

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

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

RECOMMANDATION DE LA CEI

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

(affiliated to the International Organization for Standardization — ISO)

IEC RECOMMENDATION

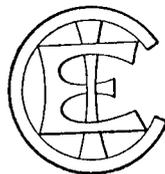
Publication 76

Deuxième édition — Second edition

1967

Transformateurs de puissance

Power transformers



Droits de reproduction réservés — Copyright all rights reserved

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale

1, rue de Varembe

Genève, Suisse

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60076:1967

Withdrawn

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

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

RECOMMANDATION DE LA CEI

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

(affiliated to the International Organization for Standardization — ISO)

IEC RECOMMENDATION

Publication 76

Deuxième édition — Second edition

1967

Transformateurs de puissance

Power transformers



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 | 6 |
| PRÉFACE | 6 |
| Articles | |
| SECTION UN — DOMAINE D'APPLICATION ET CONDITIONS DE SERVICE | |
| 1 | 10 |
| 2 | 10 |
| 3 | 12 |
| SECTION DEUX — DÉFINITIONS | |
| 4 | 14 |
| SECTION TROIS — RÉGIME NOMINAL | |
| 5 | 32 |
| 6 | 32 |
| 7 | 32 |
| SECTION QUATRE — PRISES | |
| 8 | 34 |
| 9 | 34 |
| 10 | 34 |
| 11 | 34 |
| 12 | 36 |
| 13 | 36 |
| 14 | 38 |
| SECTION CINQ — DÉSIGNATION SUIVANT LE MODE DE REFROIDISSEMENT | |
| 15 | 42 |
| 16 | 42 |
| SECTION SIX — LIMITES D'ÉCHAUFFEMENT | |
| 17 | 44 |
| 18 | 46 |
| 19 | 46 |
| SECTION SEPT — NIVEAUX D'ISOLEMENT | |
| 20 | 48 |
| 21 | 50 |
| 22 | 52 |

CONTENTS

| | Page |
|---|------|
| FOREWORD | 7 |
| PREFACE | 7 |
| Clause | |
| SECTION ONE — SCOPE AND SERVICE CONDITIONS | |
| 1 Scope | 11 |
| 2 Service conditions | 11 |
| 3 Provision for unusual service conditions | 13 |
| SECTION TWO — DEFINITIONS | |
| 4 Definitions | 15 |
| SECTION THREE — RATING | |
| 5 General | 33 |
| 6 Rated power | 33 |
| 7 Preferred values of rated power | 33 |
| SECTION FOUR — TAPPINGS | |
| 8 General | 35 |
| 9 Off-circuit tappings | 35 |
| 10. Principal tapping | 35 |
| 11 Categories of regulation | 35 |
| 12 Specification of voltage conditions | 37 |
| 13 Tapping range | 37 |
| 14 Tapping quantities | 39 |
| SECTION FIVE — IDENTIFICATION ACCORDING TO COOLING METHOD | |
| 15 Identification symbols | 43 |
| 16 Arrangement of symbols | 43 |
| SECTION SIX — LIMITS OF TEMPERATURE RISE | |
| 17 Temperature-rise limits | 45 |
| 18 Reduced temperature rises for transformers designed for high cooling-medium temperatures | 47 |
| 19 Reduced temperature rises for transformers designed for high altitudes | 47 |
| SECTION SEVEN — INSULATION LEVELS | |
| 20 General | 49 |
| 21 Windings with graded insulation | 51 |
| 22 Transformers for use at high altitudes | 53 |

SECTION HUIT — TENUE DES TRANSFORMATEURS AU COURT-CIRCUIT

Articles

| | | |
|----|---|----|
| 23 | Généralités | 54 |
| 24 | Conditions de surintensité | 54 |
| 25 | Exigences mécaniques | 56 |
| 26 | Exigences thermiques | 56 |
| 27 | Transformateurs associés directement à d'autres appareils | 58 |
| 28 | Transformateurs spéciaux | 58 |
| 29 | Essais de court-circuit | 58 |
| 30 | Enroulements auxiliaires | 58 |

SECTION NEUF — PLAQUES SIGNALÉTIQUES

| | | |
|----|-----------------------|----|
| 31 | Plaques signalétiques | 60 |
|----|-----------------------|----|

SECTION DIX — DIAGRAMMES VECTORIELS

| | | |
|----|---|----|
| 32 | Mode de connexion des enroulements de phase | 64 |
| 33 | Déphasage entre enroulements | 64 |

SECTION ONZE — TOLÉRANCES

| | | |
|----|------------|----|
| 34 | Tolérances | 66 |
|----|------------|----|

SECTION DOUZE — ESSAIS

| | | |
|----|---|----|
| 35 | Conditions générales pour les essais de type, essais individuels et essais spéciaux | 68 |
| 36 | Mesure de la résistance des enroulements (essai individuel) | 68 |
| 37 | Mesure du rapport de transformation et contrôle de la polarité ou du symbole de couplage (essai individuel) | 70 |
| 38 | Mesure des tensions de court-circuit (essai individuel) | 70 |
| 39 | Mesure des pertes dues à la charge (essai individuel) | 70 |
| 40 | Mesure des pertes et du courant à vide (essai individuel) | 70 |
| 41 | Essais d'échauffement (essai de type) | 72 |
| 42 | Essais diélectriques | 82 |
| 43 | Essai par tension induite (essai individuel) | 82 |
| 44 | Essai par tension appliquée (essai individuel) | 84 |
| 45 | Essai de choc en onde pleine (essai de type) | 86 |
| 46 | Essai aux ondes de choc comprenant un essai en onde coupée (essai spécial) | 88 |
| 47 | Renouvellement des essais diélectriques | 92 |

| | | |
|--------|--|----|
| FIGURE | | 94 |
|--------|--|----|

| | | |
|----------|--|-----|
| ANNEXE A | Renseignements à fournir à l'appel d'offres et à la commande | 96 |
| ANNEXE B | Choix des niveaux d'isolement | 100 |
| ANNEXE C | Détermination de la variation de la tension pour une condition de charge spécifiée | 104 |
| ANNEXE D | Couplages usuels de transformateurs | 110 |
| ANNEXE E | Marche en parallèle des transformateurs triphasés | 114 |
| ANNEXE F | Exemples de spécification de transformateurs avec prises de réglage | 120 |
| ANNEXE G | Exemples de schémas types pour l'essai (à la masse) par tension induite d'enroulements à isolation graduée | 126 |

| | Page |
|---|------|
| SECTION EIGHT — ABILITY TO WITHSTAND SHORT CIRCUIT | |
| Clause | |
| 23 General | 55 |
| 24 Overcurrent conditions | 55 |
| 25 Mechanical requirements | 57 |
| 26 Thermal requirements | 57 |
| 27 Transformers directly associated with other apparatus | 59 |
| 28 Special transformers | 59 |
| 29 Short-circuit tests | 59 |
| 30 Auxiliary windings | 59 |
| SECTION NINE — RATING PLATES | |
| 31 Rating plates | 61 |
| SECTION TEN — VECTOR DIAGRAMS | |
| 32 Connections of phase-windings | 65 |
| 33 Phase displacement between sets of windings | 65 |
| SECTION ELEVEN — TOLERANCES | |
| 34 Tolerances | 67 |
| SECTION TWELVE — TESTS | |
| 35 General requirements for type, routine and special tests | 69 |
| 36 Measurement of winding resistance (routine test) | 69 |
| 37 Voltage ratio measurement and check of polarity or vector-group symbol (routine test) | 71 |
| 38 Measurement of impedance voltages (routine test) | 71 |
| 39 Measurement of load loss (routine test) | 71 |
| 40 Measurement of no-load loss and current (routine test) | 71 |
| 41 Test of temperature rise (type test) | 73 |
| 42 Application of dielectric tests | 83 |
| 43 Induced overvoltage withstand test (routine test) | 83 |
| 44 Separate-source voltage-withstand test (routine test) | 85 |
| 45 Full-wave impulse-voltage withstand test (type test) | 87 |
| 46 Impulse-voltage withstand test including chopped waves (special test) | 89 |
| 47 Subsequent dielectric tests | 93 |
| FIGURE | 94 |
| APPENDIX A — Information required with enquiry and order | 97 |
| APPENDIX B — Selection of insulation levels | 101 |
| APPENDIX C — Calculation of voltage drop (or rise) for a specified load condition | 104 |
| APPENDIX D — Details of transformer connections in general use | 111 |
| APPENDIX E — Parallel operation of three-phase transformers | 114 |
| APPENDIX F — Examples of specifications for regulated transformers | 121 |
| APPENDIX G — Typical connection diagrams for induced voltage tests on windings with graded insulation | 126 |

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

TRANSFORMATEURS DE PUISSANCE

PRÉAMBULE

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

PRÉFACE

La présente recommandation a été établie par le Comité d'Etudes N° 14 de la CEI Transformateurs de puissance

Elle remplace la première édition parue en 1955

Les travaux de révision commencèrent lors de la réunion tenue à Stockholm en 1958. Un projet fut discuté lors des réunions tenues à Paris en 1959, à Londres en 1960, à Interlaken en 1961, et à Bruxelles en 1962. A la suite de cette dernière réunion, un projet fut soumis à l'approbation des Comités nationaux suivant la Règle des Six Mois en avril 1964.

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

| | |
|---------------------------------|-----------------|
| Afrique du Sud | Israël |
| Allemagne | Italie |
| Australie | Norvège |
| Autriche | Pays-Bas |
| Belgique | Pologne |
| Canada | Roumanie |
| Chine (République Populaire de) | Royaume-Uni |
| Corée (République de) | Suède |
| Danemark | Tchécoslovaquie |
| Etats-Unis d'Amérique | Turquie |
| Finlande | Yougoslavie |
| France | |

Le Comité National de l'U R S S a voté contre la publication, ne pouvant accepter certaines des recommandations de la section sept, Niveaux d'isolement, de l'annexe B, Choix des niveaux d'isolement, et des articles de la section douze, Essais, qui se rapportent aux niveaux d'isolement. En particulier, des

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

POWER TRANSFORMERS

FOREWORD

- 1) The formal decisions or agreements of the I E C on technical matters, prepared by Technical Committees on which all the National Committees having a special interest therein are represented, express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the subjects dealt with
- 2) They have the form of recommendations for international use and they are accepted by the National Committees in that sense
- 3) In order to promote this international unification, the I E C expresses the wish that all National Committees having as yet no national rules, when preparing such rules, should use the I E C recommendations as the fundamental basis for these rules in so far as national conditions will permit
- 4) The desirability is recognized of extending international agreement on these matters through an endeavour to harmonize national standardization rules with these recommendations in so far as national conditions will permit. The National Committees pledge their influence towards that end

PREFACE

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

It supersedes the first edition issued in 1955

Work of revision started at the meeting held in Stockholm in 1958. Drafts were discussed at the meetings held in Paris in 1959, London in 1960, Interlaken in 1961 and Brussels in 1962. As a result of this last meeting, a draft was submitted to the National Committees for approval under the Six Months' Rule in April 1964.

The following countries voted explicitly in favour of publication

| | |
|------------------------------|--------------------------|
| Australia | Korea (Republic of) |
| Austria | Netherlands |
| Belgium | Norway |
| Canada | Poland |
| China (People's Republic of) | Romania |
| Czechoslovakia | South Africa |
| Denmark | Sweden |
| Finland | Turkey |
| France | United Kingdom |
| Germany | United States of America |
| Israel | Yugoslavia |
| Italy | |

The U S S R National Committee voted against publication because of the unacceptability of some of the recommendations in Section Seven, Insulation levels, Appendix B, Selection of insulation levels, and those clauses of Section Twelve, Tests, which relate to insulation levels. In particular,

niveaux d'isolement plus bas que ceux indiqués au tableau VIII sont utilisés en U R S S pour les tensions les plus élevées du réseau de 100 kV et au-dessus. Dans la pratique en vigueur en U R S S, les tensions d'essai figurant dans le tableau VIII ne sont valables que pour l'isolement intérieur des transformateurs immergés dans l'huile, les tensions d'essai de tenue à fréquence industrielle pour les tensions les plus élevées du réseau, de 3,6 kV à 24 kV inclus et pour 123 kV (Norme 2) étant quelque peu plus élevées que celles indiquées. En outre, en U R S S, des essais en onde coupée analogues à ceux spécifiés à l'article 46 ont un statut égal aux essais de choc en onde pleine spécifiés à l'article 45, mais la forme de l'onde coupée et la méthode d'essai diffèrent de celles indiquées dans la recommandation

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60076:1967
Withdrawn

insulation levels lower than those given in Table VIII are used in the U S S R for transformers for system highest voltages of 100 kV and above. In the current practice of the U S S R, the test voltages given in Table VIII are valid only for the internal insulation of oil-immersed transformers, the power-frequency test voltages for system highest voltages from 3.6 kV to 24 kV inclusive and for 123 kV (Standard 2) being somewhat higher than those stated. Further, in the U S S R, chopped-wave tests similar to those specified in Clause 46, are equal in status to the full wave tests specified in Clause 45, but the shape of the chopped wave and the test method differ from those given in this Recommendation.

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60076:1967

Withdram

TRANSFORMATEURS DE PUISSANCE

SECTION UN — DOMAINE D'APPLICATION ET CONDITIONS DE SERVICE

1 Domaine d'application

La présente recommandation s'applique aux transformateurs de puissance (y compris les auto-transformateurs), 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 de la Publication 185 de la CEI)
- Transformateurs pour convertisseurs statiques (faisant l'objet des Publications 84, 119 et 146 de la CEI)
- Transformateurs de démarrage
- Transformateurs d'essais
- Transformateurs de tractions montés sur matériel roulant
- Transformateurs de soudure

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

2 Conditions de service

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

- a) *Altitude* Altitude au-dessus du niveau de la mer ne dépassant pas 1 000 m (3 300 ft) ou altitudes supérieures si l'acheteur le spécifie

Note — Pour altitudes plus élevées, voir article 3

- 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 à moins qu'il n'en soit spécifié autrement

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 article 3

- c) *Forme d'onde de la tension d'alimentation* La tension d'alimentation a une forme d'onde pratiquement sinusoïdale

POWER TRANSFORMERS

SECTION ONE — SCOPE AND SERVICE CONDITIONS

1 Scope

This Recommendation 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 Publication 185)
- Transformers for static converters (covered by IEC Publications 84, 119 and 146)
- Starting transformers
- Testing transformers
- Traction transformers mounted on rolling stock
- Welding transformers

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

2 Service conditions

This Recommendation 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) or altitudes in excess of this height above sea level where specified by the purchaser

Note — For greater altitudes, see Clause 3

- 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, or below – 25 °C, unless specially stipulated by the purchaser

In addition, for air-cooled apparatus, the air temperature never exceeds the following values

30 °C average in any one day,
20 °C average in any one year

Note — For higher temperatures, see Clause 3

- c) *Wave shape of supply voltage* A supply voltage of which the wave shape is approximately sinusoidal

- d) *Symétrie des tensions d'alimentation polyphasées* Dans le cas des transformateurs polyphasés, les tensions d'alimentation sont pratiquement symétriques

3 Dispositions pour conditions de service exceptionnelles

Des recommandations particulières sont données en ce qui concerne le régime nominal et les essais des transformateurs du type sec et des transformateurs immergés dans l'huile à refroidissement par air, destinés à être utilisés dans le cas où les températures de l'air de refroidissement dépassent celles données à l'article 2 b) ci-dessus d'une quantité limitée. Des recommandations particulières sont données également pour tous les types de transformateurs destinés à être utilisés à une altitude de plus de 1 000 m (3 300 ft) au-dessus du niveau de la mer (Voir articles 18, 19 et 22)

Il n'est pas donné de recommandations particulières en ce qui concerne l'échauffement des transformateurs à refroidissement par air lorsque la température de l'air de refroidissement dépasse de plus de 10 deg C les valeurs indiquées à l'article 2 b) ci-dessus ou des transformateurs à refroidissement par eau lorsque la température de l'eau de refroidissement dépasse 25 °C. Les spécifications particulières pour ces transformateurs doivent faire l'objet d'un accord entre le constructeur et l'acheteur.

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60076-14
WithDRAWN

d) Symmetry of polyphase supply voltages For polyphase transformers, supply voltages which are approximately symmetrical

3 Provision for unusual service conditions

Supplementary recommendations are given for the rating and testing of dry-type and oil-immersed type air-cooled transformers designed for use where the cooling air temperatures exceed those given in Clause 2 *b*) above by a limited amount. Supplementary recommendations are also given for all types of transformers designed for use at altitudes in excess of 1 000 m (3 300 ft) above sea level. (See Clauses 18, 19, and 22.)

No specific recommendations are given regarding the temperature rises of air-cooled transformers where the temperature of the cooling air exceeds the values given in Clause 2 *b*) above by more than 10 deg C or for water-cooled transformers where the temperature of the available cooling water exceeds 25 °C. The special requirements for such transformers are a matter for agreement between the manufacturer and the purchaser.

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60076-1:2011
Withdram

SECTION DEUX — DÉFINITIONS

4 Définitions

Les définitions ci-après sont applicables à la présente recommandation. Les autres termes utilisés ont la signification qui leur est attribuée par le Vocabulaire Electrotechnique International.

4.1 Généralités

4.1.1 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 d'intensité et de tension généralement différentes.

4.1.2 Auto-transformateur

Transformateur dans lequel au moins deux enroulements ont une partie commune.

4.1.3 Transformateur survolteur-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.

4.1.4 Transformateur immergé dans l'huile

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

Note — Au regard de la présente recommandation, les askarelis sont assimilés à l'huile.

4.1.5 Transformateur sec

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

4.2 Bornes et point neutre

4.2.1 Borne

Pièce conductrice destinée à relier un enroulement à des conducteurs extérieurs.

4.2.2 Borne de ligne

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

4.2.3 Borne neutre

a) *Pour les transformateurs polyphasés*

Borne reliée 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.

4.2.4 Point neutre

a) Point commun auquel aboutissent les conducteurs d'un système polyphasé en étoile.

b) Point d'un système symétrique qui est normalement au potentiel zéro.

4.2.5 Bornes homologues

Bornes des différents enroulements d'un transformateur, marquées avec les mêmes lettres en caractères majuscules et minuscules ou des symboles correspondants.

SECTION TWO — DEFINITIONS

4 Definitions

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

4.1 General

4.1.1 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.

4.1.2 Auto-transformer

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

4.1.3 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.

4.1.4 Oil-immersed type transformer

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

Note — For the purposes of this Recommendation, an askarel insulating liquid is regarded as an oil.

4.1.5 Dry-type transformer

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

4.2 Terminals and neutral point

4.2.1 Terminal

A conducting element intended for connecting a winding to external conductors.

4.2.2 Line terminal

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

4.2.3 Neutral terminal

a) For polyphase transformers

The terminal 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.

