplage (paragraphe 8 3)
- c) Mesure de la tension de court-circuit (prise principale), de l'impédance de court-circuit et des pertes dues à la charge (paragraphe 8 4)
- d) Mesure des pertes et du courant à vide (paragraphe 8 5)
- e) Essais diélectriques (Publication 76-3 *)
- f) Essais sur les changeurs de prise de réglage en charge, s'il y a lieu (paragraphe 8 8)

8 1 2 *Essais de type*

- a) Essais d'échauffement (Publication 76-2)
- b) Essais diélectriques (Publication 76-3 *)

8 1 3 *Essais spéciaux*

- a) Essais diélectriques (Publication 76-3 *)
- b) Mesure de l'impédance homopolaire des transformateurs triphasés (paragraphe 8 7)
- c) Essai de court-circuit (Publication 76-5, Cinquième partie Tenue au court-circuit)
- d) Mesure du niveau de bruit (voir la Publication 551 de la CEI: Mesure des niveaux de bruit des transformateurs et des bobines d'inductance)
- e) Mesure des harmoniques du courant à vide (paragraphe 8 6)
- f) Mesure de la puissance absorbée par les moteurs de pompes à huile et de ventilateurs

Si des essais spéciaux autres que ceux mentionnés ci-dessus sont exigés, la méthode d'essai doit faire l'objet d'un accord entre le constructeur et l'acheteur

8 2 *Mesure de la résistance des enroulements*

8 2 1 *Généralités*

On doit noter la résistance de chaque enroulement, les bornes entre lesquelles elle est mesurée et la température des enroulements La mesure doit être effectuée en courant continu

* En attendant la publication de la troisième partie, voir la Publication 76 (1967)

Where it is required that test results are to be corrected to a reference temperature, the reference temperature shall be in accordance with Table IV below

TABLE IV
Reference temperatures

Temperature class of insulation*	Reference temperature
A E B	75 °C**
Other temperature classes of insulation	115 °C

* In accordance with IEC Publication 85, Recommendations for the Classification of Materials for the Insulation of Electrical Machinery and Apparatus in Relation to their Thermal Stability in Service

** 80 °C when the oil circulation is forced directed

8 1 1 *Routine tests*

- a) Measurement of winding resistance (Sub-clause 8 2)
- b) Measurement of voltage ratio and check of voltage vector relationship (Sub-clause 8 3)
- c) Measurement of impedance voltage (principal tapping), short-circuit impedance and load loss (Sub-clause 8 4)
- d) Measurement of no-load loss and current (Sub-clause 8 5)
- e) Dielectric tests (Publication 76-3 *)
- f) Tests on on-load tap-changers, where appropriate (Sub-clause 8 8)

8 1 2 *Type tests*

- a) Temperature-rise test (Publication 76-2)
- b) Dielectric tests (Publication 76-3 *)

8 1 3 *Special tests*

- a) Dielectric tests (Publication 76-3 *)
- b) Measurement of zero-sequence impedance on three-phase transformers (Sub-clause 8 7)
- c) Short-circuit test (Publication 76-5, Part 5 Ability to Withstand Short Circuit)
- d) Measurement of acoustic sound level (see IEC Publication 551, Measurement of Transformer and Reactor Sound Levels)
- e) Measurement of the harmonics on the no-load current (Sub-clause 8 6)
- f) Measurement of the power taken by the fan and oil pump motors

If special tests other than those listed above are required, the test method shall be subject to agreement between the manufacturer and the purchaser

8 2 *Measurement of winding resistance*

8 2 1 *General*

The resistance of each winding, the terminals between which it is measured and the temperature of the windings shall be recorded. Direct current shall be used for the measurement

* Pending publication of Part 3, see Publication 76 (1967)

On doit veiller, dans toutes les mesures de résistance, à réduire au minimum les effets de self-induction

Lors de ces mesures de résistance à froid, on doit noter le temps nécessaire à la stabilisation du courant de mesure de façon à en tenir compte lorsqu'on effectuera des mesures de résistance à chaud, à la suite d'un essai d'échauffement

8 2 2 *Transformateurs du type sec*

La température à noter est la moyenne des lectures faites sur plusieurs thermomètres (au moins trois) placés à la surface de l'enroulement

La résistance et la température de l'enroulement doivent être mesurées simultanément et la température de l'enroulement, mesurée au thermomètre, doit être approximativement égale à celle du milieu avoisinant

8 2 3 *Transformateurs immergés dans l'huile*

On laisse le transformateur dans l'huile sans alimentation pendant au moins 3 h, puis on détermine la température moyenne de l'huile et on considère que la température de l'enroulement est égale à la température moyenne de l'huile. La température moyenne de l'huile est prise égale à la moyenne des températures en haut et en bas