4.2.4 Neutral point

a) The common point of the star in a polyphase system

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

4.2.5 Corresponding terminals

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

4 3 Enroulements

4 3 1 Enroulement

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

Notes 1 — Pour un transformateur polyphasé, « l'enroulement » est l'ensemble des enroulements de phase (voir paragraphe 4 3 2)

2 — Pour un auto-transformateur, la partie commune des enroulements est appelée « enroulement commun », et l'autre partie « enroulement série »

3 — Pour un transformateur survolteur-dévolteur, l'enroulement destiné à être inséré en série dans un circuit est appelé « enroulement série », et l'autre enroulement est appelé « enroulement d'excitation »

4 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 employé pour l'ensemble des bobines d'une colonne déterminée

4 3 3 Enroulement haute tension *

Enroulement dont la tension nominale est la plus élevée

4 3 4 Enroulement basse tension *

Enroulement dont la tension nominale est la plus basse

Note — Dans les transformateurs survolteurs-dévolteurs, l'enroulement dont la tension nominale est la plus basse peut être celui dont le niveau d'isolement est le plus élevé

4 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

4 3 6 Enroulement auxiliaire

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

4 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 paragraphe 4 7 5)

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 articles 4 3 3, 4 3 4 ou 4 3 5 suivant le cas

4 4 Régime nominal

4 4 1 Régime nominal

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

* 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 »

4 3 Windings

4 3 1 Winding

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

Notes 1 — For a polyphase transformer, the “winding” is the combination of the phase-windings (See Sub clause 4 3 2)

2 — For an auto-transformer, the common part of the windings is called the “common winding”; the other part is called the “series winding”

3 — For a booster transformer, the winding intended to be connected in series with a circuit is called the “series winding”; the other is called the “energizing winding”

4 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

4 3 3 High-voltage winding *

The winding for the highest rated voltage

4 3 4 Low-voltage winding *

The winding for the lowest rated voltage

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

4 3 5 Intermediate-voltage winding *

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

4 3 6 Auxiliary winding

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

4 3 7 Stabilizing winding

A supplementary delta-connected winding, especially provided on star-star or star-zigzag connected transformers to decrease the zero-sequence impedance of the star-connected winding (See Sub-clause 4 7 5)

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 4 3 3, 4 3 4 or 4 3 5, as the case may be

4 4 Rating

4 4 1 Rating

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

* 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”

4 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 paragraphe 4 5 1)
Pour les grandeurs relatives aux autres prises, voir paragraphe 4 5 et section quatre

2 — Les tensions et courants sont toujours exprimés par leurs valeurs efficaces à moins qu'il n'en soit spécifié autrement

4 4 3 *Plaque signalétique*

Plaque fixée au transformateur et portant les valeurs des grandeurs nominales ainsi que d'autres indications essentielles

Note — Les grandeurs nominales et les autres indications à apposer sur la plaque signalétique sont mentionnées à la section neuf

4 4 4 *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 de 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:

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

Il en est de même des enroulements série des transformateurs survolteurs-dévolteurs

4 4 5 *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

4 4 6 *Fréquence nominale*

Fréquence à laquelle le transformateur est destiné à fonctionner

4 4 7 *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 recommandation

Notes 1 — Les deux enroulements d'un transformateur à deux enroulements ont la même puissance nominale, laquelle est par définition la puissance nominale du transformateur

2 — 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 des dimensions d'un transformateur à plus de deux enroulements en comparaison avec un transformateur à deux enroulements

3 — Lorsque la tension nominale est maintenue aux bornes de l'un des enroulements, la puissance apparente qui peut être fournie par l'autre ou l'un des autres enroulements dans le fonctionnement en charge à son courant nominal, diffère de la puissance nominale de ce dernier enroulement d'une quantité qui correspond à la chute (ou à l'élévation) de tension correspondante (voir paragraphe 4 7 4). Cette puissance apparente est égale au produit de la tension réelle en charge aux bornes dudit enroulement, par le courant nominal (voir paragraphe 4 4 8) correspondant à cet enroulement et par le facteur de phase approprié (voir tableau I)

4 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 4 5 1) For quantities related to other tapplings see Sub-clause 4 5 and Section Four

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

4 4 3 *Rating plate*

A plate, fixed to a transformer, giving its rated and other essential data

Note — The rated and other data to be given on the rating plate are specified in Section Nine

4 4 4 *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 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:

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

The same applies to series windings of booster transformers

4 4 5 *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

4 4 6 *Rated frequency*

The frequency at which the transformer is designed to operate

4 4 7 *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 Recommendation

Notes 1 — Both windings of a two winding transformer have the same rated power, which by definition is the rated power of the transformer

2 — 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 of the dimensions of a multi-winding transformer as compared with a two-winding transformer

3 — With constant rated voltage applied to one of the windings, the apparent power that can really be delivered by (one of) the other winding(s) loaded with its rated current will deviate from the rated power of the latter winding by an amount depending on the corresponding voltage drop (or rise) (See Sub clause 4 7 4) This apparent power is equal to the product of the actual voltage on load of the latter winding, the rated current (see Sub clause 4 4 8) related to that winding and the appropriate phase factor (see Table I)

4 4 8 *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 tableau I)

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 de 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 nominal du groupe triphasé et dont le dénominateur est $\sqrt{3}$, par exemple:

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

4 5 *Prises*

4 5 1 *Prise principale*

Pour un enroulement à prises, prise à laquelle se réfère le régime nominal

Note — Pour le choix de cette prise, voir article 10

4 5 2 *Grandeurs de prise*

Grandeurs relatives aux prises autres que la prise principale

4 5 3 *Puissance de prise*

Valeur conventionnelle de la puissance apparente d'un enroulement qui, lorsque l'enroulement à prises est connecté sur la prise considérée et que les tensions appropriées appliquées ou développées ont les valeurs correspondant au fonctionnement à vide, détermine la valeur admissible du courant à travers une borne de ligne de cet enroulement

Note — Les tensions appropriées dépendent de la catégorie de réglage (voir article 11 et paragraphe 14 2)

4 5 4 *Tension de prise*

Valeur de la tension développée à vide entre les bornes de ligne d'un enroulement polyphasé à prises — ou entre les bornes d'un enroulement monophasé à prises — connecté sur la prise correspondante, quand la tension nominale est appliquée à l'autre enroulement, ce dernier, s'il a des prises, étant connecté sur la prise principale

4 5 5 *Tension d'échelon*

Différence entre les tensions de prise de deux prises adjacentes

Note — Elle peut être donnée comme un pourcentage de la tension nominale

4 5 6 *Prise additive*

Prise reliée à un enroulement de façon à utiliser un plus grand nombre de spires effectives que celui qui correspond à la prise principale

4 5 7 *Prise soustractive*

Prise reliée à un enroulement de façon à utiliser un plus petit nombre de spires effectives que celui qui correspond à la prise principale

4 4 8 *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)

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 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:

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

4 5 *Tappings*

4 5 1 *Principal tapping*

The tapping to which the rating of a tapped winding is related

Note — For the choice of this tapping, see Clause 10

4 5 2 *Tapping quantities*

Quantities related to tappings other than the principal tapping

4 5 3 *Tapping power*

A conventional value of apparent power of a winding which, when the tapped winding is connected on the tapping concerned and when the appropriate voltages applied or developed have the values corresponding to no load, determines the current which may be carried through a line terminal of this winding

Note — The appropriate voltages depend on the category of regulation (see Clause 11 and Sub clause 14 2)

4 5 4 *Tapping voltage*

The value of the voltage developed at no load between the line terminals of a tapped polyphase winding, or between the terminals of a tapped single-phase winding, connected on the corresponding tapping, when rated voltage is applied to the other winding which, if tapped, is connected on its principal tapping

4 5 5 *Step voltage*

The difference between the tapping voltages of two adjacent tappings

Note — It may be given as a percentage of the rated voltage

4 5 6 *Plus tapping*

A tapping so located in a tapped winding as to introduce into this winding a greater number of effective turns than those corresponding to the principal tapping

4 5 7 *Minus tapping*

A tapping so located in a tapped winding as to introduce into this winding fewer effective turns than those corresponding to the principal tapping

4 5 8 *Etendue de prises*

L'étendue totale de prises d'un enroulement à prises comprend l'étendue de prises additives et l'étendue de prises soustractives, qui sont les différences entre sa tension de prise la plus élevée ou sa tension de prise la plus basse d'une part, et sa tension nominale d'autre part, habituellement exprimées en pourcentage positif et en pourcentage négatif de la tension nominale

4 5 9 *Courant de prise*

Courant admissible à une borne de ligne d'un enroulement à prises raccordé à la prise correspondante

4 5 10 *Etendue de variation de tension*

Domaine dans lequel varient les tensions (à vide) aux bornes de ligne d'un enroulement à prises ou sans prises

4 6 *Pertes et courant à vide*

4 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

4 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, il est exprimé en pourcentage du courant nominal de 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

4 6 3 *Perte 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 XV

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 XV

4 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 cette définition; elles doivent être indiquées séparément

4 5 8 *Tapping range*

The total tapping range of a tapped winding consists of the plus and minus tapping ranges, which are the differences between its highest and lowest tapping voltages, on the one hand, and its rated voltage, on the other hand, usually expressed as a plus and a minus percentage of that rated voltage

4 5 9 *Tapping current*

The maximum permissible current through a line terminal of a tapped winding when connected on the tapping concerned

4 5 10 *Voltage variation range*

The range of the variable (no-load) voltages at the line terminals of a tapped or an untapped winding

4 6 *Losses and no-load current*

4 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

4 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

4 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 XV

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

The active power absorbed at rated frequency when a current flows through the line terminal(s) of one of the windings of the combination, 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 XV

4 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 auxiliary plant are not included in the total losses. They should be stated separately

4 7 Tensions de court-circuit — variation de tension

4 7 1 Tension de court-circuit à courant nominal

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 XV

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 XV

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

2 — (Valable pour b)) 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 nominale

3 — Lorsque l'expression « tension de court-circuit » est utilisée dans un sens général dans cette recommandation, elle signifie une grandeur analogue à la tension de court-circuit à courant nominal mais qui peut se rapporter à d'autres valeurs du courant ou à des connexions sur d'autres prises que la prise principale, ou à ces deux cas

4 7 2 Tension résistive

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

Note — Voir note 3, paragraphe 4 7 1

4 7 3 Tension réactive

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

Note — Voir note 3, paragraphe 4 7 1

4 7 4 Variation de tension pour une condition de charge spécifiée

Différence entre la tension nominale aux bornes 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 maintenue à sa valeur nominale. Elle est exprimée en pourcentage de la tension nominale du premier enroulement

Note — Dans le cas des transformateurs à plus de deux enroulements, la variation 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

4 7 5 Impédance homopolaire

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 de leurs bornes

2 — L'impédance homopolaire peut dépendre de la valeur du courant

4.7 Impedance voltage and voltage drop

4.7.1 Impedance voltage at rated current

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 windings are short-circuited. The value is related to the reference temperature shown in Table XV.

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 XV.

Notes 1 — (Applicable to both *a*) and *b*) The rated impedance voltage 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 rated power.

3 — Where, in this Recommendation, the expression “impedance voltage” is used in a general sense, it means a quantity similar to the impedance voltage at rated current, but possibly related to other values of current and/or to connections to tapings other than the principal tapping.

4.7.2 Resistance voltage

The component of an impedance voltage in phase with the current.

Note — See Note 3 to Sub-clause 4.7.1.

4.7.3 Reactance voltage

The component of an impedance voltage in quadrature with the current.

Note — See Note 3 to Sub-clause 4.7.1.

4.7.4 Voltage drop (or rise) (regulation) for a specified load condition

The difference between the rated voltage of a winding and the voltage developed at a specified load and power-factor, the voltage supplied to (one of) the other winding(s) being at its rated value. It is expressed as a percentage of the rated 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.

4.7.5 Zero-sequence impedance

The impedance, expressed in ohms per phase at rated frequency, between the line terminals of a polyphase star 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 and their terminals are connected.

2 — The zero sequence impedance is often dependent on the value of the current.

4 8 *Echauffement*

4 8 1 *Echauffement*

Différence entre la température de la partie considérée et, dans le cas des transformateurs refroidis à l'air, la température de l'air de refroidissement, dans le cas des transformateurs refroidis à l'eau, la température de l'eau à l'entrée du dispositif de refroidissement

4 9 *Isolement*

4 9 1 *Niveau d'isolement*

L'ensemble des valeurs de tension (à fréquence industrielle et aux ondes de choc) qui caractérisent l'isolement de chacun des enroulements et de leurs parties associées du point de vue de son aptitude à supporter les contraintes diélectriques

Note — Le niveau d'isolement est généralement exprimé par les deux valeurs de la tension d'essai à fréquence industrielle et de la tension d'essai au choc en onde pleine; pour les enroulements qui ne sont pas prévus pour être essayés aux ondes de choc, il est exprimé seulement par la première de ces deux valeurs

4 9 2 *Enroulement à isolation uniforme*

Enroulement dans lequel l'isolation à la masse est en tout point prévue pour supporter la même tension d'essai par tension appliquée à fréquence industrielle que l'extrémité côté ligne

4 9 3 *Enroulement à isolation graduée*

Enroulement dans lequel l'isolation à la masse est décroissante et prévue pour une certaine tension côté ligne et pour une tension plus faible côté neutre

Note — Un tel enroulement ne subit par suite l'essai par tension appliquée à fréquence industrielle qu'à une valeur appropriée au niveau d'isolement de l'extrémité côté neutre

4 9 4 *Installation en situation exposée*

Installation dans laquelle le transformateur est exposé à des surtensions d'origine atmosphérique

Note — Une telle installation est généralement reliée à une ligne aérienne, soit directement, soit par une courte longueur de câble

4 9 5 *Installation en situation non exposée*

Installation dans laquelle le transformateur n'est pas exposé à des surtensions d'origine atmosphérique

Note — Une telle installation est généralement reliée à un réseau de câbles souterrains

4 9 6 *Tension nominale du réseau*

Tension efficace entre phases par laquelle un réseau est dénommé

Note — Cette tension n'est pas nécessairement égale à la tension nominale de l'enroulement du transformateur connecté au réseau

4 9 7 *Tension la plus élevée du réseau*

Valeur la plus élevée de la tension efficace entre phases qui peut être maintenue à un instant quelconque et en un point quelconque du réseau dans les conditions d'exploitation normale

Notes 1 — Cette valeur ne tient pas compte des variations temporaires de tension dues aux défauts ou au déclenchement brusque de charges importantes

2 — La tension à circuit ouvert de certaines prises peut dépasser la tension la plus élevée du réseau en service normal
Voir annexe B

4 8 *Temperature rise*

4 8 1 *Temperature rise*

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

4 9 *Insulation*

4 9 1 *Insulation level*

That combination of voltage values (both power-frequency and impulse) which characterizes the insulation of each of the windings and their associated parts with regard to capability of withstanding dielectric stresses

Note — The insulation level is generally expressed by the value of both the power frequency test voltage and the full wave impulse test voltage, but for windings not designed for impulse testing it is expressed by the power-frequency test voltage only

4 9 2 *Uniformly-insulated winding*

A winding in which the insulation to earth is at all points designed to withstand the separate-source power-frequency test voltage appropriate to the line end

4 9 3 *Graded-insulated winding*

A winding in which the insulation to earth is graded from the amount at the line end to a smaller amount at the neutral end

Note — Such a winding therefore will withstand a separate-source power-frequency test voltage of a value appropriate only to the insulation level of the neutral end

4 9 4 *Exposed installation*

An installation in which the transformer is exposed to overvoltages of atmospheric origin

Note — Such installations are usually connected to overhead transmission lines, either directly or through a short length of cable

4 9 5 *Non-exposed installation*

An installation in which the transformer is not exposed to overvoltages of atmospheric origin

Note — Such installations are usually connected to cable networks

4 9 6 *System nominal voltage*

The 1 m s line-to-line voltage by which a system is designated

Note — This voltage is not necessarily the same as the rated voltage of the winding of the transformer connected to the system

4 9 7 *System highest voltage*

The highest 1 m s line-to-line voltage that can be maintained under normal operating conditions at any time and at any point on the system

Notes 1 — It excludes temporary voltage variations due to fault conditions or the sudden disconnection of large loads

2 — The open-circuit voltage of certain tapings may exceed the system highest voltage See Appendix B

4 10 Connexions et couplages

4 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

4 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

4 10 3 Connexion en triangle ouvert

Connexion des enroulements dans laquelle les trois enroulements de phases 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

4 10 4 Connexion en zigzag

Connexion en étoile des enroulements de phase d'un transformateur polyphasé, chaque branche étant constituée de parties dans lesquelles sont induites des tensions déphasées

4 10 5 Enroulements indépendants

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

4 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 heures, 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)

4 10 7 Symbole de couplage

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

4 11 Types d'essais

4 11 1 Essais de réception

Essais effectués pour prouver à l'acheteur que le transformateur est conforme aux spécifications

4 10 Connections

4 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

4 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

4 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

4 10 4 Zigzag or interconnected-star connection

The winding connection in star of the phase-windings of a polyphase transformer, each one of which is made up of parts in which phase-displaced voltages are induced

4 10 5 Open windings

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

4 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 number, 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

4 10 7 Vector-group symbol

A conventional notation indicating the respective 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)

4 11 Kinds of tests

4 11 1 Acceptance tests

Those tests which demonstrate to the satisfaction of the purchaser that the transformer complies with the specification

4 11 2 *Essai individuel*

Essai effectué sur chaque transformateur pris individuellement

4 11 3 *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 est 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. Si l'essai est un essai de réception, ces différences devront faire l'objet d'un accord entre le constructeur et l'acheteur

4 11 4 *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

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60076:1:2011
WithDRAWN

4 11 2 *Routine test*

A test to which each individual transformer is subjected

4 11 3 *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 is also considered valid if it is made on a transformer which has minor deviations of rating or other characteristics. If the test is an acceptance test, these deviations should be subject to agreement between the manufacturer and the purchaser

4 11 4 *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

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60076:1997

Withdram

SECTION TROIS — RÉGIME NOMINAL

5 Généralités

Le constructeur doit attribuer au transformateur des valeurs nominales qui sont marquées sur la plaque signalétique (voir section neuf). 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 à la section six, en admettant que la tension appliquée est égale à la tension nominale d'alimentation et que cette alimentation est effectuée à la fréquence nominale.

6 Puissance nominale

La puissance nominale ainsi attribuée doit tenir compte des conditions de fonctionnement correspondant à celles spécifiées à la section un 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 ci-dessous.

TABLEAU I
Facteur de phase

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

Notes 1 — La puissance nominale ainsi attribuée correspond à un service continu — les conditions relatives à d'autres services doivent faire l'objet d'un accord entre le constructeur et l'acheteur.

2 — Bien que la puissance nominale se rapporte à la tension nominale, le transformateur doit pouvoir fournir sa puissance nominale en étant alimenté sous une tension supérieure de 5% à la tension nominale.

7 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 recommandation ne nécessite pas l'adoption des seules valeurs du tableau. Il convient toutefois de les adopter dans toute la mesure du possible. Elles figurent dans la série R 10 de la recommandation R 3 de l'ISO Nombres normaux. Séries de nombres normaux.

TABLEAU 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 |

SECTION THREE — RATING

5 **General**

The manufacturer shall ascribe ratings to the transformer, which shall be marked on the rating plate (see Section Nine). 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 Section Six, assuming that the applied voltage is equal to the rated voltage and that the supply is at rated frequency.

6 **Rated power**

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

TABLE I
Phase factors

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

Notes 1 — The rated power assigned here corresponds to continuous duty — conditions for other duties should be the subject of an agreement between the manufacturer and the purchaser.

2 — Although the rating is related to the rated voltage, the transformer should be capable of delivering its rated current at an applied voltage 5% higher than the rated voltage.

7 **Preferred values of rated power**

Preferred values of rated power for three-phase transformers are listed in Table II, but compliance with this Recommendation 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 Recommendation R 3, Preferred Numbers Series of Preferred Numbers.

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 |

SECTION QUATRE — PRISES

Notes 1 — Seules les tensions à vide doivent figurer dans les spécifications et sur les plaques signalétiques. L'acheteur, lors qu'il prépare son appel d'offres, peut déduire ses tensions à vide des tensions en charge par une estimation grossière de la chute ou de l'élévation de tension, et les valeurs ainsi obtenues peuvent être vérifiées par la suite quand on connaît les valeurs exactes de cette chute ou élévation de tension.

2 — Lorsque le mot « tension » est accompagné d'un astérisque (*) dans le texte de cette section ou de l'annexe F, il faut entendre, dans les cas où la tension n'est pas appliquée aux bornes du transformateur mais y est produite, que ce mot s'applique à la tension produite à vide.

3 — Dans les articles 11 à 14 de cette section, on envisage seulement le cas, le plus courant en pratique, des transformateurs ne comportant qu'un seul enroulement muni de prises de réglage.

8 Généralités

Les transformateurs ne sont pas munis de prises à moins que ce ne soit demandé dans la spécification, et, dans ce cas, on doit préciser si elles sont destinées au réglage hors tension ou en charge.

9 Prises hors tension

Si l'on spécifie des prises hors tension sans préciser l'étendue des prises et les tensions d'échelons, on admettra comme valeurs normales $\pm 5\%$ pour l'étendue des prises et $\pm 2,5\%$ pour les tensions d'échelon.

10 Prise principale

Sauf spécification contraire, on considérera comme prise principale (voir paragraphe 4.5.1) la prise médiane si le nombre de positions est impair, ou, si ce nombre est pair, celle des deux prises médianes qui est associée au plus grand nombre de spires actives de l'enroulement à prises.

11 Catégories de réglage

Il y a lieu de distinguer, en ce qui concerne l'effet de la variation de tension sur un certain nombre de caractéristiques d'un transformateur muni de prises sur un seul enroulement, trois catégories de réglage.

a) *Réglage à flux constant (RFC)*

La tension * est sensiblement constante aux bornes du ou des enroulements sans prises, et elle est variable aux bornes de l'enroulement à prises. Ce genre de réglage correspond à une tension * constante par spire et, par conséquent, à un flux magnétique (à vide) constant.

b) *Réglage à flux variable (RFV)*

La tension * est sensiblement constante aux bornes de l'enroulement à prises, et elle est variable aux bornes du ou des enroulements sans prises. Ce genre de réglage correspond à une tension * variable par spire et, par conséquent, à un flux magnétique (à vide) variable.

c) *Réglage mixte (RM)*

La tension * est variable à la fois aux bornes de l'enroulement à prises et du ou des enroulements sans prises. Pour une valeur donnée constante de la tension * aux bornes du ou des enroulements sans prises, le réglage correspond à un flux magnétique (à vide) constant, mais quand on passe de cette valeur à une autre le réglage correspond à un flux magnétique (à vide) variable.

* Voir note 2 au commencement de la section quatre (ci-dessus).

SECTION FOUR — TAPPINGS

Notes 1 — In specifications and on rating plates, only no-load voltages should be mentioned. The purchaser when drafting his enquiry may derive these no-load values from voltages on load by a rough estimation of the voltage drop (or rise), which can be checked afterwards when exact values of this drop (or rise) are known.

2 — The asterisk (*) added to "voltage" in this section and in Appendix F means that for a voltage not applied to, but developed at, the terminals, no load condition is implied.

3 — In Clauses 11-14 of this section, only the case (the most common in practice) of transformers which have only one winding provided with regulating tapplings is envisaged.

8 General

Transformers are not provided with tapplings unless specifically required. When tapplings are required, it shall be stated if they are intended for off-circuit or for on-load tap-changing.

9 Off-circuit tapplings

If off-circuit tap-changing is specified, but the tapping range and the step voltages are not stated, standard values of $\pm 5\%$ for the tapping range and of 2.5% for the step voltages are assumed.

10 Principal tapping

Unless otherwise specified, the principal tapping (see Sub-clause 4.5.1) is taken to correspond with the mean tapping position if the number of tapping positions is odd or, if this number is even, that one of the two middle tapping positions which is associated with the higher number of effective turns on the tapped winding.

11 Categories of regulation

With respect to the influence of voltage variation on several characteristics of a transformer having tapplings inserted in only one winding, three categories of regulation should be distinguished:

a) *Constant-flux regulation (C F R)*

Voltage * substantially constant at the untapped winding(s) and variable at the tapped winding. This type of regulation is associated with a constant voltage * per turn and, consequently, with a constant magnetic flux (at no load).

b) *Variable-flux regulation (V F R)*

Voltage * substantially constant at the tapped winding and variable at the untapped winding(s). This type of regulation is associated with a variable voltage * per turn and, consequently, with a variable magnetic flux (at no load).

c) *Mixed regulation (M R)*

Voltage * variable at the tapped winding and at the untapped winding(s). For a given constant value of the voltage * at the untapped winding(s), the regulation is associated with a constant magnetic flux (at no load) but, when passing from this value to another one, with a variable magnetic flux (at no load).

* See Note 2 at the beginning of Section Four (above)

Notes 1 — L'acheteur doit spécifier la catégorie de réglage dont il a besoin. S'il ne le fait pas, le fabricant choisit une des catégories. La catégorie de réglage adoptée doit être indiquée clairement, en utilisant les symboles R F C, R F V ou R M mentionnés ci-dessus. Si rien n'est indiqué, c'est la catégorie R F C qui est supposée adoptée.

2 — Pour les transformateurs de la catégorie R F C, une variation de flux magnétique (à vide) jusqu'à $\pm 5\%$ est permise. Si cette valeur n'est pas dépassée, le réglage est considéré comme étant de la catégorie R F C.

3 — Si un transformateur qui a été dimensionné pour l'une des catégories de réglage doit être utilisé dans une autre, il y a lieu d'admettre certaines limitations d'emploi. Si un transformateur est destiné à des conditions de service correspondant à plus d'une catégorie, il doit être dimensionné pour les conditions les plus dures de flux magnétique et de courant.

4 — On trouvera dans l'annexe F des exemples de spécification de transformateurs appartenant aux diverses catégories de réglage.

12 Spécification des conditions concernant la tension

Si un enroulement à prises ou sans prises doit être conçu pour une tension * variable, l'étendue des variations de tension (voir paragraphe 4.5.10) doit être spécifiée.

L'étendue des variations de tension d'un enroulement s'indique soit en énonçant sa tension nominale suivie des valeurs extrêmes des variations de la tension * en plus et en moins, exprimées en pourcentage de cette tension nominale, soit en énonçant par ordre décroissant les valeurs des tensions * extrêmes et de la tension nominale.

Notes 1 — Certaines valeurs intermédiaires des tensions demandées par l'acheteur peuvent être incompatibles avec le dimensionnement du transformateur. Dans ce cas le constructeur doit fournir à l'acheteur des indications sur les valeurs qui peuvent être pratiquement obtenues.

2 — Les pourcentages s'indiquent comme suit :

— si les composantes en plus et en moins de l'étendue de variation sont égales (par exemple égales à $a\%$), par $\pm a\%$;

— si ces composantes sont inégales (par exemple $+a\%$ et $-b\%$), par $+a\%$, $-b\%$;

— s'il n'existe de variation que dans un seul sens (par exemple $+a\%$ seulement ou $-b\%$ seulement), par $+a\%$ ou par $-b\%$ selon le cas.

Les désignations doivent indiquer clairement celle des valeurs qui correspond à la tension nominale (par exemple en la soulignant).

Dans le cas d'un enroulement sans prises, on écrit entre parenthèses toutes les valeurs exprimées en pourcentages ou en tensions, à l'exception de la tension nominale.

Pour la catégorie R M, il est recommandé de spécifier en outre celles des combinaisons des tensions * variables devant être obtenues simultanément aux bornes des enroulements à prises et sans prises, qui déterminent les valeurs extrêmes du rapport de transformation. Si ces combinaisons ne sont pas spécifiées, on admettra que les valeurs extrêmes du rapport de transformation doivent permettre de couvrir toutes les combinaisons de tensions jusqu'aux limites opposées des étendues de variation de tension des enroulements.

13 Etendue des prises

L'étendue des prises (voir paragraphe 4.5.8), à prévoir pour l'enroulement à prises est déterminée par la ou les étendues de variation de tension (et éventuellement par les combinaisons limites de tensions * variables qu'il y a lieu de considérer comme indiqué à l'article 12).

L'étendue des prises est généralement constituée par un certain nombre de tensions d'échelon (voir paragraphe 4.5.5).

Le nombre de positions de réglage qui est demandé doit être mentionné dans la spécification.

Pour les diverses catégories de réglage, la relation entre l'étendue des prises à prévoir et la ou les étendues de variation de tension obéit aux règles suivantes :

R F C : L'étendue des prises est identique à l'étendue des variations de tension, du fait que toutes deux se rapportent à l'enroulement à prises.

* Voir note 2 au commencement de la section quatre (page 34).

Notes 1 — The purchaser should specify which category of regulation is wanted. If nothing is specified, the manufacturer chooses a certain category. The category of regulation applied should be clearly indicated, using the symbols C F R, V F R or M R given above. If nothing is indicated, category C F R is assumed to be applied.

2 — For transformers of category C F R, a variation of the magnetic flux (at no load) up to 5% is permissible. If this value is not exceeded, the regulation is considered to be C F R.

3 — If a transformer, designed under one category, should be used under another category, certain operating limitations should be recognized. If a transformer is destined for service conditions according to more than one category, it should be designed to meet the most onerous conditions of magnetic flux and load current.

4 — For examples of specifying transformers for the different categories of regulation, see Appendix F.

12 Specification of voltage conditions

If a tapped or untapped winding is to be designed for a variable voltage *, the voltage variation range (see Sub-clause 4.5.10) must be specified.

The voltage variation range of a winding is indicated either by showing its rated voltage, followed by the extreme plus and minus voltage * variations expressed as percentages of that rated voltage, or by showing, in a decreasing order, the values of its extreme voltages * and of its rated voltage.

Notes 1 — Certain intermediate values of voltages required by the purchaser may be incompatible with the design. In this case, the manufacturer should provide the purchaser with information on the values which can be obtained in practice.

2 — Percentages are indicated as follows:

— if the range contains equal plus and minus components (e.g. $\pm a\%$), by: $\pm a\%$;

— if the components are unequal (e.g. $+a\%$ and $-b\%$), by: $+a\% - b\%$;

— if there is only a plus or only a minus component (e.g. only $+a\%$ or only $-b\%$), by: $+a\%$ or by $-b\%$ respectively.

It should be quite clearly indicated which of the values is related to the rated voltage (e.g. by underlining this value).

In the case of untapped windings, all values, whether of percentages or voltages, should be put between parentheses (round brackets), values of rated voltages excepted.

For category M R, it is advisable to specify those combinations of the variable voltages * that are required simultaneously in both the tapped and the untapped windings, which determine the extreme values of the ratio. In these combinations are not specified, it is to be assumed that the extreme values of the voltage ratio should cover all the combinations of voltages up to the opposite limits of the voltage variation ranges of the windings.

13 Tapping range

The tapping range (see Sub-clause 4.5.8) to be provided for the tapped winding is determined by the specified voltage variation range(s) (and if necessary by the limits of combinations of variable voltages * as mentioned in Clause 12).

The tapping range is usually made up of a number of step voltages (see Sub-clause 4.5.5).

The number of tapping positions required should be mentioned in the specification.

For the different categories of regulation the relation between the tapping range to be provided and the voltage variation range(s) required, is as follows:

C F R — The tapping range is identical with the voltage variation range, because both are related to the tapped winding.

* See Note 2 at the beginning of Section Four (page 35).

R F V L'étendue des prises (de l'enroulement à prises) n'est pas identique à l'étendue ou aux étendues des variations de tension (du ou des enroulements sans prises) mais peut s'en déduire directement (Voir annexe F 2)

R M L'étendue des prises (de l'enroulement à prises) n'est pas identique aux étendues de variation de tension (des enroulements à prises et sans prises) mais peut se déduire des valeurs extrêmes du rapport de transformation comme indiqué à l'article 12 (Voir annexe F 3)

Notes 1 — Certaines modifications de l'étendue ou des étendues de variation de tension demandées peuvent être souhaitables en vue de conduire à une étendue des prises qui se prête à un dimensionnement plus favorable. De telles modifications doivent faire l'objet d'un accord particulier entre le constructeur et l'acheteur (Voir annexe F 2 1)

2 — Pour les catégories R F V et R M, où l'étendue des prises ne coïncide pas avec l'étendue ou les étendues de variation de tension, il est recommandé de ne mentionner que les étendues de variation de tension dans la spécification ou sur la plaque signalétique. Y adjoindre des tensions de prises — qui ne correspondent généralement pas à des tensions vraies en service — ou une étendue des prises peut donner lieu à confusion. Pour la catégorie R M, cependant, des indications plus détaillées sont indispensables, comme mentionné dans l'annexe F

14 Grandeurs relatives aux prises

14.1 Limites d'échauffement

Il est admis que les limites d'échauffement du transformateur puissent ne pas être tout à fait respectées à la puissance nominale lorsque l'appareil est connecté sur certaines prises autres que la prise principale. Sauf spécification contraire, cela est considéré comme acceptable lorsque l'étendue de variation de tension ne dépasse pas $\pm 5\%$, mais, si cette valeur est dépassée, il convient de spécifier la puissance de prise du transformateur correspondant à la connexion sur certaines prises autres que la prise principale.

14.2 Puissance de prise

La valeur de la puissance de prise (valable pour l'enroulement à prises et les enroulements sans prises) relative à la connexion de l'enroulement à prises sur une prise déterminée est à associer aux valeurs appropriées suivantes des tensions (voir paragraphe 4.5.3.)

R F C Tension nominale aux bornes du ou des enroulements sans prises, et tension de prise aux bornes de l'enroulement à prises

R F V Tension nominale aux bornes de l'enroulement à prises et tension * variable aux bornes du ou des enroulements sans prises, spécifiée pour la connexion à la prise considérée

R M Aux bornes des divers enroulements, combinaison des tensions * variables spécifiées pour la connexion à la prise considérée

Note — Pour les diverses combinaisons de tensions* spécifiées pour la connexion à une même prise, des valeurs différentes de la puissance de prise peuvent être spécifiées (voir annexe F)

14.3 Courants

Les valeurs des courants aux bornes de ligne des enroulements avec ou sans prises, qui correspondent à la connexion à une certaine prise, s'obtiennent toujours en divisant la puissance de prise correspondante du transformateur par la tension * appropriée associée relative à l'enroulement considéré (voir article 14.2) et par le facteur de phase approprié (voir tableau I)

14.4 Pertes dues à la charge et tension de court-circuit

Si l'étendue de variation de tension dépasse $+ 5\%$, la désignation des prises autres que la prise principale pour lesquelles le constructeur devra fournir des valeurs des pertes dues à la charge et de la tension de court-circuit, ainsi que les tolérances à leur appliquer, doivent faire l'objet d'un accord entre le constructeur et l'acheteur

* Voir note 2 au commencement de la section quatre (page 34)

V F R The tapping range (of the tapped winding) is not identical with the voltage variation range or ranges (of the untapped winding or windings), but can be derived directly from it or them (See Appendix F 2)

M R The tapping range (of the tapped winding) is not identical with the voltage variation ranges (of the tapped and untapped windings), but can be derived from the extreme value of the ratio required, determined according to Clause 12 (see Appendix F 3)

Notes 1 — Certain modifications of the voltage variation range(s) may be desirable in order to obtain a tapping range compatible with an appropriate design. Such modifications are subject to agreement between the manufacturer and the purchaser. (See Appendix F 2 1)

2 — For categories V F R and M R, where the tapping range is not identical with the voltage variation range(s), it is recommended that only the voltage variation range(s) be mentioned in a specification or on a rating plate. The addition of tapping voltages, which generally do not correspond to actual voltages, or of the tapping range, may give rise to confusion. For category M R, however, more explicit information as mentioned in Appendix F is required.

14 Tapping quantities

14.1 Temperature rise

It is recognized that the transformer may not completely meet the relevant temperature-rise limits at full rated power when connected on certain tapplings other than the principal tapping. Unless otherwise specified, this condition is assumed to be satisfactory with a voltage variation range not exceeding $\pm 5\%$, but if this range exceeds this value, it is appropriate to specify the tapping power of the transformer relative to connection on certain tapplings other than the principal tapping.

14.2 Tapping power

The value of the tapping power (for both tapped and untapped windings) related to the connection of the tapped winding on a certain tapping is valid for the following appropriate voltages (see Sub-clause 4.5.3)

C F R Rated voltage at the untapped winding(s), and the tapping voltage of the tapping concerned at the tapped winding

V F R Rated voltage at the tapped winding, and the variable voltage* at the untapped winding(s), specified for the tapping connection concerned

M R The combination of the variable voltages* at the terminals of the windings, specified for the tapping connection concerned

Note — For the various combinations of voltages* specified for the same tapping connection, different values for the tapping power may be specified (see Appendix F)

14.3 Currents

The values of the currents through the line terminals of tapped and untapped windings, relative to a certain tapping connection, are always derived from the values of the corresponding tapping power of the transformer by dividing by the appropriate voltage* relative to the winding concerned (see Sub-clause 14.2) and by an appropriate phase factor (see Table 1)

14.4 Load loss and impedance voltage

If the voltage variation range exceeds $\pm 5\%$, it shall be subject to agreement between the manufacturer and the purchaser for which tapping connections, in addition to that on the principal tapping, values for load loss and impedance voltage should be stated by the manufacturer and what tolerances should be applied

* See Note 2 at the beginning of Section Four (page 35)

La valeur du courant à laquelle se rapportent ces quantités, ainsi que la valeur de base à laquelle est rapportée la tension de court-circuit exprimée en pour-cent, devront être clairement indiquées

14.5 *Pertes à vide*

Pour les catégories R F V. et R M , la désignation des prises autres que la prise principale et les valeurs des tensions correspondantes pour lesquelles le constructeur devra fournir des valeurs des pertes à vide, ainsi que les tolérances à leur appliquer, doivent faire l'objet d'un accord entre le constructeur et l'acheteur

14.6 *Auto-transformateurs et transformateurs survolteurs-dévolteurs*

Pour les auto-transformateurs et transformateurs survolteurs-dévolteurs munis de prises, la spécification de valeurs pour les pertes dues à la charge et les tensions de court-circuit, ainsi que pour les pertes à vide dans le cas des catégories de réglage R F V et R M et la fixation des tolérances à leur appliquer, doivent toujours faire l'objet d'un accord entre le constructeur et l'acheteur, quelle que soit l'étendue des variations de tension

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60076:1967

Withdrawn

The value of the current for which such quantities are valid and the base for the percentage value of the impedance voltage should be clearly stated

14.5 *No-load loss*

For categories V F R and M R it shall be subject to agreement between the manufacturer and the purchaser for which tapping connections and corresponding voltages, in addition to those on the principal tapping, values for no-load loss should be stated by the manufacturer and what tolerances should be applied

14.6 *Auto-transformers and booster transformers*

For auto-transformers and booster transformers with tapped windings, the specification of values for load losses and impedance voltages and, as far as categories V F R or M R are implied, for no-load losses, and of the tolerances to be applied, shall always be subject to agreement between the manufacturer and the purchaser, independent of the voltage variation range

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60076-1:1967
Withdram

SECTION CINQ — DÉSIGNATION SUIVANT LE MODE DE REFROIDISSEMENT

15 Symboles à utiliser

Les transformateurs doivent être désignés d'après le mode de refroidissement utilisé. Les symboles littéraux correspondant à chaque mode de refroidissement sont ceux du tableau III.

TABLEAU III
Symboles littéraux

| Nature de l'agent de refroidissement | Symbole |
|--------------------------------------|---------|
| Huile minérale | O |
| Askarel | L |
| Gaz | G |
| Eau | W |
| Air | A |
| Isolant solide | S |
| Nature de la circulation | |
| Naturelle | N |
| Forcée | F |

16 Disposition des symboles

A l'exception des transformateurs du type sec en enveloppe protégée dont les symboles sont, suivant le cas, AN ou AF, les transformateurs doivent être désignés par quatre symboles pour chacun des modes de refroidissement pour lesquels un régime nominal a été prévu par le constructeur. On doit utiliser une barre oblique pour séparer chaque groupe de symboles.

L'ordre dans lequel les symboles doivent être utilisés est donné par le tableau IV.

TABLEAU IV
Ordre des symboles

| 1 ^{re} lettre | 2 ^e lettre | 3 ^e lettre | 4 ^e lettre |
|--|--------------------------|---|--------------------------|
| Concerne l'agent de refroidissement qui est en contact avec les enroulements | | Concerne l'agent de refroidissement qui est en contact avec le système de refroidissement extérieur | |
| Nature de l'agent de refroidissement | Nature de la circulation | Nature de l'agent de refroidissement | Nature de la circulation |

Par exemple, un transformateur immergé dans l'huile, à circulation forcée de l'huile et de l'air, doit être désigné OFAF tandis qu'un transformateur du type sec muni de ventilateurs doit être désigné AF. Dans le cas d'un transformateur dans lequel les circulations naturelles ou forcées sont possibles au choix, les désignations types sont

ONAN/ONAF

ONAN/OFAF

SECTION FIVE — IDENTIFICATION ACCORDING TO COOLING METHOD

15 Identification symbols

Transformers shall be identified according to the cooling method employed. Letter symbols for use in connection with each cooling method shall be as given in Table III.

TABLE III
Letter symbols

| Kind of cooling medium | Symbol |
|------------------------|--------|
| Mineral oil | O |
| Askarel | L |
| Gas | G |
| Water | W |
| Air | A |
| Solid insulant | S |
| Kind of circulation | |
| Natural | N |
| Forced | F |

16 Arrangement of symbols

With the exception of dry-type transformers in protected enclosures, for which the symbols shall be AN or AF as appropriate, transformers shall be identified by four symbols for each cooling method for which a rating is assigned by the manufacturer. An oblique stroke shall be used to separate each group of symbols.

The order in which the symbols are used shall be as given in Table IV.

TABLE IV
Order of symbols

| 1st letter | 2nd letter | 3rd letter | 4th letter |
|--|---------------------|---|---------------------|
| Indicating the cooling medium that is in contact with the windings | | Indicating the cooling medium that is in contact with the external cooling system | |
| Kind of medium | Kind of circulation | Kind of medium | Kind of circulation |

For example, an oil-immersed transformer with forced oil and air circulation would be designated OFAF, whereas a dry-type transformer with cooling fans would be designated AF. For oil-immersed transformers in which the alternatives of natural or forced cooling are possible, typical designations are

ONAN/ONAF

ONAN/OFAF

SECTION SIX — LIMITES D'ÉCHAUFFEMENT

17 Limites d'échauffement

Les échauffements des enroulements, des circuits magnétiques et de l'huile des transformateurs destinés à fonctionner à une altitude ne dépassant pas celle indiquée à l'article 2 a) et dont les températures du fluide de refroidissement sont conformes aux indications de l'article 2 b) ne doivent pas dépasser les limites spécifiées dans les tableaux V et VI quand les mesures sont faites conformément à l'article 41

Dans le cas des transformateurs à plus de deux enroulements, l'échauffement de l'huile à la partie supérieure se rapporte à la combinaison des charges spécifiées pour laquelle les pertes totales sont les plus élevées. Les échauffements de chacun des enroulements doivent être considérés pour la combinaison des charges spécifiées qui est la plus sévère pour l'enroulement considéré

TABLEAU V

Limites d'échauffement pour les transformateurs du type sec

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|--|-----------------------|--|
| Partie | Mode de refroidissement | Classe de température | Echauffement deg C |
| Enroulements (mesuré par la méthode de variation de résistance) | Par air, naturel ou ventilation forcée | A E B F H | 60 75 80 100 125 150 * |
| Circuits magnétiques et autres parties | Tous | — | a) Mêmes valeurs que pour les enroulements b) Valeurs ne risquant pas d'endommager les parties isolantes susceptibles d'être en contact avec les enroulements |
| a) Adjacents aux enroulements | | | |
| b) Non adjacents aux enroulements | | | |

Note — Les matières isolantes peuvent être utilisées séparément ou en combinaison, sous réserve qu'en aucun cas chaque isolant ne soit soumis à une température supérieure à celle pour laquelle il a été prévu, lorsqu'on fonctionne aux conditions nominales

* Pour certaines matières isolantes, des échauffements qui dépassent 150 deg C peuvent être adoptés par accord entre le constructeur et l'acheteur

SECTION SIX — LIMITS OF TEMPERATURE RISE

17 Temperature-rise limits

The temperature rises of the windings, cores and oil, of transformers designed for operation at altitudes not exceeding those given in Clause 2 a) and with cooling medium temperatures as described in Clause 2 b), shall not exceed the limits specified in Tables V and VI, when tested in accordance with Clause 41

For multi-winding transformers, the temperature rise of the top oil refers to the specified loading combination for which the total losses are highest. Individual winding temperature rises shall be considered relative to that specified loading combination which is the most severe for the particular winding under consideration.