Quand on mesure la résistance à froid en vue de l'essai d'échauffement (R_1 dans le paragraphe 3 3 de la Publication 76-2), il faut déployer un effort particulier pour déterminer avec précision la température moyenne de l'enroulement. C'est ainsi que la différence entre les températures de l'huile entre le haut et le bas doit être faible. Pour obtenir ce résultat plus rapidement, on peut faire circuler l'huile à l'aide d'une pompe

8 3 *Mesure du rapport de transformation et contrôle du couplage (essai individuel)*

On mesure le rapport de transformation sur chaque prise. On contrôle la polarité des transformateurs monophasés et le symbole de couplage des transformateurs triphasés

8 4 *Mesure de la tension de court-circuit (prise principale), de l'impédance de court-circuit et des pertes dues à la charge*

On mesure la tension de court-circuit (prise principale), l'impédance de court-circuit et les pertes dues à la charge à la fréquence nominale en appliquant une tension pratiquement sinusoïdale à l'un des enroulements, l'autre étant court-circuité, les enroulements étant connectés sur la prise appropriée. La mesure peut être effectuée avec un courant quelconque, compris entre 25 % et 100 %, mais de préférence au moins 50 % du courant nominal (prise principale) ou du courant de prise. On doit exécuter les mesures rapidement et avoir des intervalles de temps assez longs entre celles-ci pour être sûr que les échauffements n'introduisent pas d'erreurs significatives. La différence de température de l'huile entre le haut et le bas doit être suffisamment faible pour permettre la détermination de la température moyenne avec la précision requise. Si nécessaire, il faut faire circuler l'huile avec une pompe

On doit corriger la valeur mesurée de la tension de court-circuit (prise principale) en la multipliant par le rapport du courant nominal au courant utilisé pour l'essai. La valeur de tension de court-circuit ainsi obtenue doit être ramenée à la température de référence appropriée indiquée dans le tableau IV

La valeur mesurée d'impédance de court-circuit, en ohms par phase, doit être ramenée à la température de référence appropriée indiquée dans le tableau IV

On doit corriger les valeurs mesurées des pertes dues à la charge en les multipliant par le carré du rapport du courant nominal (prise principale), ou du courant de prise, au courant utilisé pour l'essai. Les pertes ainsi obtenues doivent être ramenées à la température de référence appropriée indiquée au tableau IV, en considérant que les pertes Joule I^2R (R = résistance en courant continu) varient en raison directe et les autres pertes en raison inverse de la résistance. La résistance doit être déterminée conformément aux indications du paragraphe 8 2

Sur les transformateurs à trois enroulements, les tensions de court-circuit (prise principale), les impédances de court-circuit et les pertes dues à la charge doivent être mesurées entre les enroulements pris par paires

- | | | |
|--|---|--|
| <ul style="list-style-type: none">— entre l'enroulement 1 et l'enroulement 2— entre l'enroulement 2 et l'enroulement 3— entre l'enroulement 3 et l'enroulement 1 | } | l'autre enroulement étant à circuit ouvert |
|--|---|--|

In all resistance measurements, care shall be taken that the effects of self-induction are minimized

During these cold resistance measurements, the time for the measuring current to become steady should be noted and used for guidance when making hot resistance measurements following a temperature-rise type test

8 2 2 *Dry-type transformers*

The temperature recorded shall be the average reading of several (at least three) thermometers placed on the winding surface

Winding resistance and temperature shall be measured simultaneously and the temperature of the winding, as measured by thermometer, should approximately equal the temperature of the surrounding medium

8 2 3 *Oil-immersed type transformers*

After the transformer has been under oil without excitation for at least 3 h, the average oil temperature shall be determined and the temperature of the winding shall be deemed to be the same as the average oil temperature. The average oil temperature is taken as the mean of the top and bottom oil temperatures

In measuring the cold resistance for purposes of the temperature-rise test (R_1 in Sub-clause 3 3 of Publication 76-2), special efforts shall be made to determine the average winding temperature accurately. Thus, the difference in temperature between the top and bottom oil should be small. To obtain this result more rapidly, the oil can be circulated by a pump

8 3 *Measurement of voltage ratio and check of voltage vector relationship*

The voltage ratio shall be measured on each tapping. The polarity of single-phase transformers and the connection symbol of three-phase transformers shall be checked

8 4 *Measurement of impedance voltage (principal tapping), short-circuit impedance and load loss*