TABLE V
Temperature-rise limits for dry-type transformers

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|-----------------------------------|------------------------|-----------------------|---|
| Part | Cooling method | Class of temperature | Temperature rise deg C |
| Windings (measured by resistance) | Air, natural or forced | A E B F H | 60 75 80 100 125 150 * |
| Cores and other parts | | | a) Same values as for windings |
| a) Adjacent to windings | All | — | b) A value that will not adversely affect insulating parts that may be in contact with the windings |
| b) Not adjacent to windings | | | |

Note — Insulating materials may be used separately or in combination, provided that in any application each material will not be subjected to a temperature in excess of that for which it is suitable, if operated under rated conditions

* For certain insulating materials, temperature rises in excess of 150 deg C may be adopted by agreement between the manufacturer and the purchaser

TABLEAU VI

Limites d'échauffement pour les transformateurs immergés dans l'huile

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|--|--|---------------------|--|
| Partie | Mode de refroidissement | Circulation d'huile | Echauffement deg C |
| Enroulements — classe de température A (mesurée par la méthode de variation de résistance) | Naturel Par ventilation forcée Par circulation interne d'eau | Naturelle | 65 |
| | Par ventilation forcée Par hydro réfrigérants externes | Forcée | 65 |
| Huile à la partie supérieure (mesurée par thermomètre) | — | — | 60, lorsque le transformateur est muni d'un conservateur ou est étanche à l'air 55, lorsque le transformateur n'est ni muni d'un conservateur, ni étanche à l'air |
| Circuits magnétiques et autres parties | — | — | La température ne doit atteindre en aucun cas une valeur susceptible d'endommager le circuit magnétique même ou les parties adjacentes |

18 Réduction de l'échauffement dans le cas des transformateurs utilisant un fluide de refroidissement à température élevée

Si le transformateur est prévu pour fonctionnement avec un fluide de refroidissement dont la température dépasse l'une des valeurs maximales indiquées à l'article 2 b) d'une valeur au plus égale à 10 deg C, les échauffements admissibles pour les enroulements, les circuits magnétiques et l'huile doivent être réduits

- de 5 deg C si ce dépassement est inférieur ou égal à 5 deg C,
- de 10 deg C si ce dépassement est supérieur à 5 deg C et inférieur ou égal à 10 deg C

19 Réduction de l'échauffement dans le cas des transformateurs utilisés à une altitude élevée

Pour les transformateurs à refroidissement par air destinés à fonctionner à une altitude supérieure à 1 000 m (3 300 ft) dont les essais sont effectués à une altitude normale, les limites d'échauffement indiquées aux tableaux V et VI sont réduites dans les proportions suivantes pour chaque tranche de 500 m (1 650 ft) au-dessus de 1 000 m (3 300 ft)

- transformateurs immergés dans l'huile, à refroidissement naturel 2,0%
- transformateurs du type sec, à refroidissement naturel 2,5%
- transformateurs immergés dans l'huile, à ventilation forcée 3,0%
- transformateurs du type sec, à ventilation forcée 5,0%

Note — Ces réductions des limites d'échauffement ne sont pas applicables aux transformateurs à refroidissement par eau

TABLE VI
Temperature-rise limits for oil-immersed type transformers

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|-----------------|--|
| Part | Cooling method | Oil circulation | Temperature rise deg C |
| Windings — temperature Class A (measured by resistance) | Natural air Forced air Water (internal coolers) | Natural | 65 |
| | Forced air Water (external coolers) | Forced | 65 |
| Top oil (measured by thermometer) | — | — | 60, when the transformer is sealed or equipped with a conservator 55, when the transformer is not so sealed or equipped |
| Cores and other parts | — | — | The temperature in no case to reach a value that will injure the core itself or adjacent parts |

18 Reduced temperature rises for transformers designed for high cooling-medium temperatures

If the transformer is designed for service where the temperature of the cooling medium exceeds one of the maximum values shown in Clause 2 b) by not more than 10 deg C, the allowable temperature rises for the windings, cores and oil, shall be reduced

- by 5 deg C if the excess temperature is less than or equal to 5 deg C,
- by 10 deg C if the excess temperature is greater than 5 deg C and less than or equal to 10 deg C

19 Reduced temperature rises for transformers designed for high altitudes

For air-cooled transformers designed for operation at an altitude greater than 1 000 m (3 300 ft), but tested at normal altitudes, the limits of temperature rise given in Tables V and VI are reduced by the following amounts for each 500 m (1 650 ft) by which the intended working altitude exceeds 1 000 m (3 300 ft)

- oil-immersed, natural air-cooled transformers 20%
- dry-type, natural-air-cooled transformers 25%
- oil-immersed, forced-air-cooled transformers 30%
- dry-type, forced-air-cooled transformers 50%

Note — These reductions in temperature rise limits are not applicable to water-cooled transformers

SECTION SEPT — NIVEAUX D'ISOLEMENT

20 Généralités

Les niveaux d'isolement pour les transformateurs du type sec * et, dans le cas des transformateurs immergés dans l'huile, pour les enroulements et les parties connectées qui ne sont pas établis pour subir des essais aux ondes de choc, doivent être ceux indiqués au tableau VII. Pour les transformateurs immergés dans l'huile, les niveaux d'isolement des enroulements et des parties connectées qui sont établis pour subir des essais aux ondes de choc doivent être ceux indiqués au tableau VIII (Voir annexe B)

* Les essais aux ondes de choc ne sont pas prévus pour les transformateurs du type sec étant donné que ces transformateurs ne sont pas destinés à être utilisés dans des installations en situation exposée

TABLEAU VII

Niveaux d'isolement pour les enroulements et les parties connectées qui ne sont pas établis pour subir les essais aux ondes de choc

| Tension la plus élevée du réseau kV eff | Niveau d'isolement (tension d'essai à fréquence industrielle) kV eff |
|--|--|
| Moins de 1,1 | 2,5 |
| 1,1 | 3 |
| 3,6 | 8 |
| 7,2 | 15 |
| 12 | 25 |
| 17,5 | 36 |
| 24** | 50 |

** Pour transformateurs du type sec seulement

TABLEAU VIII

Niveaux d'isolement pour les enroulements et parties connectées établis pour subir les essais aux ondes de choc Série I (basée sur la pratique courante en dehors de l'Amérique du Nord)

| Tension la plus élevée du réseau kV eff | Niveau d'isolement | | | |
|--|----------------------------------|---------------------|---|-------------------|
| | Tension d'essai de tenue au choc | | Tension d'essai de tenue à fréquence industrielle | |
| | Norme 1 kV crête | Norme 2 kV crête | Norme 1 kV eff | Norme 2 kV eff |
| 3,6 | | 45 | | 16 |
| 7,2 | | 60 | | 22 |
| 12 | | 75 | | 28 |
| 17,5 | | 95 | | 38 |
| 24 | | 125 | | 50 |
| 36 | | 170 | | 70 |
| 52 | | 250 | | 95 |
| 72,5 | | 325 | | 140 |
| 100 | 450 | 380 | 185 | 150 |
| 123 | 550 | 450 | 230 | 185 |
| 145 | 650 | 550 | 275 | 230 |
| 170 | 750 | 650 | 325 | 275 |
| 245 | 1 050 | 900 | 460 | 395 |
| 300 | — | 1 050 | — | 460 |
| 420 | — | 1 425 | — | 630 |

SECTION SEVEN — INSULATION LEVELS

20 General

The insulation levels for dry-type transformers * and, in oil-immersed type transformers, those of the windings and connected parts which are not designed for impulse-voltage testing, shall be those given in Table VII For oil-immersed type transformers, the insulation levels of windings and connected parts which are designed for impulse-voltage testing shall be those given in Table VIII (See Appendix B)

* Impulse-voltage tests are not specified for dry-type transformers, as such transformers are not intended for use in exposed installations

TABLE VII

Insulation levels for windings and connected parts not designed for impulse-voltage tests

| System highest voltage kV r m s | Insulation level (power-frequency test voltage) kV r m s |
|------------------------------------|--|
| Less than 1.1 | 2.5 |
| 1.1 | 3 |
| 3.6 | 8 |
| 7.2 | 15 |
| 12 | 25 |
| 17.5 | 36 |
| 24 ** | 50 |

** For dry type transformers only

TABLE VIII

*Insulation levels for windings and connected parts designed for impulse-voltage tests
Series I (based on current practice other than in North America)*

| System highest voltage kV r m s | Insulation level | | | |
|------------------------------------|----------------------|------------|------------------------------|------------|
| | Impulse test voltage | | Power-frequency test voltage | |
| | Standard 1 | Standard 2 | Standard 1 | Standard 2 |
| | kV peak | | kV r m s | |
| 3.6 | | 45 | | 16 |
| 7.2 | | 60 | | 22 |
| 12 | | 75 | | 28 |
| 17.5 | | 95 | | 38 |
| 24 | | 125 | | 50 |
| 36 | | 170 | | 70 |
| 52 | | 250 | | 95 |
| 72.5 | | 325 | | 140 |
| 100 | 450 | 380 | 185 | 150 |
| 123 | 550 | 450 | 230 | 185 |
| 145 | 650 | 550 | 275 | 230 |
| 170 | 750 | 650 | 325 | 275 |
| 245 | 1 050 | 900 | 460 | 395 |
| 300 | — | 1 050 | — | 460 |
| 420 | — | 1 425 | — | 630 |

Série II (basée sur la pratique courante en Amérique du Nord)

| Tension la plus élevée du réseau kV eff | Niveau d isolement | |
|--|--|---|
| | Tension d'essai de tenue au choc kV crête | Tension d'essai de tenue à fréquence industrielle kV eff |
| | 500 kVA et au-dessous | Plus de 500 kVA |
| 2,75 | 45 | 60 |
| 5,5 | 60 | 75 |
| 9,52 | 75 | 95 |
| 15,5 | 95 | 110 |
| 25,8 | 150 | 50 |
| 38,0 | 200 | 70 |
| 48,3 | 250 | 95 |
| 72,5 | 350 | 140 |

Au dessus de 72,5 les valeurs de série I (ci-dessus) sont applicables

Notes applicables à la série II

- 1 — Ces valeurs ne sont applicables qu'à l'isolement intérieur des transformateurs immergés dans l'huile
- 2 — Les transformateurs monophasés pour tension la plus élevée du réseau entre bornes inférieure ou égale à 9,52 kV sont établis pour les connexions étoile et triangle et sont isolés pour la tension d'essai correspondant à la connexion étoile. Les tensions d'essai de ces transformateurs quand ils sont couplés en triangle, sont par conséquent d'un échelon plus élevé que celles correspondant à la tension la plus élevée du réseau

21 Enroulements à isolation graduée

Lorsque des enroulements à isolation graduée sont demandés par l'acheteur, le choix doit correspondre à l'une des catégories indiquées dans le tableau IX. Les tensions d'essai par tension appliquée étant celles énumérées dans le tableau X

TABLEAU IX

Catégories d'isolation graduées

| Catégorie | Conditions admises de mise à la terre |
|-----------|--|
| 1 | Extrémité neutre de l'enroulement mise directement à la terre par une connexion dans laquelle il n'a pas été inséré intentionnellement d'impédance <i>Note</i> — La mise à la terre par l'intermédiaire d'un transformateur de courant est considérée comme remplissant cette condition |
| 2 | Extrémité neutre de l'enroulement reliée à un transformateur de réglage dont le neutre est ou non mis à la terre, et est munie d'un dispositif approprié de limitation de surtensions |
| 3 | Point neutre de l'enroulement non mis à la terre ou mis à la terre par l'intermédiaire d'une impédance ou d'une résistance, avec un dispositif approprié de limitation de surtensions branché entre le point neutre de l'enroulement et la terre |
| 4 | Point neutre de l'enroulement mis à la terre par l'intermédiaire d'une bobine d'extinction avec un dispositif approprié de limitation de surtensions branché entre le point neutre de l'enroulement et la terre |

Series II (based on current practice in North America)

| System highest voltage kV 1 m s | Insulation level | |
|------------------------------------|---------------------------------|--|
| | Impulse test voltage kV peak | Power-frequency test voltage kV 1 m s |
| 2.75 | 500 kVA and below 45 | Above 500 kVA 60 |
| 5.5 | 60 | 75 |
| 9.52 | 75 | 95 |
| 15.5 | 95 | 110 |
| 25.8 | 150 | 50 |
| 38.0 | 200 | 70 |
| 48.3 | 250 | 95 |
| 72.5 | 350 | 140 |

Above 72.5 the values of Series I (above) are applicable

Notes applicable to Series II

- 1 — These values are only applicable to the internal insulation of oil immersed transformers
- 2 — Single phase transformers for system highest voltages between terminals of 9.52 kV and below are designed for both star and delta connection and are insulated for the test voltage corresponding to the star connection. The test voltages for such transformers when operated delta connected are therefore one step higher than needed for their system highest voltage

21 Windings with graded insulation

When windings are specified by the purchaser to have graded insulation, the grading shall correspond to one of the categories given in Table IX, the corresponding separate-source test voltages being those listed in Table X

TABLE IX
Categories of graded insulation

| Category | Recognized conditions of earthing |
|----------|--|
| 1 | Neutral end of winding solidly connected to earth through a connection where no impedance has been added intentionally <i>Note</i> — Connection to earth through a current transformer is deemed to meet this condition |
| 2 | Neutral end of winding connected to a regulating transformer of which the neutral is or is not connected to earth and is provided with an appropriate voltage-limiting device |
| 3 | Neutral point of winding not connected to earth or connected to earth through an impedance or a resistance, with an appropriate voltage-limiting device connected between the neutral point of the winding and earth |
| 4 | Neutral point of winding connected to earth through an arc-suppression coil with a suitable voltage-limiting device between the neutral point of the winding and earth |

TABLEAU X

Niveaux d'isolement pour l'extrémité neutre des enroulements de transformateurs à isolation graduée (pour tension la plus élevée du réseau égale ou supérieure à 72,5 kV)

| Isolement par rapport à la terre | Tension appliquée à fréquence industrielle kV eff |
|----------------------------------|---|
| Catégorie 1 | 38 |
| Catégorie 2 | $\text{ENR} + (\text{ELT} - \text{ENR}) \times \frac{\text{Tension additionnelle due au transformateur régulateur}}{\text{Tension nominale de l'enroulement du transformateur}}$ Avec minimum de 38 kV ENR: tension d'essai pour le point neutre du transformateur régulateur ELT: tension d'essai pour l'extrémité côté ligne de l'enroulement du transformateur |
| Catégorie 3 | 36 à 65% de la tension d'essai pour l'extrémité côté ligne, déterminée conformément aux caractéristiques des appareils et du réseau |
| Catégorie 4 | 58 à 65% de la tension d'essai pour l'extrémité côté ligne |

Note — Lorsqu'on choisit la catégorie d'isolement du neutre, on doit tenir compte de la possibilité d'une modification à un stade ultérieur de la mise à la terre du neutre ou du déplacement du transformateur

22 Transformateurs utilisés à des altitudes élevées

Lorsque des transformateurs du type sec sont spécialement commandés pour fonctionner à des altitudes comprises entre 1 000 m (3 300 ft) et 3 000 m (10 000 ft) au-dessus du niveau de la mer, mais dont les essais sont effectués aux altitudes normales, la tension d'essai par tension appliquée doit être augmentée de 6,25% pour chaque tranche de 500 m (1 650 ft) au-dessus de 1 000 m (3 300 ft)

Note — Pour les traversées de transformateurs immergés dans l'huile, il peut être nécessaire de choisir une traversée correspondant au niveau d'isolement supérieur à celui de l'enroulement

TABLE X

*Insulation levels for the neutral ends of windings of transformers having graded insulation
(for system highest voltages of 72.5 kV and above)*

| Insulation to earth | Separate source power-frequency test voltage kV 1 m s |
|---------------------|---|
| Category 1 | 38 |
| Category 2 | $\text{ENR} + (\text{ELT} - \text{ENR}) \times \frac{\text{Additional voltage due to regulating transformer}}{\text{Rated voltage of transformer winding}}$ <p>With a minimum of 38 kV</p> <p>Where ENR = test voltage of neutral point of regulating transformer and ELT = test voltage of line end of transformer winding</p> |
| Category 3 | 36 to 65% of the test voltage of the line end, determined according to the characteristics of the apparatus and the system |
| Category 4 | 58 to 65% of the test voltage of the line end |

Note — When choosing the category of neutral insulation, the possibility that the neutral earthing may be altered at a later stage, or that transformers may be interchanged, should be considered

22 Transformers for use at high altitudes

When dry-type transformers are specially ordered for operation at altitudes between 1 000 m (3 300 ft) and 3 000 m (10 000 ft) above sea level, but tested at normal altitudes, the separate-source power-frequency test voltage shall be increased by 6.25% for each 500 m (1 650 ft) by which the altitude of the installation exceeds 1 000 m (3 300 ft)

Note — For the bushings of oil-immersed transformers, it may be necessary to select a type designed for an insulation level higher than the level corresponding to the winding

SECTION HUIT — TENUE DES TRANSFORMATEURS AU COURT-CIRCUIT

23 Généralités

Les transformateurs doivent être conçus et construits pour résister sans dommage aux effets des courts-circuits extérieurs, dans les conditions spécifiées aux articles 24 à 29

24 Conditions de surintensité

Les surintensités pouvant circuler dans un enroulement dans les conditions de court-circuit doivent être déterminées comme suit

- a) Pour les transformateurs à deux enroulements, à moins qu'il n'en soit spécifié autrement, ne pas dépasser les valeurs indiquées au tableau XI

TABLEAU XI
Sursintensités limites pour les transformateurs à deux enroulements

| Puissance nominale kVA | Limite supérieure de la surintensité (valeur efficace symétrique) exprimée en multiple du courant nominal | Impédance équivalente % |
|---------------------------|---|----------------------------|
| Jusqu'à 630 | 25 | 4,0 |
| 631 à 1 250 | 20 | 5,0 |
| 1 251 à 3 150 | 16 | 6,25 |
| 3 151 à 6 300 | 14 | 7,15 |
| 6 301 à 12 500 | 12 | 8,35 |
| 12 501 à 25 000 | 10 | 10,0 |
| 25 001 à 100 000 | 8 | 12,5 |

Notes 1 — Pour les puissances nominales supérieures à 100 000 kVA, les limites supérieures des surintensités font l'objet d'un accord entre le constructeur et l'acheteur

- 2 — Dans le cas d'unités monophasées connectées de façon à former un groupe triphasé, la valeur de la puissance nominale s'applique au groupe triphasé
- 3 — La valeur de l'impédance équivalente comprend l'impédance du réseau, combinée à celle du transformateur
- 4 — Si l'impédance de court circuit du transformateur est plus élevée que l'impédance équivalente mentionnée dans la troisième colonne, la surintensité est limitée par l'impédance propre du transformateur

- b) Pour les transformateurs à plus de deux enroulements, en considérant séparément chacun des enroulements et en supposant qu'un ou plusieurs autres enroulements destinés à être reliés à une source extérieure de puissance sont alimentés. Il doit être tenu compte des effets des alimentations en retour possibles provenant de machines tournantes ou d'autres transformateurs. Pour les enroulements auxiliaires, voir article 30

- c) Pour les auto-transformateurs et les transformateurs sui-volteurs-dévolteurs, en considérant les différentes sortes de défauts du réseau pouvant survenir en service, par exemple entre phase et terre et entre phases, associées aux conditions correspondantes de mise à la terre du réseau

Note — Les auto transformateurs et les transformateurs sui-volteurs-dévolteurs peuvent être soumis à des conditions de surintensités extrêmement sévères

- d) Pour les enroulements de stabilisation, pour la valeur maximale du courant circulant dans l'enroulement de stabilisation, en considérant les différentes formes de défaut du réseau pouvant survenir en service, associées aux conditions correspondantes de mise à la terre du réseau

SECTION EIGHT — ABILITY TO WITHSTAND SHORT CIRCUIT

23 General

The transformer shall be designed and constructed to withstand, without damage, the effects of external short circuit under the conditions specified in Clauses 24 to 29

24 Overcurrent conditions

The respective overcurrents that can flow in a winding under short-circuit conditions shall

- a) For transformers with two windings, unless otherwise specified by the purchaser, have not more than the values given in Table XI

TABLE XI
Overcurrent limits for transformers with two windings

| Rated power kVA | Upper limit of overcurrent (symmetrical r.m.s. value) as a multiple of rated current | Equivalent impedance % |
|--------------------|--|---------------------------|
| Up to 630 | 25 | 4.0 |
| 631 — 1 250 | 20 | 5.0 |
| 1 251 — 3 150 | 16 | 6.25 |
| 3 151 — 6 300 | 14 | 7.15 |
| 6 301 — 12 500 | 12 | 8.35 |
| 12 501 — 25 000 | 10 | 10.0 |
| 25 001 — 100 000 | 8 | 12.5 |

Notes 1 — For values of rated power greater than 100 000 kVA, the upper limits of overcurrent are subject to agreement between the manufacturer and the purchaser

- 2 — In the case of single-phase units connected to form a three phase bank, the value for rated power applies to the three phase bank
- 3 — The value of equivalent impedance includes the impedance of the system combined with that of the transformer
- 4 — If the short circuit impedance of the transformer is higher than the equivalent impedance mentioned in the third column, the overcurrent is limited by the transformer impedance itself

- b) For transformers with more than two windings, be determined from separate consideration of each winding, assuming that one or more of the other windings intended for connection to an external source of power are energized. Account shall be taken of the effect of possible feed-back from rotating machinery, or from other transformers. For auxiliary windings, see Clause 30

- c) For auto-transformers and booster transformers, be determined from consideration of the different forms of system fault that can arise in service, e.g. line-to-earth and line-to-line, associated with the relevant system earthing conditions

Note — Auto transformers and booster transformers may be subjected to extremely severe overcurrent conditions

- d) For stabilizing windings, be determined, for the maximum value flowing in the stabilizing winding, from consideration of the different forms of system fault that can arise in service associated with the relevant system earthing conditions

Dans le cas des transformateurs monophasés destinés à être connectés de façon à constituer un groupe triphasé, l'enroulement de stabilisation doit être capable de résister à un court-circuit à ses bornes

Pour les unités couvertes par les points *b)*, *c)* et *d)* ci-dessus, le constructeur doit tenir compte, s'il est nécessaire, des valeurs correspondantes de l'impédance du réseau, y compris, s'il y a lieu, la réactance sub-transitoire de toute machine tournante raccordée, à spécifier dans tous les cas par l'acheteur, et qui doit être combinée avec celle du transformateur, de l'auto-transformateur ou du transformateur survolteur-dévolteur

Quand l'impédance combinée du transformateur, de l'auto-transformateur, du transformateur survolteur-dévolteur et du réseau a pour conséquence une surintensité excessive, le constructeur doit informer l'acheteur de la surintensité maximale que le transformateur peut supporter. Dans ce cas, l'acheteur doit prendre des dispositions pour limiter le courant de court-circuit à la surintensité indiquée par le constructeur

25 Exigences mécaniques

Les transformateurs doivent être capables de résister sans dommage, sur n'importe quelle prise et dans les conditions de service, aux efforts électromagnétiques prenant naissance en cas de court-circuit et déterminés à partir de la valeur de crête asymétrique du courant dans les enroulements, qui ne doit pas être prise supérieure à $2,55 = (1,8 \times \sqrt{2})$ fois la surintensité (valeur efficace) déterminée d'après les conditions appropriées spécifiées à l'article 24

Note — Dans le cas des transformateurs où la valeur de la résistance est importante par rapport à celle de la réactance, une valeur inférieure à 2,55 peut être plus proche de la réalité

26 Exigences thermiques

Les transformateurs doivent être capables de résister sans dommage, sur n'importe quelle prise et dans les conditions de service, aux effets thermiques d'un court-circuit aux bornes de n'importe quel enroulement pendant les durées suivantes

- a) 2 secondes si la valeur efficace symétrique du courant de court-circuit est supérieure à vingt fois le courant nominal
- b) 3 secondes si la valeur efficace symétrique du courant de court-circuit est inférieure ou égale à vingt fois le courant nominal

Pour les transformateurs à plus de deux enroulements, la durée admissible est celle qui correspond à la surintensité maximale associée à chaque enroulement

La température moyenne la plus élevée T_1 atteinte par l'enroulement devra être calculée d'après la formule:

$$T_1 = T_0 + aJ^2s \times 10^{-3} \quad ^\circ\text{C}$$

dans laquelle

T_0 est la température initiale, en degrés Celsius

J est la densité de courant de court-circuit, en ampères par millimètre carré

s est la durée, en secondes

a est une fonction de $\frac{1}{2}(T_2 + T_0)$, conformément au tableau XIII, T_2 où est la température moyenne maximale admissible de l'enroulement en degrés Celsius indiquée dans le tableau XI

La température initiale T_0 sera égale à la somme de la température maximale appropriée du fluide de refroidissement (spécifié à l'article 2 *b)*) et de l'échauffement approprié, mesuré par variation de résistance, spécifié à la section six. Par exemple, pour un transformateur immergé dans l'huile, $T_0 = (40 + 65) ^\circ\text{C} = 105 ^\circ\text{C}$

La température moyenne la plus élevée T_1 , calculée comme indiqué plus haut, ne doit pas dépasser la valeur maximale admissible appropriée de T_2 , spécifiée au tableau XII

In the case of single-phase transformers for connection to form a three-phase bank, the stabilizing winding shall be capable of withstanding a short-circuit at its terminals

For units covered by *b)*, *c)* and *d)* above, allowance if necessary shall be made by the manufacturer for relevant values of system impedance, including, where applicable, the sub-transient reactance of any connected rotating machines, to be specified in all cases by the purchaser, combined with that of the transformer, auto-transformer or booster transformer

When the combined impedance of the transformer, auto-transformer or booster transformer and system results in an excessive overcurrent, the manufacturer shall advise the purchaser of the maximum overcurrent that the transformer can withstand. In this case, provision shall be made by the purchaser to limit the short-circuit current to the overcurrent indicated by the manufacturer

25 Mechanical requirements

The transformer shall be capable of withstanding, on any tapping, without damage under service conditions, the electromagnetic forces arising under short-circuit conditions, as determined from the asymmetrical peak value of the current in the windings, which shall be taken as not greater than $2.55 = (1.8 \times \sqrt{2})$ times the overcurrent *i* m s value derived for the appropriate conditions specified in Clause 24

Note — In the case of a transformer where the value of resistance relative to that of reactance is significant, a figure lower than 2.55 may be more realistic

26 Thermal requirements

The transformer shall be capable of withstanding, on any tapping, without damage under service conditions, the thermal effects of a short circuit at the terminals of any winding, for the following duration

- a) 2 seconds if the symmetrical *i* m s short-circuit current is greater than twenty times rated current
- b) 3 seconds if the symmetrical *i* m s short-circuit current is twenty times rated current, or less

For transformers with more than two windings, the permitted duration shall be that appropriate to the maximum overcurrent associated with any winding

The highest average temperature T_1 attained by the winding shall be calculated by the formula

$$T_1 = T_0 + aJ^2s \times 10^{-3} \quad ^\circ\text{C}$$

where

T_0 is the initial temperature, in degrees Celsius

J is the short-circuit current density, in amperes per square millimetre

s is the duration, in seconds

a is a function of $\frac{1}{2}(T_2 + T_0)$, in accordance with Table XIII, where

T_2 is the maximum permissible average winding temperature, in degrees Celsius, as specified in Table XII

The initial winding temperature T_0 shall be the sum of the appropriate maximum temperature of the cooling medium (see Clause 2 *b)*) and the relevant temperature rise, measured by change in resistance, specified in Section Six. For example, for an oil-immersed transformer with natural cooling and natural oil circulation, $T_0 = (40 + 65) ^\circ\text{C} = 105 ^\circ\text{C}$

The highest average temperature T_1 , calculated as described above, shall not exceed the appropriate maximum permissible value of T_2 , as specified in Table XII

TABLEAU XII
Températures moyennes maximales admissibles de l'enroulement (T_2)

| Classe de température | Valeur de T_2 | |
|--|------------------------|---------------------------|
| | Enroulements en cuivre | Enroulements en aluminium |
| <i>Transformateurs du type sec</i> | °C | °C |
| A | 180 | 180 |
| E | 250 | 200 |
| B | 350 | 200 |
| F et H | 350 | — |
| <i>Transformateurs immergés dans l'huile</i> | | |
| A | 250 | 200 |

TABLEAU XIII
Valeurs du facteur « a »

| $1/2 (T_2 + T_0)$ °C | $a =$ fonction de $1/2 (T_2 + T_0)$ °C | |
|----------------------|--|---------------------------|
| | Enroulements en cuivre | Enroulements en aluminium |
| 140 | 7,41 | 16,5 |
| 160 | 7,80 | 17,4 |
| 180 | 8,20 | 18,3 |
| 200 | 8,59 | — |
| 220 | 8,99 | — |
| 240 | 9,38 | — |

27 Transformateurs associés directement à d'autres appareils

Lorsqu'un transformateur est associé directement à d'autres appareils, dont l'impédance aurait pour effet de limiter le courant de court-circuit, l'impédance de ces appareils directement associés peut, par accord entre le constructeur et l'acheteur, être combinée avec celle du transformateur (et s'il y a lieu, avec celle du réseau). Dans de tels cas, les exigences des articles 25 et 26 doivent s'appliquer au courant de court-circuit résultant de cette combinaison.

28 Transformateurs spéciaux

L'aptitude d'un transformateur à résister à de fréquents courts-circuits à ses bornes, du fait de son mode d'utilisation ou d'une application spéciale (par exemple les transformateurs pour fours) doit faire l'objet d'un accord particulier entre le constructeur et l'acheteur.

29 Essais de court-circuit

Des essais de court-circuit ne sont pas inclus en tant qu'exigence normale dans la présente recommandation. Toute vérification demandée de l'aptitude du transformateur à résister aux contraintes mécaniques prenant naissance dans les conditions de court-circuit doit faire l'objet d'un accord spécial entre le constructeur et l'acheteur.

30 Enroulements auxiliaires

Les enroulements auxiliaires peuvent être incapables de supporter un court-circuit à leurs bornes, on suppose que ces enroulements sont protégés contre les courts-circuits par une impédance reliée en série à l'extérieur ou par des coupe-circuits extérieurs appropriés.

TABLE XII
Maximum permissible average winding temperatures (T_2)

| Class of temperature | Value of T_2 | |
|---------------------------------------|-----------------|--------------------|
| | Copper windings | Aluminium windings |
| <i>Dry type transformers</i> | °C | °C |
| A | 180 | 180 |
| E | 250 | 200 |
| B | 350 | 200 |
| F and H | 350 | — |
| <i>Oil immersed type transformers</i> | | |
| A | 250 | 200 |

TABLE XIII
Values of factor "a"

| $1/2 (T_2 + T_0)$ °C | $a = \text{function of } 1/2 (T_2 + T_0)$ °C | |
|----------------------|--|--------------------|
| | Copper windings | Aluminium windings |
| 140 | 7.41 | 16.5 |
| 160 | 7.80 | 17.4 |
| 180 | 8.20 | 18.3 |
| 200 | 8.59 | — |
| 220 | 8.99 | — |
| 240 | 9.38 | — |

27 Transformers directly associated with other apparatus

Where a transformer is directly associated with other apparatus, the impedance of which would limit the current under short-circuit conditions, the impedance of the directly associated apparatus may, by agreement between the manufacturer and the purchaser, be combined with that of the transformer (plus, if necessary, that of the system). In such cases, the requirements of Clauses 25 and 26 shall apply to the short-circuit current derived from the combination.

28 Special transformers

The ability of a transformer to withstand frequent short circuits at its terminals, arising from the method of operation or particular application (e.g. a furnace transformer), shall be the subject of special agreement between the manufacturer and the purchaser.

29 Short-circuit tests

Short-circuit tests are not included as a standard requirement of this Recommendation. Any verification required as to the ability of the transformer to withstand the mechanical stresses arising under short-circuit conditions shall be the subject of special agreement between the manufacturer and the purchaser.

30 Auxiliary windings

Auxiliary windings may not be capable of withstanding a short circuit at their terminals and it is assumed that such windings will be protected against short circuits by externally connected series impedance or suitable externally connected fuses.

SECTION NEUF — PLAQUES SIGNALÉTIQUES

31 Plaques signalétiques

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

- a) Type du transformateur (par exemple transformateur, auto-transformateur, transformateur suit-volteur-dévolteur, transformateur régulateur, etc)
- b) Numéro et année de la spécification (par exemple CEI 76 - 1967)
- c) Nom du constructeur
- d) Numéro de série attribué par le constructeur
- e) Année de fabrication
- f) Nombre de phases
- g) Puissance nominale
- 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
- m) Mode de refroidissement

Si le transformateur a plus d'un régime nominal selon les modes de refroidissement ou couplages d'enroulements dont sa construction tient compte explicitement, les régimes nominaux supplémentaires doivent être tous indiqués sur la plaque signalétique

On doit en outre donner les indications suivantes pour certains types de transformateurs:

- n) Classe de température pour les transformateurs du type sec, et échauffement s'il diffère des valeurs normales
- o) Schéma de connexions (dans le cas où les symboles de couplage ne donnent pas d'indication complète en ce qui concerne les connexions intérieures)
- p) Niveaux d'isolement (s'applique aux enroulements de tension nominale égale ou supérieure à 3 kV et à l'extrémité neutre de tous les enroulements à isolation graduée)
- q) Masse totale (si elle dépasse 5 tonnes)
- r) Masse pour le transport (pour les transformateurs dont la masse totale dépasse 5 tonnes)
- s) Masse de la partie active (pour les transformateurs dont la masse totale dépasse 5 tonnes)
- t) Masse de l'huile isolante (pour les transformateurs dont la masse totale dépasse 5 tonnes)
- u) Nature du liquide isolant (si ce n'est pas de l'huile minérale)
- v) Détails sur les prises autres que la prise principale
 - 1) Puissance de prise Uniquement si elle diffère de la puissance nominale et dans le cas où l'étendue de réglage dépasse $\pm 5\%$. La prise correspondante doit être indiquée)
 - 2) Valeurs extrêmes des tensions (à vide) des deux côtés (Ces tensions sont les valeurs extrêmes des tensions appropriées définies au paragraphe 14.2. Dans le cas du réglage à flux variable ou mixte — voir articles 11 et 12 et annexe F — les valeurs autres que les tensions nominales sur les enroulements sans prises sont mises entre parenthèses)

SECTION NINE — RATING PLATES

31 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 rating plate shall be indelibly marked (e.g. by etching, engraving or stamping)

- a) Kind of transformer (e.g. transformer, auto-transformer, booster transformer, regulating transformer, etc.)
- b) Number and year of the specification (e.g. IEC 76 - 1967)
- c) Manufacturer's name
- d) Manufacturer's serial number
- e) Year of manufacture
- f) Number of phases
- g) Rated power
- h) Rated frequency
- i) Rated voltages
- j) Rated currents
- k) Vector-group symbol
- l) Impedance voltage at rated current (measured value) and, if necessary, the reference power
- m) Type of cooling

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

In addition, the following information shall be given for certain types of transformers, as indicated

- n) Class of temperature for dry-type transformers, and temperature rise if it is not a normal value
- o) Connection diagram (in cases where the vector-group symbols will not give complete information regarding the internal connections)
- p) Insulation levels (applicable to windings rated for voltages of 3 kV and above and to the neutral end of all graded-insulated windings)
- q) Total mass (if greater than 5 tonnes)
- r) Transportation mass (for transformers exceeding 5 tonnes total mass)
- s) Untanking mass (for transformers exceeding 5 tonnes total mass)
- t) Mass of insulating oil (for transformers exceeding 5 tonnes total mass)
- u) Insulating liquid, if not mineral oil
- v) Details regarding tappings other than the principal tapping:
 - 1) Tapping power (Only if different from the rated power and for a tapping range exceeding $\pm 5\%$. The corresponding tapping should be indicated.)
 - 2) Extreme values of (no-load) voltages on both sides (These voltages are the extreme values of the appropriate voltages mentioned in Sub-clause 14.2. In cases of variable flux or mixed regulation — see Clauses 11 and 12 and Appendix F — the values other than the rated value of voltages at untapped windings are put between parentheses, i.e. round brackets.)

- 3) Courants correspondants
- 4) Tensions de court-circuit correspondantes (Uniquement si l'étendue de réglage dépasse $\pm 5\%$ et si la puissance nominale dépasse 1 000 kVA. Les valeurs sont rapportées aux courants correspondants et exprimées en pourcentage des tensions appropriées correspondantes définies au paragraphe 14.2.)

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

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60076:1967
Withdrawn

- 3) Corresponding currents
- 4) Corresponding impedance voltages (Only if the tapping range exceeds $\pm 5\%$ and the rated power exceeds 1 000 kVA. The values are related to the corresponding currents and expressed as percentages of the corresponding appropriate voltages mentioned in Sub-clause 14.2)

Note — In complicated cases, more detailed information may be given 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.

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60076-1:1967

Withdram

SECTION DIX — DIAGRAMMES VECTORIELS

32 Mode de connexion des enroulements de phase

Le mode de connexion, en étoile, en triangle ou en zigzag, des enroulements de phase d'un transformateur triphasé, ou des enroulements de même tension de transformateurs monophasés formant un groupe triphasé, sera indiqué par les lettres Y, D, ou Z pour les enroulements à haute tension et y, d ou z pour les enroulements à tension intermédiaire ou à basse tension. Si le point neutre des enroulements en étoile ou en zigzag est sorti, l'indication sera YN ou ZN et yn ou zn respectivement.

33 Déphasage entre enroulements

On prend pour vecteur origine celui qui correspond à la haute tension. La figure 1, page 94, donne des exemples de diagrammes vectoriels qui indiquent l'emploi de l'indice horaire de couplage (voir paragraphe 4.10.6).

Dans le cas des transformateurs à plus de 2 enroulements, le vecteur correspondant à la plus haute tension reste le vecteur de référence et le symbole relatif à cet enroulement est donné en premier lieu. Les autres symboles se suivent dans l'ordre décroissant des tensions nominales des enroulements.

Notes 1 — L'annexe D donne des indications détaillées sur un certain nombre de couplages d'emploi général, mais elle ne doit pas être considérée comme complète.

2 — L'annexe E donne des indications sur le fonctionnement en parallèle des transformateurs.

Exemple 1 Dans le cas d'un transformateur ayant trois enroulements respectivement pour 150 000 V (triangle), 60 000 V (étoile) et 10 000 V (étoile), le couplage (dans l'hypothèse où les tensions des deux enroulements en étoile sont en phase entre elles et en retard de 30° sur celle de l'enroulement triangle) sera désigné par

D, y₁, y₁

Exemple 2 Dans le cas d'un autre transformateur ayant trois enroulements respectivement pour 6 000 V (étoile), 380 V (étoile) et 220 V (zigzag), le couplage (si les tensions des deux enroulements en étoile sont en phase entre elles et si celle de l'enroulement en zigzag est en retard de 30° sur les précédentes) sera désigné par

Y, y₀, z₁

SECTION TEN — VECTOR DIAGRAMS

32 Connections of phase-windings

The star, delta, or zigzag connection of a set of phase-windings of a three-phase transformer or of windings of the same voltage of single-phase transformers associated in a three-phase bank shall be indicated by the letters Y, D or Z for the high-voltage winding and y, d or z for the intermediate and low-voltage windings. If the neutral of a star or a zigzag connected winding is brought out, the indication shall be YN or ZN, and yn or zn respectively.

33 Phase displacement between sets of windings

The vector relating to the high-voltage winding is taken as the vector of origin. Examples of vector diagrams showing the use of the clock-hour figure (see Sub-clause 4.10.6) are given in Figure 1, page 94.

For multi-winding transformers, the vector for the winding for the highest rated voltage remains the reference vector and the symbol for this winding is given first. Other symbols follow in diminishing sequence of the rated voltages of the windings.

Notes 1 — Appendix D gives details of a number of connections that are in general use, but it does not purport to be complete.

2 — Appendix E gives information about the operation of transformers in parallel.