The impedance voltage (principal tapping), short-circuit impedance and load loss shall be measured at rated frequency by applying an approximately sinusoidal supply to one winding, with the other winding short-circuited, with the windings connected on the relevant tapping. The measurements may be made at any current between 25% and 100%, but preferably not less than 50%, of the rated current (principal tapping) or tapping current. The measurements shall be performed quickly and the intervals between them shall be long enough to ensure that temperature rises do not cause significant errors. The difference in temperature between the top oil and the bottom oil shall be small enough to enable the average temperature to be determined with the required accuracy. If necessary the oil should be circulated by a pump

The measured value of the impedance voltage (principal tapping) shall be corrected by increasing it in the ratio of rated current to test current. The value of impedance voltage so derived shall be corrected to the appropriate reference temperature shown in Table IV

The measured value of short-circuit impedance, in ohms per phase, shall be corrected to the appropriate reference temperature shown in Table IV

The measured values of the load loss shall be corrected by multiplying them by the square of the ratio of rated current (principal tapping) or tapping current to test current. The losses so derived shall be corrected to the appropriate reference temperature as given in Table IV taking the I^2R loss (R = d.c. resistance) as varying directly with resistance and all other losses as varying inversely with resistance. The resistance shall be determined as specified in Sub-clause 8 2

On three-winding transformers, the impedance voltages (principal tapping), short-circuit impedances and the load losses shall be measured between windings taken in pairs

- | | | |
|---|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> — between winding 1 and winding 2 — between winding 2 and winding 3 — between winding 3 and winding 1 | } | the other winding being open-circuited |
|---|---|--|

Pour les transformateurs à plus de trois enroulements, les enroulements sont pris par paires et on suit le même principe que pour les transformateurs à trois enroulements

Note — La résistance des connexions utilisées pour les essais doit être suffisamment faible pour ne pas affecter les résultats des mesures. S'il n'est pas possible de réaliser des connexions dans lesquelles les pertes puissent être négligées par rapport aux pertes dues à la charge, il y a lieu de tenir compte de ces pertes.

8.5 Mesure des pertes et du courant à vide

Les pertes à vide et le courant à vide doivent être mesurés sur un des enroulements à la fréquence nominale et sous une tension égale à la tension nominale si l'essai est effectué sur la prise principale, ou égale à la tension de prise appropriée si l'essai est effectué sur une autre prise. Les autres enroulements doivent être laissés à circuit ouvert. Les enroulements qui peuvent être connectés en triangle ouvert doivent avoir leur triangle fermé.

La tension entre phases doit être mesurée avec un voltmètre qui mesure la valeur moyenne de la tension mais qui est gradué de façon à donner par lecture la valeur efficace d'une tension sinusoïdale ayant la même valeur moyenne. La tension U' indiquée par ce voltmètre devra être considérée comme égale à la tension entre phases exigée et les pertes à vide P_m seront mesurées à cette tension.

En même temps, un voltmètre mesurant la valeur efficace de la tension doit être connecté en parallèle avec le voltmètre mesurant la valeur moyenne, et la tension U qu'il indique sera notée.

Si les tensions U' et U sont égales, la valeur mesurée P_m des pertes à vide ne nécessite pas de correction.

Si les tensions U' et U ne sont pas égales, la valeur mesurée des pertes à vide est corrigée conformément à la formule

$$P = \frac{P_m}{P_1 + kP_2}$$

où

P_1 = rapport des pertes par hystérésis aux pertes totales dans le fer

P_2 = rapport des pertes par courants de Foucault aux pertes totales dans le fer, et

$$k = \left(\frac{U}{U'} \right)^2$$

Note — Pour les inductions normalement utilisées à 50 Hz ou 60 Hz, on prend les valeurs suivantes:

TABLEAU V

Rapports des pertes par hystérésis et par courants de Foucault aux pertes totales dans le fer

	P_1	P_2
Tôle à cristaux orientés	0,5	0,5
Tôle à cristaux non orientés	0,7	0,3

Le courant à vide de toutes les phases doit être mesuré par des ampèremètres mesurant la valeur efficace et la moyenne des lectures doit être prise comme égale au courant à vide.

8.6 Mesure des harmoniques du courant à vide

Les harmoniques du courant à vide dans toutes les phases sont mesurés à l'aide d'un analyseur d'harmoniques et l'amplitude des harmoniques est exprimée en pour-cent de la composante fondamentale.

8.7 Mesures d'impédance(s) homopolaire(s) sur des transformateurs triphasés

L'impédance homopolaire est mesurée à la fréquence nominale entre les bornes de ligne réunies ensemble et le neutre d'un enroulement connecté en étoile ou en zigzag. Elle s'exprime en ohms par phase et est donnée par $3 U/I$, U étant la tension d'essai et I le courant d'essai.