Example 1 In the case of a transformer with three sets of windings respectively for 150 000 V (delta), 60 000 V (star) and 10 000 V (star), the designation (for the case where the two star voltages are in phase with one another and lag by 30° on the delta voltage) would be:

D, y₁, y₁

Example 2 In the case of another transformer with three sets of windings respectively for 6 000 V (star), 380 V (star) and 220 V (zig-zag), the designation (for the case where the two star voltages are in phase with one another and the zigzag voltage lags by 30°) would be:

Y, y₀, z₁

SECTION ONZE — TOLÉRANCES

34 Tolérances

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

TABLEAU XIV

Tolérances

| Articles | Tolérance |
|--|---|
| 1 a) Pertes totales b) Pertes partielles | $+ \frac{1}{10}$ des pertes totales $+ \frac{1}{7}$ de chacune des pertes partielles à condition de ne pas dépasser la tolérance sur le total des pertes |
| 2 Rapport de transformation à vide pour la prise principale (Rapport de transformation nominal) <i>Note</i> — 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: $\pm \frac{1}{200}$ du rapport spécifié, ou un pourcentage du rapport spécifié égal à $\frac{1}{10}$ de la tension de court-circuit réelle à courant nominal exprimée en pour cent |
| 3 Tension de court-circuit a) Pour la prise principale (tension de court-circuit à courant nominal) i) Transformateur à 2 enroulements ii) Transformateur à plus de 2 enroulements b) Pour des prises autres que la prise principale | $+ \frac{1}{10}$ de la tension de court-circuit spécifiée pour cette prise $\pm \frac{1}{10}$ de la tension de court-circuit spécifiée pour une paire d'enroulements spécifiée $\pm \frac{1}{7}$ 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 $\pm \frac{1}{7}$ de la valeur indiquée pour chacune des prises dont la tension ne diffère pas de plus de $\pm 5\%$ de la tension de la prise principale Pour les autres prises, la tolérance doit faire l'objet d'un accord entre le constructeur et l'acheteur |
| 4 Courant à vide | $+ \frac{3}{10}$ du courant à vide spécifié |

SECTION ELEVEN — TOLERANCES

34 Tolerances

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

TABLE XIV

Tolerances

| Item | Tolerance |
|---|---|
| 1 a) Total losses b) Component losses | $+ \frac{1}{10}$ of the total losses $+ \frac{1}{7}$ 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 tappings should be the subject of agreement between manufacturer and purchaser. | The lowest of the following values: $\pm \frac{1}{200}$ of the declared ratio, or a percentage of the declared ratio equal to $\frac{1}{10}$ of the actual percentage impedance voltage at rated current, whichever is the less. |
| 3 Impedance voltage a) For the principal tapping (impedance voltage at rated current) i) Two winding transformers ii) Multi-winding transformers b) For tappings other than the principal tapping | $\pm \frac{1}{10}$ of the declared impedance voltage for that tapping $\pm \frac{1}{10}$ of the declared impedance voltage for one specified pair of windings $\pm \frac{1}{7}$ of the declared impedance for a second specified pair of windings Tolerance to be agreed and stated for further pairs of windings $\pm \frac{1}{7}$ of the stated value for each tapping within $\pm 5\%$ of the principal tapping For other tappings, tolerance to be for agreement between manufacturer and purchaser. |
| 4 No-load current | $+ \frac{3}{10}$ of the declared no-load current |

SECTION DOUZE — ESSAIS

35 Conditions générales pour les essais de type, essais individuels et essais spéciaux

Dans la présente section, les titres des articles indiquent s'il s'agit d'essais de type, d'essais individuels, ou d'essais spéciaux

Les essais doivent être effectués dans les ateliers du constructeur, la température ambiante devant être comprise entre 10 °C et 40 °C, et celle de l'eau de refroidissement (s'il y a lieu) ne devant pas dépasser 25 °C

Tous les éléments constitutifs et accessoires extérieurs susceptibles d'influencer le fonctionnement du transformateur 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

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

TABLEAU XV
Températures de référence

| Classe de température | Température de référence |
|-----------------------|--------------------------|
| A E B | 75 °C |
| F H | 115 °C |

36 Mesure de la résistance des enroulements (essai individuel)

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

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 effectue des mesures de résistance à chaud, à la suite d'un essai d'échauffement

36.1 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

36.2 Transformateurs immergés dans l'huile

On laisse le transformateur dans l'huile sans alimentation pendant au moins 3 heures, 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

SECTION TWELVE — TESTS

35 General requirements for type, routine and special tests

In this section, the titles of clauses indicate which tests are type tests, routine tests and special tests

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

All external components and fittings that are likely to affect the performance of the transformer 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 purchaser agree otherwise

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

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

TABLE XV
Reference temperatures

| Class of temperature | Reference temperature |
|----------------------|-----------------------|
| A E B | 75 °C |
| F H | 115 °C |

36 Measurement of winding resistance (routine test)

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

In all resistance measurements care shall be taken that self-inductive effects 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

36.1 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

36.2 Oil-immersed type transformers

After the transformer has been under oil without excitation for at least 3 hours, 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

37 Mesure du rapport de transformation et contrôle de la polarité ou du symbole de 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.

38 Mesure des tensions de court-circuit (essai individuel)

On mesure la tension de court-circuit à la fréquence nominale en utilisant une source de tension pratiquement sinusoïdale, les enroulements étant connectés sur les prises principales. La mesure peut être effectuée avec un courant quelconque, compris entre 25 % et 100 % de la valeur nominale. On doit corriger la valeur obtenue à l'essai en la multipliant par le rapport du courant nominal utilisé pour l'essai. La valeur ainsi obtenue doit être ramenée à la température de référence appropriée indiquée dans le tableau XV.

La mesure des tensions de court-circuit pour des connexions sur d'autres prises que les prises principales (voir paragraphe 14.4) doit être rapportée à la valeur appropriée du courant.

Sur les transformateurs à trois enroulements, la tension de court-circuit doit être mesurée entre les enroulements pris par paires

| | |
|--|--|
| entre l'enroulement 1 et l'enroulement 2 | } l'autre enroulement étant à circuit ouvert |
| entre l'enroulement 2 et l'enroulement 3 | |
| entre l'enroulement 3 et l'enroulement 1 | |

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.

39 Mesure des pertes dues à la charge (essai individuel)

On mesure les pertes dues à la charge à la fréquence nominale, les enroulements étant connectés sur les prises principales. La mesure peut être effectuée avec un courant quelconque, compris entre 25 % et 100 % de la valeur nominale. On doit corriger la valeur obtenue à l'essai en la multipliant par le carré du rapport du courant nominal au courant utilisé pour l'essai. Les pertes ainsi obtenues doivent être ramenées à la température de référence appropriée indiquée au tableau XV, en considérant que les pertes Joule RI^2 (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 de l'article 36.

La mesure des pertes dues à la charge pour des connexions sur d'autres prises que les prises principales (voir paragraphe 14.4) se rapporte à la valeur appropriée du courant.

Sur les transformateurs à trois enroulements, les pertes dues à la charge doivent être mesurées entre les enroulements pris par paires

| | |
|--|--|
| entre l'enroulement 1 et l'enroulement 2 | } l'autre enroulement étant à circuit ouvert |
| entre l'enroulement 2 et l'enroulement 3 | |
| entre l'enroulement 3 et l'enroulement 1 | |

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 peuvent être négligées par rapport aux pertes dues à la charge, il y a lieu de tenir compte de ces pertes.

40 Mesure des pertes et du courant à vide (essai individuel)

On mesure les pertes à vide et le courant à vide à la tension nominale et à la fréquence nominale en utilisant une source de tension pratiquement sinusoïdale. La tension doit être appliquée aux bornes de l'un des enroulements, le ou les autres enroulements étant laissés à circuit ouvert. Les enroulements en triangle ouvert doivent être fermés pendant l'essai.

37 Voltage ratio measurement and check of polarity or vector-group symbol (routine test)

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

38 Measurement of impedance voltages (routine test)

The impedance voltage shall be measured at rated frequency, using an approximately sinusoidal supply, the windings being connected on the principal tapplings. The measurement may be made at any current between 25% and 100% of the rated current. The measured value shall be corrected by increasing it in the ratio of rated current to test current. The value so derived shall be corrected to the appropriate reference temperature shown in Table XV.

The measurement of impedance voltages for connection on certain tapplings other than the principal tapplings (see Sub-clause 14.4) shall be related to the appropriate value of current instead of the rated current.

On three-winding transformers the impedance voltage shall be measured between windings taken in pairs

| | |
|---------------------------------|--|
| between winding 1 and winding 2 | } the other winding being open-circuited |
| between winding 2 and winding 3 | |
| between winding 3 and winding 1 | |

For transformers with more than three windings, the windings shall be taken in pairs and the principle of the method specified for three-winding transformers shall be followed.

39 Measurement of load loss (routine test)

The load loss shall be measured at rated frequency with the windings connected on the principal tapplings. The measurement may be made at any current between 25% and 100% of the rated current. The measured value shall be corrected by multiplying it by the square of the ratio of rated current to test current. The value so derived shall be corrected to the appropriate reference temperature as given in Table XV, taking the I^2R loss ($R = \text{d.c. resistance}$) as varying directly with resistance and all other losses as varying inversely with resistance. The resistance shall be determined as specified in Clause 36.

The measurement of load loss for connection on certain tapplings other than the principal tapplings (see Sub-clause 14.4) shall be related to the appropriate value of current instead of the rated current.

On three-winding transformers the load losses shall be measured between windings taken in pairs

| | |
|---------------------------------|--|
| between winding 1 and winding 2 | } the other winding being open-circuited |
| between winding 2 and winding 3 | |
| between winding 3 and winding 1 | |

For transformers with more than three windings, the windings shall be taken in pairs and the principle of the method specified for three-winding transformers shall be followed.

Note — The resistance of the test connections should be sufficiently low not to affect the measurement. If it is impracticable to employ connections in which the loss can be neglected in relation to the load loss of the transformer, allowance should be made for such losses.

40 Measurement of no-load loss and current (routine test)

The no-load loss and the no-load current shall be measured at rated voltage and rated frequency, the wave-form of the applied voltage being approximately sinusoidal. The voltage shall be applied to the terminals of one of the windings and the other winding(s) shall be left open-circuited. Windings in open-delta connection shall be closed during the measurement.

S'il est nécessaire de raccorder une prise autre que la prise principale, la tension appliquée doit être la tension de prise correspondante

Dans le cas des transformateurs triphasés dont aucun enroulement n'est couplé en triangle, la tension appliquée se mesure au moyen d'un voltmètre indiquant la valeur efficace de la tension et l'on doit s'assurer que la tension appliquée entre phases ne contient pas d'harmoniques d'ordre 5 et 7 dont le total dépasse 5% de la valeur efficace de la tension appliquée

Pour tous les transformateurs autres que les transformateurs triphasés sans enroulements couplés en triangle, on mesure la tension appliquée à l'aide d'un voltmètre qui mesure la valeur moyenne de la tension mais est gradué de façon à donner par lecture la valeur efficace d'une tension sinusoïdale ayant la même valeur moyenne

Pour déterminer les pertes à vide sous la tension nominale U lorsque la tension appliquée n'est pas sinusoïdale, on mesure les pertes à vide P_m à la tension nominale U en utilisant un voltmètre indiquant la tension moyenne. Au cours du même essai, on mesure également la valeur efficace U_m de la même tension

Les pertes à vide avec une tension sinusoïdale sont alors données par 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 $k = \left(\frac{U_m}{U}\right)^2$

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

| | P_1 | P_2 |
|----------------------|-------|-------|
| Tôle laminée à froid | 0,5 | 0,5 |
| Tôle laminée à chaud | 0,7 | 0,3 |

41 Essais d'échauffement (essai de type)

41.1 Mesure de la température de l'air de refroidissement

La température de l'air de refroidissement doit être mesurée à l'aide de plusieurs thermomètres (au moins trois) répartis en différents points autour du transformateur à mi-hauteur environ de la surface de refroidissement

Les thermomètres doivent être disposés à une distance de 1 à 2 m (3 à 6 ft) de la surface de refroidissement et être protégés contre les courants d'air et contre tout rayonnement de chaleur

Dans le cas de refroidissement par ventilation forcée, la température de l'air doit être prise à l'entrée du réfrigérant

La valeur à adopter pour la température de l'air de refroidissement pendant un essai sera la moyenne des lectures faites sur ces thermomètres à intervalles de temps égaux pendant le dernier quart de la durée de l'essai

On doit prendre des dispositions pour éviter les erreurs pouvant résulter de la lenteur avec laquelle la température des grands transformateurs suit les variations de la température de l'air de refroidissement

Par exemple, les thermomètres mesurant la température de l'air de refroidissement peuvent être disposés dans des récipients en métal remplis d'huile et ayant à peu près la même constante de temps que le transformateur

If it is necessary to connect a tapping other than the principal tapping, the applied voltage shall be the appropriate tapping voltage

For three-phase transformers without a delta-connected winding, the applied voltage shall be measured by a voltmeter responsive to the r m s value of the voltage wave, and it shall be ascertained that the wave-form of the line-to-line applied voltage does not contain fifth and seventh harmonics, amounting in total to more than 5% of the r m s value of the applied voltage

For all transformers, other than three-phase transformers without a delta-connected winding, the applied voltage shall be measured using a voltmeter responsive to the mean value of the voltage but scaled to read the r m s value of a sinusoidal wave having the same mean value

To determine the no-load losses at voltage U when the applied voltage is not sinusoidal, the no-load losses P_m are measured at voltage U using a voltmeter indicating mean volts. During the same test, the r m s value U_m of the same voltage is also measured

The no-load losses with sinusoidal voltage are then given by the formula

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

where P_1 = ratio of hysteresis losses to total iron losses

P_2 = ratio of eddy current losses to total iron losses

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

Note — For flux densities normally used at 50 or 60 Hz the following values should be taken:

| | P_1 | P_2 |
|-------------------|-------|-------|
| Cold-rolled steel | 0.5 | 0.5 |
| Hot-rolled steel | 0.7 | 0.3 |

41 Test of temperature rise (type test)

41.1 Measurement of temperature of cooling air

The cooling-air temperature shall be measured by means of several thermometers (at least three) placed at different points around the transformer and at a level approximately half-way up the cooling surface

The thermometers shall be arranged at a distance of 1 to 2 m (3 to 6 ft) from the cooling surface and they shall be protected from draughts and abnormal heat radiation

When the transformer has forced-air cooling, the temperature of the air shall be taken at the intake to the cooler

The value to be adopted for the temperature of the cooling air for a test is the average of the readings taken on these thermometers at equal intervals of time during the last quarter of the test period

Precautions shall be taken to avoid errors due to the time lag between variations in the temperature of large transformers and that of the cooling air

For instance, the thermometers measuring the temperature of the cooling air may be inserted in metal cups filled with oil, having about the same time constant as the transformer

41 2 *Mesure de la température de l'eau de refroidissement*

La température de l'eau de refroidissement doit être mesurée à l'entrée du réfrigérant. On prend pour température la moyenne d'au moins trois lectures faites à intervalles approximativement égaux d'une heure au plus. Les lectures doivent être faites au cours du dernier quart de la durée de l'essai.

41 3 *Mesure de la température des enroulements*

La température des enroulements se détermine en principe par la méthode de variation de résistance.

La température d'un enroulement (T_2) à la fin d'un essai se calcule à partir de sa résistance (R_2) mesurée à cette température et de sa résistance (R_1) mesurée à une autre température (T_1) par la formule, valable pour le cuivre et l'aluminium

$$T_2 = \frac{R_2}{R_1} (235 + T_1) - 235$$

où T_1 et T_2 sont mesurés en degrés Celsius.

La résistance se mesure soit après coupure de l'alimentation (compte tenu des corrections indiquées au paragraphe 41 9) soit sans interrompre l'alimentation, par la méthode de superposition qui consiste à injecter dans l'enroulement un courant continu de mesure de faible intensité se superposant à la charge.

Si la méthode de variation de résistance n'est pas applicable (par exemple, dans le cas d'enroulement à faible résistance où la résistance des contacts et des connexions constitue une grande partie de la résistance totale) on emploie, dans la mesure du possible, des thermomètres placés pendant l'essai sur la face externe des enroulements, et on conserve la limite d'échauffement indiquée au tableau.

Les deux méthodes ne doivent pas, en principe, être employées concurremment.

41 4 *Mesure de la température de l'huile à la partie supérieure*

La température de l'huile à la partie supérieure se mesure à l'aide d'un thermomètre placé dans un doigt de gant rempli d'huile. L'échauffement ainsi déterminé ne doit pas dépasser la valeur limite pour l'huile indiquée au tableau VI.

41 5 *Durée de l'essai*

L'essai doit être poursuivi jusqu'à ce que les conditions de l'un des alinéas ci-dessous soient remplies. La méthode à suivre est choisie par le constructeur.

41 5 1 On doit obtenir la certitude que l'échauffement le plus élevé ne dépassera pas la valeur du tableau V ou du tableau VI suivant le cas, même si l'essai devait se poursuivre jusqu'à l'obtention de l'équilibre thermique. On relève les températures où cela est possible au cours du fonctionnement ainsi qu'après mise hors circuit du transformateur. On admet que l'essai soit considéré comme terminé lorsque l'échauffement n'augmente pas de plus de 3 deg C par heure.

La méthode indiquée dans la figure 2, page 95, doit être appliquée pour la détermination de l'échauffement final.

41 5 2 On doit démontrer que l'échauffement de l'huile à la partie supérieure ne varie pas de plus de 1 deg C par heure pendant 4 heures consécutives. Si l'essai est commencé avec un refroidissement réduit ou sans que le système de refroidissement soit en service, on doit le poursuivre pendant un temps suffisant pour être assuré que la température du transformateur baisse lors du rétablissement du refroidissement, afin d'éviter des erreurs dans la mesure de l'échauffement final de l'huile.

41 2 *Measurement of temperature of cooling water*

The cooling water temperature shall be measured at the intake of the cooler and the temperature shall be taken as the average of at least three readings taken at approximately equal intervals not greater than one hour. The readings shall be taken in the last quarter of the test period.

41 3 *Measurement of winding temperature*

The winding temperatures shall in principle be ascertained using the resistance method.

The temperature of a winding (T_2) at the end of a test period shall be calculated from its measured resistance (R_2) at that temperature and its measured resistance (R_1) at some other temperature (T_1) using the formula, valid for copper and aluminium

$$T_2 = \frac{R_2}{R_1} (235 + T_1) - 235$$

where T_1 and T_2 are measured in degrees Celsius

The resistance is measured either after cutting off the supply, having regard to the corrections indicated in Sub-clause 41 9, or without interruption of the supply by means of the superposition method, which consists of injecting into the winding a d.c. measuring current of low value superposed on the load.

If the variation of resistance method is not applicable (for example, in the case of a low-resistance winding where the resistance of the joints and connections constitutes a considerable part of the total resistance) as far as possible use is made of thermometers set up during the test on the external face of the windings and the temperature-rise limit given in the table is retained.

The two methods shall not, in principle, be used concurrently.

41 4 *Measurement of top oil temperature*

The temperature of the top oil shall be measured by a thermometer placed in an oil-filled thermometer pocket. The temperature rise so determined shall not exceed the limiting value for oil given in Table VI.

41 5 *Duration of test*

The test shall be continued until the requirements of one of the sub-clauses below have been met. The method to be followed shall be chosen by the manufacturer.

41 5 1 Evidence shall be obtained that the highest temperature rise will not exceed the value given in Table V or VI, as appropriate, even if the test were continued until thermal equilibrium is reached. Temperatures shall be taken where possible during operation, as well as when the transformer is shut down. The test may be regarded as completed when the temperature rise does not increase by more than 3 deg C in 1 hour.

The method shown in Figure 2, page 95, shall be employed for the determination of the final temperature rise.

41 5 2 It shall be demonstrated that the top oil temperature rise does not vary more than 1 deg C per hour during 4 consecutive hourly readings. If the test is performed initially with reduced cooling or without any cooling, it shall be continued for sufficient time to ensure that the transformer temperature falls when the cooling is restored, in order to prevent errors in the measurement of the final oil temperature rise.

41 6 *Mise en charge de transformateurs du type sec*

La méthode appliquée doit comporter l'excitation du circuit magnétique avec l'induction normale. Le courant d'alimentation I_t utilisé pour l'essai doit être maintenu constant à une valeur aussi voisine que possible de la valeur nominale I_r et au moins égale à 90 % de cette valeur et l'essai poursuivi jusqu'à ce que l'échauffement T_t des enroulements, mesuré par variation de résistance, soit constant.

L'échauffement (par variation de résistance) des enroulements par rapport à la température de l'air de refroidissement, pour les conditions de charge nominale, T_1 , se calcule par la formule

$$T_1 = T_t \left(\frac{I_r}{I_t} \right)^q$$

On prend pour q la valeur suivante

Transformateurs à refroidissement naturel = 1,6

Transformateurs à ventilation forcée = 1,8

41 7 *Mise en charge des transformateurs immergés dans l'huile*

Les essais d'échauffement comprennent les essais suivants:

- Détermination de l'échauffement de l'huile à sa partie supérieure
- Détermination des échauffements des enroulements

41 7 1 *Echauffement de l'huile à sa partie supérieure*

L'échauffement de l'huile à sa partie supérieure doit être déterminé en retranchant de la température de l'huile mesurée à la partie supérieure la température du fluide de refroidissement, le transformateur étant alimenté de telle façon que les pertes soient égales aux pertes totales. La puissance de l'alimentation doit être maintenue constante.

Si l'on ne peut réaliser la valeur exacte des pertes totales (somme des pertes dues à la charge mesurées et ramenées à la température de 75 °C et des pertes à vide mesurées) l'essai pourra être effectué pour une valeur différente des pertes qui ne devra toutefois pas s'écarter de plus de $\pm 20\%$ de la valeur totale mentionnée ci-dessous, on doit alors appliquer à l'échauffement de l'huile déterminé à la partie supérieure le facteur de correction suivant

$$\left(\frac{\text{Pertes totales}}{\text{Pertes réelles au cours de l'essai}} \right)^x$$

La valeur de x est de

0,8 pour la ventilation naturelle

1,0 pour la ventilation forcée

41 7 2 *Echauffement des enroulements*

L'échauffement de chaque enroulement doit être déterminé en retranchant de la température moyenne de l'enroulement, mesurée par la méthode de variation de résistance, la température du milieu refroidissant au cours de l'essai, les enroulements en essai étant traversés par leurs courants nominaux à la fréquence nominale.

41 6 *Loading dry-type transformers*

The method shall be one involving excitation of the core at normal flux density. The input test current I_t shall be held constant at a value as near as possible to the rated value I_r and at least equal to 90% of this value, and the run continued until the temperature rise, T_t , of the windings, measured by resistance, is steady.

The temperature rise (by resistance) of the windings above the temperature of the cooling air, for rated load conditions, T_r , is calculated from the formula

$$T_r = T_t \left(\frac{I_r}{I_t} \right)^q$$

The value of q shall be taken as

AN transformers = 1.6

AF transformers = 1.8

41 7 *Loading oil-immersed type transformers*

Temperature-rise tests include the following

- Determination of top oil temperature rise
- Determination of winding temperature rises

41 7 1 *Top oil temperature rise*

The top oil temperature rise shall be obtained by subtracting the cooling medium test temperature from the measured top oil temperature, the transformer being supplied with the total losses. The input power shall be maintained at a steady value.

If the total losses (taken as the sum of the measured load losses, corrected to 75 °C, and the measured no-load losses) cannot be obtained, different losses, as near as possible to the above losses, but in any case within a range of $\pm 20\%$, shall be supplied and the following correction factor applied to the determined top oil temperature rise:

$$\left(\frac{\text{Total losses}}{\text{Test losses}} \right)^x$$

The value of x is

For natural air circulation 0.8

For forced air circulation 1.0

41 7 2 *Winding temperature rises*

Winding temperature rises shall be obtained on all windings by subtracting the cooling medium test temperature from the average temperature of the windings as measured by resistance, after circulating the rated current at rated frequency in the winding under test.

Si l'on ne peut réaliser exactement les valeurs nominales des courants, il est admis que les essais puissent être effectués à des valeurs différentes, qui ne doivent toutefois pas s'écarter de plus de $\pm 10\%$ des valeurs nominales, on doit alors appliquer à l'échauffement ainsi déterminé des enroulements au-dessus de la température moyenne de l'huile le facteur de correction suivant

$$\left(\frac{\text{Courant nominal}}{\text{Courant pendant l'essai}} \right)^y$$

La valeur de y est de

1,6 pour la circulation naturelle de l'huile

1,8 pour la circulation forcée de l'huile

La température moyenne de l'huile est déterminée en déduisant de la température de l'huile à la partie supérieure la moitié de la chute de température dans le réfrigérant

Pour les cuves munies de tubes de refroidissement ou de radiateurs, cette chute de température sera prise égale à la différence des températures mesurées sur la partie haute et la partie basse d'un tube (ou élément de radiateur) situé le plus près possible du milieu d'un côté de la cuve. Dans le cas d'un réfrigérant séparé à circulation forcée, la chute de température sera la différence des lectures de thermomètres disposés dans des doigts de gants placés dans les tuyaux d'admission et de refoulement des réfrigérants, à proximité de la cuve principale

Il peut être nécessaire de corriger les résultats pour tenir compte des variations de la température moyenne de l'huile pendant les essais ainsi qu'il est indiqué au paragraphe 41 8 3

41 8 Méthodes d'essais

L'une quelconque des méthodes d'essais suivantes peut être utilisée au choix du constructeur

- mise en charge directe,
- méthode d'opposition,
- méthode de court-circuit

41 8 1 Mise en charge directe

La charge nominale est appliquée aux enroulements du transformateur. Aucune correction pour la température moyenne de l'huile n'est à appliquer à l'échauffement des enroulements

41 8 2 Méthode d'opposition

Les courants nominaux et la tension nominale sont appliqués au transformateur en essai. Aucune correction pour la température moyenne de l'huile n'est à appliquer à l'échauffement des enroulements

41 8 3 Méthode de court-circuit

Pour déterminer l'échauffement de l'huile, un des enroulements étant en court-circuit, on alimente l'autre enroulement (ou l'un des autres) sous une tension telle que les pertes dissipées dans les enroulements en essai soient égales à la somme des pertes à vide, et des pertes dues à la charge, ramenées à 75 °C. On détermine l'échauffement de l'huile à sa partie supérieure et son échauffement moyen

If the rated current cannot be supplied, the tests may be performed with a current within $\pm 10\%$ of the rated current and the following correction factor applied to the determined temperature rise of the windings above average oil temperature

$$\left(\frac{\text{Rated current}}{\text{Test current}} \right)^{\gamma}$$

The value of γ is

For natural oil circulation 1.6

For forced oil circulation 1.8

The average oil temperature may be determined by subtracting half the temperature drop in the cooling equipment from the top oil temperature

For tanks with tubes or radiators mounted on them, the temperature drop shall be taken as the difference between the surface temperatures at the top and bottom of a cooling tube or radiator element, the tube or radiator element chosen being as near as practicable to the middle of a side. In the case of a separate cooler and forced circulation, the temperature drop shall be taken as the difference in readings of thermometers in thermometer pockets adjacent to the main tank in the inlet and outlet pipes to and from the cooler

Allowances shall be made for variation in average oil temperature during tests, if needed, as explained in detail in Sub-clause 41.8.3

41.8 *Testing methods*

At the choice of the manufacturer, any one of the following methods may be applied

- direct loading,
- back-to-back method,
- short-circuit method

41.8.1 *Direct loading*

Rated load is applied to the transformer windings. No correction for average oil temperature need be applied to the winding temperature rise

41.8.2 *Back-to-back method*

Rated currents and rated exciting voltages are applied to the transformer under test. No correction for average oil temperature need be applied to the winding temperature rise

41.8.3 *Short-circuit method*

To determine the temperature rise of the oil, the sum of the no-load and load losses at 75 °C are supplied to the transformer, one of its windings being excited and another short-circuited at its terminals. The top oil temperature rise and the average oil temperature rise are recorded

La tension d'alimentation est alors réduite à une valeur permettant d'obtenir les courants nominaux à fréquence nominale dans les enroulements et cette valeur doit être maintenue pendant 1 heure. La température des enroulements est ensuite déterminée par la méthode de variation de résistance. Lors du calcul de l'échauffement des enroulements au-dessus de la température moyenne de l'huile, il faut tenir compte de l'abaissement de la température moyenne de l'huile pendant cette heure.

L'échauffement des enroulements au-dessus de la température du fluide de refroidissement correspondant aux pertes totales à courant nominal à fréquence nominale et tension nominale s'obtient en additionnant leur échauffement au-dessus de la température moyenne de l'huile, déterminée dans la seconde partie de l'essai, à l'échauffement moyen de l'huile, déterminé dans la première partie.

L'échauffement des enroulements au-dessus de la température du fluide de refroidissement correspondant aux pertes totales à courant nominal et tension nominale peut également être déduit de l'échauffement des enroulements, déterminé à la fin de l'essai avec les pertes totales, défini au premier alinéa du présent paragraphe, en ramenant les échauffements des enroulements par rapport à l'huile aux valeurs correspondant au courant nominal, à fréquence nominale.

41 9 *Correction de la température pour tenir compte du refroidissement des transformateurs après mise hors fonction*

La température des enroulements peut être mesurée sur le transformateur en fonctionnement par la méthode de superposition décrite au paragraphe 41 3, ou en mesurant la résistance après coupure de l'alimentation.

Dans ce dernier cas, pour tenir compte de la durée qui s'écoule entre la coupure de l'alimentation et la mesure de la température, on doit appliquer une correction appropriée de façon à obtenir aussi exactement que possible la température au moment de la coupure de l'alimentation.

Les lectures sont faites aussitôt que possible après la mise hors service, et après avoir attendu un temps suffisant pour permettre la dissipation de l'effet inductif sur le courant de mesure, en suivant les indications données pour les mesures de résistance à froid.

Lorsque le transformateur est mis hors service, les ventilateurs ou les pompes de circulation d'eau doivent être arrêtés mais les pompes de circulation d'huile doivent rester en marche.

La correction de l'échauffement mesuré par variation de résistance au moment de la coupure de l'alimentation se fait, soit par extrapolation à partir des courbes de température ou de résistance en fonction du temps, soit au moyen de facteurs de correction.

41 9 1 *Méthode d'extrapolation*

On peut déterminer approximativement la correction en effectuant une série de mesures de résistance et en traçant à partir de celle-ci une courbe de résistance en fonction du temps que l'on prolonge jusqu'à l'instant de la coupure. On calcule alors la température maximale de l'enroulement à partir de la résistance au moment de la coupure.

41 9 2 *Méthode des facteurs de correction*

Lorsque les pertes dues à la charge des transformateurs immergés dans l'huile ne dépassent pas 66 W/kg (= 30 W par livre) pour les enroulements en cuivre ou 20 W/kg (= 9 W par livre) pour les enroulements en aluminium, on peut prendre pour chaque enroulement comme valeur de la correction exprimée en degrés Celsius le produit des pertes en watts par kilogramme ou par livre par le facteur indiqué au tableau XVI.

The input is then reduced to a value which results in the circulation of rated current at rated frequency in the windings, and this value is maintained for 1 hour. The temperature of the windings is then determined by the resistance method. The drop in average oil temperature during this hour is taken into account when calculating the temperature rise of the windings above the average oil temperature.

The temperature rise of the windings above the average oil temperature, determined in the second part of the test, added to the average oil temperature rise, determined in the first part of the test, will give the temperature rise of the windings above the cooling medium temperature for total losses at rated current, rated frequency and rated voltage.

Alternatively, the temperature rise of the windings above the cooling medium temperature for total losses at rated current and rated voltage may be derived from the temperature rise of the windings at the end of the run with total losses, mentioned in the first sentence of the first paragraph, by correcting the difference in temperature between the windings and the oil to the condition corresponding to rated current and rated frequency.

41.9 *Temperature correction for cooling of transformers after shut down*

Winding temperature measurement may be made while the transformer is in operation by the superposition method described in Sub-clause 41.3 or by taking resistance readings after the transformer is shut down.

In the latter case, to provide for the interval between the instant of cutting off the power and the measurement of the temperature, a suitable correction shall be applied so as to obtain as nearly as practicable the temperature at the instant of turning off the power.

Readings should be taken as soon as possible after shut-down, after allowing sufficient time for the inductive effect to disappear, as indicated from the cold resistance measurements.

When the transformer is shut down, the fans and water pumps shall be stopped but the oil pumps shall remain running.

Correction of the temperature rise as measured by resistance to the instant of switching off the power shall be made either by extrapolation from time/temperature curves or time/resistance curves, or by correction factors.

41.9.1 *Method of extrapolation*

The correction may be determined approximately by making a series of resistance measurements and from this plotting a time/resistance curve, which is extrapolated back to the instant of shut-down. The highest winding temperature is then calculated from the resistance at the instant of shut-down.

41.9.2 *Method of correction factors*

When the load loss of oil-immersed transformers with copper windings does not exceed 66 W/kg (= 30 W/pound) or 20 W/kg (= 9 W/pound) with aluminium windings, the correction in Celsius degrees for each winding may be taken as the product of the loss in watts per kilogramme or per pound multiplied by the factor given in Table XVI.

TABLEAU XVI

Facteurs de correction

| Temps compris entre la mise hors fonction et la mesure | Facteur à employer quand les pertes sont exprimées en | | | |
|--|---|-------|---------|------|
| | W/kg | | W/livre | |
| min | Cu | Al | Cu | Al |
| 1 | 0,09 | 0,032 | 0,19 | 0,07 |
| 1,5 | 0,12 | 0,045 | 0,26 | 0,10 |
| 2 | 0,15 | 0,064 | 0,32 | 0,14 |
| 3 | 0,20 | 0,091 | 0,43 | 0,20 |
| 4 | 0,23 | 0,113 | 0,50 | 0,25 |

Notes 1 — Les valeurs pour l'aluminium ne sont que provisoires

2 — Pour les temps intermédiaires, on obtient les valeurs des facteurs par interpolation

3 — Les facteurs du tableau ci-dessus sont approximatifs et représentent des résultats moyens obtenus sur des types courants de construction. Il convient de noter que pour certains transformateurs, en particulier ceux dont la construction s'éloigne considérablement de la pratique courante, ces facteurs peuvent ne pas donner des résultats suffisamment exacts. En pareil cas, il y a lieu de relever une courbe de refroidissement.

42 Essais diélectriques

L'objet de ces essais est de vérifier l'isolement entre les enroulements de phase, spires, bobines, prises, connexions de prises et bornes, pour les enroulements à isolation uniforme ou graduée, ainsi qu'entre ces parties et la terre.

Les essais par tension induite, conformément à l'article 43, et les essais à fréquence industrielle par tension appliquée, conformément à l'article 44, sont des essais individuels.

Les essais aux ondes de choc en onde pleine, conformément à l'article 45, sont des essais de type effectués seulement sur les transformateurs immergés dans l'huile prévus pour subir ces essais. Les essais aux ondes de choc, comprenant un essai en onde coupée, conformément à l'article 46, sont des essais spéciaux.

Dans le cas des enroulements qui peuvent être reliés en série ou en parallèle suivant l'utilisation, l'essai individuel n'est effectué qu'avec un seul mode de couplage à condition qu'on puisse produire la preuve qu'il a été effectué un essai de type satisfaisant avec les deux modes de couplage.

Note — Les essais diélectriques pour les auto-transformateurs, les transformateurs survolteurs-dévolteurs et les transformateurs de réglage peuvent nécessiter un accord spécial.

43 Essai par tension induite (essai individuel)

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

On doit mesurer la valeur de crête de la tension d'essai induite dans les enroulements à haute tension. La valeur de crête divisée par $\sqrt{2}$ doit être égale à la valeur indiquée dans le tableau approprié.

L'essai doit commencer à une tension égale au maximum à un tiers de la valeur d'essai et cette tension est portée à la pleine valeur aussi rapidement qu'on puisse le faire sans que l'appareil de mesure ne cesse d'indiquer sa valeur exacte. A la fin de l'essai, on réduit rapidement la tension à une valeur inférieure au tiers de sa pleine valeur avant de la couper.

TABLE XVI
Correction factors

| Time from shut down to measurement | Factor to be used when the load loss is expressed in | | | |
|------------------------------------|--|-------|---------|------|
| | W/kg | | W/pound | |
| minutes | Cu | Al | Cu | Al |
| 1 | 0.90 | 0.032 | 0.19 | 0.07 |
| 1.5 | 0.12 | 0.045 | 0.26 | 0.10 |
| 2 | 0.15 | 0.064 | 0.32 | 0.14 |
| 3 | 0.20 | 0.091 | 0.43 | 0.20 |
| 4 | 0.23 | 0.113 | 0.50 | 0.25 |

Notes 1 — The values for aluminium are provisional only

2 — For intermediate times, values of the factors are obtained by interpolation

3 — The factors given in the preceding table are approximate and represent average results from usual commercial designs. It should be recognized that for some transformers, particularly those designs which deviate considerably from current practice, these factors may not give sufficiently close results. In such cases, a cooling curve should be taken

42 Application of dielectric tests

The object of these tests is to test the insulation between the phase windings, turns, coils, tappings, tapping connections and terminals, for windings with either uniform or graded insulation, and also between these parts and earth

Induced overvoltage tests in accordance with Clause 43 and separate-source power-frequency tests in accordance with Clause 44 shall be routine tests

Full-wave impulse-voltage tests in accordance with Clause 45 shall be type tests and shall be made only on oil-immersed type transformers designed for such tests. Impulse tests including chopped waves, in accordance with Clause 46, shall be special tests

For windings arranged for connection in series or in parallel, according to application, routine tests shall be made with one of the connections only, provided that a successful corresponding type test has been made for both connections and evidence of the type test is available

Note — The test procedure for dielectric tests on auto transformers, booster transformers and regulating transformers may require special agreement

43 Induced overvoltage withstand test (routine test)

An alternating voltage shall be applied to the terminals of one winding of the transformer. The voltage shall be, as nearly as possible, of sine-wave form and at a frequency suitably increased above the rated frequency to avoid excessive excitation current during the test

The peak value of the induced test voltage in the high-voltage windings shall be measured. The peak value divided by $\sqrt{2}$ shall be in accordance with the appropriate table

The test shall be commenced at a voltage not greater than one-third of the test value, which shall be increased to the appropriate value as rapidly as is consistent with its exact magnitude being indicated by the measuring instrument. At the end of the test, the voltage shall be reduced rapidly to less than one-third of its full value before switching off

La durée de l'essai est de 60 secondes pour toute fréquence d'essai inférieure ou égale à deux fois la fréquence nominale. Si la fréquence d'essai dépasse le double de la fréquence nominale, la durée de l'essai est en secondes, 120 fois la fréquence nominale divisée par la fréquence d'essai avec un minimum de 15 secondes.

43 1 *Enroulements à isolation uniforme*

Tout enroulement à isolation uniforme peut être mis à la terre en un point quelconque au cours de l'essai.

La tension développée aux bornes de l'enroulement haute tension doit être la tension d'essai indiquée dans le tableau VII ou le tableau VIII à condition que la tension entre les différentes parties des enroulements ne dépasse pas le double de la tension qui existe entre ces points lorsque la tension nominale est appliquée aux bornes de ligne.

43 2 *Enroulements à isolation graduée*

Un enroulement à isolation graduée doit être mis à la terre au cours de l'essai en un point tel que l'on soit assuré que la tension d'essai prescrite se développe entre chacune des bornes de ligne et la terre, l'essai étant répété, si nécessaire, dans d'autres conditions de mise à la terre, de façon à assurer l'application de la tension d'essai spécifiée à chaque borne intéressée.

Les essais doivent être effectués de façon à produire entre les bornes de ligne et entre chaque extrémité côté ligne et le circuit magnétique, le bâti et la cuve ou l'enveloppe reliés ensemble et à la terre, une tension ayant la valeur indiquée à la colonne 3 du tableau VIII.

Dans le cas des transformateurs triphasés, il est admis d'appliquer la tension d'essai aux phases individuelles l'une après l'autre (c'est-à-dire entre chaque borne de ligne et la terre) et, si on le désire, de relier les autres phases de façon à éviter une tension anormalement élevée entre bornes de lignes voisines. Il existe plusieurs façons d'obtenir ce résultat — voir exemple dans l'annexe G.

44 **Essai par tension appliquée (essai individuel)**

Les essais par tension appliquée doivent être effectués avec une tension alternative monophasée de forme aussi proche que possible de la forme sinusoïdale et à toute fréquence appropriée au moins égale à 80 % de la fréquence nominale.

On mesure la valeur de crête de la tension d'essai. La valeur de crête divisée par $\sqrt{2}$ doit être conforme à la valeur indiquée dans le tableau approprié (Voir tableaux VII, VIII et X).

L'essai doit commencer à une tension égale au maximum au tiers de la valeur d'essai et cette tension est portée à la valeur appropriée indiquée dans les tableaux VII, VIII ou X, aussi rapidement qu'on puisse le faire sans que l'appareil de mesure ne cesse d'indiquer une valeur exacte. A la fin de l'essai, on réduit rapidement la tension à une valeur inférieure au tiers de sa pleine valeur avant de la couper.

La tension appropriée, fournie par une source séparée, doit être appliquée, successivement à chaque enroulement pendant 60 secondes, entre l'enroulement soumis à l'essai et les autres enroulements, le circuit magnétique, le bâti et la cuve ou l'enveloppe du transformateur, reliés ensemble et à la terre.

Le tableau VII s'applique au cas des transformateurs du type sec. Le tableau VIII s'applique au cas des transformateurs immergés à isolation uniforme. Le tableau X s'applique au cas des transformateurs immergés à isolation graduée.

The duration of the test shall be 60 seconds for any test frequency up to and including twice the rated frequency. When the test frequency exceeds twice the rated frequency, the duration of the test in seconds shall be 120 times the rated frequency divided by the test frequency, or 15 seconds, whichever is the greater.

43.1 *Uniformly-insulated windings*

Any uniformly-insulated winding may be earthed at any point during this test.

The voltage developed between line terminals of the high-voltage winding shall be the test voltage given in Table VII or VIII, provided that the voltage between the different parts of the winding does not exceed twice the voltage which appears when rated voltage is applied to the line terminals.

43.2 *Graded-insulated windings*

A winding having graded insulation shall be earthed during this test at such a point as will ensure the required test voltage arising between each of the line terminals and earth, the test being repeated under other earthing conditions, when this is necessary, to ensure the application of the specified test voltage to every relevant terminal.

The tests shall be made so as to produce between line terminals, and also between each line terminal and the core, frame and tank or casing connected together and to earth, a voltage of the appropriate value given in Table VIII, Column 3.

With three-phase transformers it is permissible to apply the test voltage to the individual phases in succession (i.e. between each line terminal and earth) and, if desired, so to connect the other phases as to avoid abnormally high voltage between adjacent line terminals. There are several ways of achieving this. See examples in Appendix G.

44 **Separate-source voltage-withstand test (routine test)**

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

The peak value of the test voltage shall be measured. The peak value divided by $\sqrt{2}$ shall be in accordance with the appropriate table. (See Tables VII, VIII and X.)

The test shall be commenced at a voltage not greater than one-third of the test value and shall be increased to the appropriate value given in Table VII, VIII or X, as rapidly as is consistent with its exact magnitude being indicated by the measuring instrument. At the end of the test, the voltage shall be reduced rapidly to less than one-third of its full value before switching off.

The appropriate voltage, obtained from a separate source, shall be applied for 60 seconds to each winding in turn, between the winding under test and the remaining windings, core, frame and tank or casing of the transformer, connected together and to earth.

For dry-type transformers Table VII is applicable. For oil-immersed type transformers with uniform insulation, Table VIII is applicable. For oil-immersed type transformers with graded insulation, Table X is applicable.

Pour les connexions spéciales d'enroulements indiquées ci-après, les essais s'effectuent comme suit

a) *Enroulements de tensions nominales différentes interconnectés à l'intérieur du transformateur*

La tension d'essai doit être basée sur la tension la plus élevée du réseau ou des circuits auxquels les enroulements sont destinés à être reliés. L'essai doit être effectué avec les enroulements reliés entre eux comme en service.

b) *Enroulements prévus pour fonctionner en série avec d'autres appareils côté ligne*

La tension d'essai doit être basée sur la tension d'essai la plus élevée du réseau constitué par la combinaison des enroulements en série avec les appareils.

45 Essai de choc en onde pleine (essai de type)

Les tensions d'essai aux ondes de choc sont appliquées à la borne de ligne de l'enroulement à essayer. L'essai doit être effectué successivement sur chaque borne de ligne d'un transformateur polyphasé.

Note — Les prises à utiliser pour l'essai doivent faire l'objet d'un accord entre le constructeur et l'acheteur, tenant compte de la répartition des tensions à l'intérieur des enroulements qui résulte du choix des prises.

La valeur de crête de la tension appliquée doit être celle spécifiée dans le tableau VIII.

La forme d'onde est l'onde 1,2/50 telle qu'elle est définie par la Publication 60 de la CEI. Essais à haute tension. On admet une tolérance maximale de $\pm 30\%$ sur la durée du front de l'onde et de $\pm 20\%$ sur le temps qui s'écoule jusqu'à ce que l'on atteigne la demi-valeur de la queue de l'onde, mais lorsque les caractéristiques des transformateurs en essai sont telles qu'il est impossible d'obtenir la forme d'onde normale avec les tolérances ci-dessus, comme par exemple dans le cas où l'enroulement a une inductance très faible ou une capacité très élevée, il est admis de prendre de plus larges tolérances par accord entre le constructeur et l'acheteur.

45.1 Préparation de transformateur pour l'essai

La préparation des essais doit être effectuée conformément aux paragraphes ci-dessous.

45.1.1 Mise à la terre de la cuve du transformateur

La cuve du transformateur doit être mise efficacement à la terre, soit directement soit par l'intermédiaire d'une impédance de faible valeur.

45.1.2 Connexions d'essai

Une borne de ligne de l'enroulement en essai doit être reliée au générateur de choc et ses autres bornes de ligne doivent être mises à la terre, soit directement soit par l'intermédiaire d'une impédance de faible valeur. Si l'acheteur spécifie que le transformateur peut fonctionner avec le neutre à la terre, ce dernier doit être mis à la terre pour l'essai. Dans le cas contraire, on peut le laisser isolé de la terre.

Le transformateur en essai, y compris tous les dispositifs de mesure et d'enregistrement, doit être relié au générateur de chocs dans les conditions recommandées par la Publication 60.

45.1.3 Protection des bornes et enroulements non essayés

Toutes les bornes des enroulements qui ne sont pas soumis à l'essai doivent être mises à la terre soit directement, soit par l'intermédiaire de résistances qui limitent la tension se développant à ces bornes à moins de 75 % du niveau d'essai en onde pleine de l'enroulement correspondant.

45.1.4 Éclateurs de traversée

On peut retirer ces éclateurs ou augmenter leur écartement de façon à empêcher un amorçage au cours de l'essai.

For the special winding connections indicated below, the test shall be made as follows

a) *Windings of unlike rated voltages which are interconnected within the transformer*

The test voltage shall be based on the highest voltage of the system or of the circuits to which the windings are to be connected. The test shall be made with the windings interconnected as for service.

b) *Windings designed to operate in series with the supply lines feeding or fed from other apparatus*

The test voltage shall be based on the highest voltage of the system resulting from the combination of the series windings and the apparatus.

45 Full-wave impulse-voltage withstand test (type test)

Impulse test voltages shall be applied to the line terminal of the winding to be tested. The test shall be applied successively to each line terminal of a polyphase transformer.

Note — The tapplings to be used for the test shall be subject to an agreement between the manufacturer and the purchaser, account being taken of the voltage distribution within the windings arising from the tapplings chosen.

The peak value of the applied voltage shall be that specified in Table VIII.

The wave-shape shall be 1 2/50 μ s as defined in IEC Publication 60, High-voltage Test Techniques. A tolerance of not more than $\pm 30\%$ on the duration of the wave-front and $\pm 20\%$ on the time to half-value of the wave-tail is permissible, but where the characteristics of the transformer under test are such that it is impracticable to obtain the standard wave-shape within the above tolerances, for example, where the inductance of the winding is very low or its capacitance is very high, wider tolerances may be permissible by agreement between the manufacturer and the purchaser.

45 1 *Preparation of transformer for test*

Preparations for the tests shall be made in accordance with the sub-clauses below.

45 1 1 *Earthing the transformer tank*

The transformer tank shall be efficaciously earthed either directly or through an impedance of low value.

45 1 2 *Test connections*

One line terminal of the winding under test shall be connected to the impulse generator and its other line terminals shall be earthed either directly or through an impedance of low value. If the purchaser specifies that the transformer may operate in service with the neutral connected to earth, it shall be so connected for the test, otherwise it may be left unconnected to earth.

The transformer under test, together with all measuring and recording devices, shall be connected to the impulse generator as recommended in IEC Publication 60.

45 1 3 *Protection of terminals and windings not under test*

All the terminals of windings not under test shall be earthed either direct or through resistors which will limit the voltage appearing on them to less than 75% of the full-wave test level of the associated winding.

45 1 4 *Bushing gaps*

Such gaps may be removed or their spacing increased to prevent flashover during the test.

45 2 Conduite de l'essai

45 2 1 Réglage de la forme d'onde de tension et étalonnage du générateur de choc

Le générateur de choc étant relié à la borne de ligne de l'enroulement soumis à l'essai, les dispositifs de mesure et d'enregistrement de la tension étant en place, on règle les paramètres du circuit sous une tension réduite de façon à obtenir l'onde 1,2/50 μ s prescrite

On effectue, sous une tension comprise entre 50 % et 75 % du niveau d'essai de tension en onde pleine, des enregistrements oscillographiques de la tension appliquée entre la borne de ligne soumise à l'essai et la terre ainsi que les enregistrements supplémentaires de courant ou de tension correspondants à ceux mentionnés au paragraphe 45 2 2 On peut utiliser l'enregistrement de la tension appliquée pour vérifier la forme d'onde et déterminer la valeur de crête de la tension appliquée ainsi que pour aider, en exploitant simultanément les enregistrements supplémentaires de courant ou de tension, à l'interprétation de résultats d'essai

45 2 2 Enregistrement à effectuer lors des essais

On doit faire des enregistrements de l'onde de tension appliquée, et d'au moins une autre grandeur choisie parmi les plus significatives

Note — Il n'est pas souhaitable de normaliser ces enregistrements supplémentaires On peut faire, par exemple, des enregistrements supplémentaires, soit pour le courant passant par l'extrémité mise à la terre de l'enroulement soumis à l'essai, soit pour le courant à la terre provenant de la cuve isolée de la terre, mais reliée à l'extrémité mise à la terre de l'enroulement soumis à l'essai, ou de la tension de transfert qui se développe aux bornes d'un autre enroulement Il y a lieu d'enregistrer la grandeur que le constructeur du transformateur considère comme la plus appropriée au transformateur soumis à l'essai

45 2 3 Applications de la tension

Sauf accord contraire entre le constructeur et l'acheteur, la tension d'essai est de polarité négative et ne doit pas être modifiée pendant tout l'essai Le générateur de choc doit être réglé de façon à fournir une tension correspondant au niveau d'essai de choc en onde pleine de l'extrémité côté ligne de l'enroulement soumis à l'essai On applique deux ondes pleines Si au cours d'un essai il se produit un amorçage d'éclateur de traversée, on ne tient pas compte de cet essai et on en effectue un autre

45 3 Interprétation des résultats d'essais

L'indication d'un défaut d'isolement résultant de l'essai est donnée par

- a) Des variations notables de la forme d'onde, en dehors des modifications intentionnelles de l'amplitude, indiquées par les enregistrements de la tension appliquée ou les enregistrements supplémentaires de courant ou de tension pour toutes les applications de l'onde pleine au niveau d'essai et à un niveau réduit

S'il existe un doute dans l'interprétation d'anomalies dans les enregistrements, on fait trois nouvelles applications d'ondes à 100 % de la valeur d'essai Si les anomalies ne sont pas amplifiées par ces essais, on considère l'essai aux ondes de choc comme satisfaisant

- b) Un bruit bien marqué à l'intérieur du transformateur au cours de l'essai

46 Essai aux ondes de choc comprenant un essai en onde coupée (essai spécial)

Si l'acheteur l'a explicitement spécifié (voir annexe A), la suite des ondes appliquées successivement à chaque borne de ligne du transformateur doit comporter, en plus des ondes pleines spécifiées à l'article 45, deux ondes coupées

La valeur de crête de la tension appliquée pour les ondes coupées doit être au moins égale à la valeur de crête de l'onde pleine spécifiée La tension appliquée doit être coupée sur la queue de l'onde Le temps compris entre le point de départ nominal des ondes et l'instant de la coupure doit être de 2 à 6 μ s

45 2 Test procedure

45 2 1 Adjustment of voltage wave-shape and calibration of the impulse generator

With the impulse generator connected to the terminal of the transformer winding under test and to the voltage measuring and recording devices, the parameters of the circuit shall be adjusted at a reduced voltage, to give the required $1\ 2/50\ \mu\text{s}$ wave form

At a voltage between 50% and 75% of the full-wave voltage test level, oscillographic records shall be obtained of the applied voltage between the line terminal under test and earth, and a supplementary record of current or voltage (see Sub-clause 45 2 2). The record of applied voltage may be used to verify the wave-shape and to determine the peak value of the applied voltage and, together with the supplementary record of current or voltage, to aid in the interpretation of test results

45 2 2 Records of test

Recordings shall be made of the applied voltage wave, and of at least one other quantity selected from the more important quantities

Note — It is undesirable to standardize these additional records. For example, supplementary records may be taken either of the current flowing in the earthed end of the winding under test, or of the current flowing to earth from the tank insulated from the earth but connected to the earth end of the winding under test, or the transferred voltage appearing across another winding. The quantity which is considered by the transformer manufacturer to be the most appropriate to the transformer under test should be recorded

45 2 3 Voltage applications

Unless agreed otherwise between the manufacturer and the purchaser, the test voltage shall be of negative polarity, and shall be unchanged throughout the test. The impulse generator shall be set to deliver a voltage corresponding to the full-wave impulse test level of the line end of the transformer winding under test. Two full waves shall be applied. If during any application, flashover of a bushing gap occurs, that particular application shall be discounted and a further application made

45 3 Interpretation of test results

Evidence of insulation failure arising from the test would be given by

- a) Significant variations of wave-shape, apart from intended amplitude changes, indicated by the records of applied voltage and of supplementary current or voltage for all full-wave applications at the test level and at reduced level

If there is any doubt as to the interpretation of discrepancies in records, three subsequent waves shall be applied at 100% of the test value. If the discrepancies are not enlarged by these tests, the impulse test is understood to have been withstood

- b) Clearly indicated noise within the transformer during the test

46 Impulse-voltage withstand test including chopped waves (special test)

If specified by the purchaser (see Appendix A) as an addition to the full waves specified in Clause 45, the sequence of voltage waves applied in turn to each line terminal of the transformer shall include two chopped waves

The peak value of the voltage applied for the chopped waves shall be at least equal to the peak value of the specified full wave. The applied voltage shall be chopped on the wave tail. The time to chopping shall be between 2 and 6 μs from the nominal start of the waves

Sauf modification indiquée ci-dessous, la préparation et la conduite des essais sont conformes aux prescriptions de l'article 45

46 1 *Eclateur de coupure*

Pour produire les ondes coupées, on insère un éclateur entre la borne de ligne soumise à l'essai et la terre. L'éclateur de coupure doit être situé aussi près que possible de la borne de ligne en essai. Toute forme d'éclateur donnant les caractéristiques de coupure recherchées est admise.

Notes 1 — Il est avantageux d'utiliser un dispositif de coupure qui donne sensiblement le même temps, compté jusqu'à l'instant de la coupure pour chaque application.

2 — Les contraintes de tension qui résultent de la coupure sont influencées par :

- a) La vitesse de retombée de la tension
- b) La valeur des oscillations de tension

Ces deux valeurs dépendent de la forme de l'éclateur de coupure, des caractéristiques du transformateur et du circuit d'essai, et de l'emplacement de l'éclateur de coupure par rapport à la borne en essai. Etant donné ces variables, il n'est pas possible à l'heure actuelle de spécifier des limites précises pour les valeurs ci-dessus mais pour rendre les essais de transformateurs différents relativement comparables, on doit prendre toutes dispositions pour s'assurer que a) représente un maximum et b) un minimum pour les circonstances particulières de l'essai. La mesure des deux valeurs indiquées ci-dessus peut être considérablement influencée par le diviseur de tension utilisé.

46 2 *Conduite des essais*

46 2 1 *Réglage du circuit d'essai*

On règle les paramètres du circuit de façon à obtenir la forme d'onde voulue avec l'éclateur de coupure en circuit suivant les indications du paragraphe 45 2 1. On ne doit faire ensuite aucune modification à ce circuit sauf en ce qui concerne l'écartement de l'éclateur de coupure que l'on doit augmenter afin d'éviter un amorçage au cours des applications de tension en onde pleine et régler suivant les nécessités, pour obtenir l'amorçage dans les limites de temps spécifiées au cours des applications en onde coupée. Si on utilise un éclateur de coupure réglable, on doit faire des enregistrements oscillographiques supplémentaires à tension réduite avec le même temps de coupure que pour les essais normaux en onde coupée ainsi que des enregistrements oscillographiques de courant ou de tension supplémentaire de façon à aider à l'interprétation des résultats d'essais.

46 2 2 *Enregistrement à effectuer des essais*

On doit faire des enregistrements de la tension appliquée et, lorsqu'on utilise un éclateur de coupure réglable, des enregistrements supplémentaires de courant ou de tension suivant les indications de l'article 45. Lorsqu'on utilise un éclateur de coupure qui ne permet pas de régler les temps de coupure, il n'est pas nécessaire de faire des enregistrements de courant ou de tension supplémentaire en onde coupée.

Note — La forme d'onde de l'enregistrement de courant ou de tension supplémentaire est influencée par le temps écoulé avant la coupure.

Lorsqu'on utilise un éclateur de coupure réglable, on doit obtenir pour les différentes valeurs de la tension appliquée des enregistrements de forme semblable, mises à part les modifications intentionnelles de l'amplitude. Si, en raison du type d'éclateur de coupure utilisé, il se produit des différences dans les temps de coupure, les enregistrements supplémentaires ne sont pas directement comparables dans leur forme, mais ils peuvent aider un opérateur expérimenté à déceler un défaut.

Si la coupure n'est pas réglable, on peut faciliter la comparaison directe à l'aide d'enregistrements supplémentaires effectués à tension réduite avec des temps de coupure différents, en portant son choix sur l'enregistrement qui se rapproche le plus du temps de coupure qui intervient au cours de l'essai réel.

Except where modified below, the preparation and procedure for the test shall be in accordance with the requirements of Clause 45

46.1 *Chopping gap*

To provide the chopped waves, a spark gap shall be connected between the line terminal under test and earth. The chopping gap shall be located as close as practicable to the line terminal under test. Any form of gap giving the requisite chopping characteristics is permissible.

Notes 1 — The use of a chopping device whereby the time to chop of each application is sensibly the same is advantageous.

2 — Voltage stresses developed as a result of the chop are influenced by:

- a) The rate of voltage collapse
- b) The amount of voltage overswing

These two quantities depend on the form of chopping gap, the characteristics of the transformer and test circuit, and the location of the chopping gap relative to the terminal under test. In view of these variables, it is not practicable, at the present time, to specify precise limits for the above quantities, but, in order that tests on different transformers may be reasonably comparable, every precaution should be taken to ensure that a) is a maximum, and b) is a minimum for the particular circumstances of the test. The measurement of both the above quantities may be considerably influenced by the voltage divider employed.

46.2 *Test procedure*

46.2.1 *Adjustment of test circuit*

The parameters of the circuit shall be adjusted to give the required wave-form with the chopping gap in circuit as described in Sub-clause 45.2.1. Thereafter no change shall be made to this circuit, except that the setting of the chopping gap shall be increased to prevent flashover during the full-wave voltage applications and adjusted, as necessary, to obtain flashover within the specified time limits during the chopped-wave voltage applications. If a controlled chopping gap is used, additional oscillographic records at a reduced voltage, with the same chopping time as for the chopped wave test applications, and oscillographic records of supplementary current or voltage, shall be taken to aid interpretation of test results.

46.2.2 *Records of test applications*

Recordings shall be made of the applied voltage and, where a controlled chopping gap is used, a form of supplementary current or voltage record as detailed in Clause 45. When a chopping gap which does not give controlled chopping times is used, supplementary chopped-wave current or voltage records need not be taken.

Note — The wave form of the supplementary current or voltage record is affected by the time-to-chop.

When a controlled chopping gap is employed, records of similar form should be obtained for the different values of applied voltage, apart from intended differences in amplitude. If, by reason of the chopping gap used, differences in chopping time occur, the supplementary records will not be directly comparable in form, but with experienced interpretation such records can provide an aid to fault detection.

With uncontrolled chopping an aid to direct comparison can be achieved by supplementary records taken at a reduced voltage, with different chopping times, selection being made of the particular record most closely approximating to the chopping time resulting during the actual test.

46 2 3 *Application de la tension*

L'ordre des applications de la tension au niveau d'essai est le suivant

- a) 2 ondes coupées,

suivies de

- b) 2 ondes pleines, conformes aux spécifications de l'article 45

Si au cours d'une application quelconque de tension en onde coupée, le temps jusqu'à la coupure est supérieur ou inférieur au temps admis (2 à 6 μ s), ne pas tenir compte de cette application et en effectuer une autre

46 3 *Interprétation des résultats d'essais*

L'indication d'un défaut d'isolement résultant de l'essai est donnée par

- a) Des variations notables de la forme d'onde, en dehors des modifications intentionnelles de l'amplitude, indiquées par les enregistrements de la tension, tant en onde pleine qu'en onde coupée, et, s'il y a lieu, par les enregistrements de courant ou de tension supplémentaires, entre les applications de la tension au niveau d'essai et au niveau réduit

S'il existe un doute dans l'interprétation d'anomalies dans les enregistrements, on fait trois nouvelles applications d'ondes du type en cause avec une valeur égale à 100 % de la valeur d'essai primitive. Si les anomalies ne sont pas amplifiées par ces essais, on considère l'essai aux ondes de choc comme satisfaisant.

- b) Un bruit bien marqué à l'intérieur du transformateur au cours de l'essai

47 **Renouvellement des essais diélectriques**

Si on effectue ultérieurement des essais de réception par tension appliquée ou par tension induite sur un transformateur qui a déjà satisfait à ces essais conformément à la présente recommandation, la tension appliquée pour ces nouveaux essais ne doit pas dépasser 75 % de la tension d'essai originale

46.2.3 *Voltage applications*

The sequence of voltage application at the test level shall be

- a) 2 chopped waves,

followed by

- b) 2 full waves, as specified in Clause 45

If, during any chopped-wave voltage application, the chopping time is greater or less than that permitted (2 to 6 μ s), that particular application shall be discounted and a further application made

46.3 *Interpretation of test results*

Evidence of insulation failure arising from the test would be given by

- a) Significant variations of wave-shape, apart from intended amplitude changes, indicated by the records of applied voltage of both full waves and chopped waves and, where applicable, by the supplementary current or voltage records, between the applications at the test level and at reduced level

If there is any doubt as to the interpretation of discrepancies in records, three subsequent waves of the type in question shall be applied at 100% of the original test value. If the discrepancies are not enlarged by these tests, the impulse test is understood to have been withstood

- b) Clearly indicated noise within the transformer during the test

47 **Subsequent dielectric tests**

If subsequent acceptance tests are made on a transformer which has already withstood separate-source or induced-voltage tests in accordance with this Recommendation, the subsequent test voltage should not exceed 75% of the original test voltage

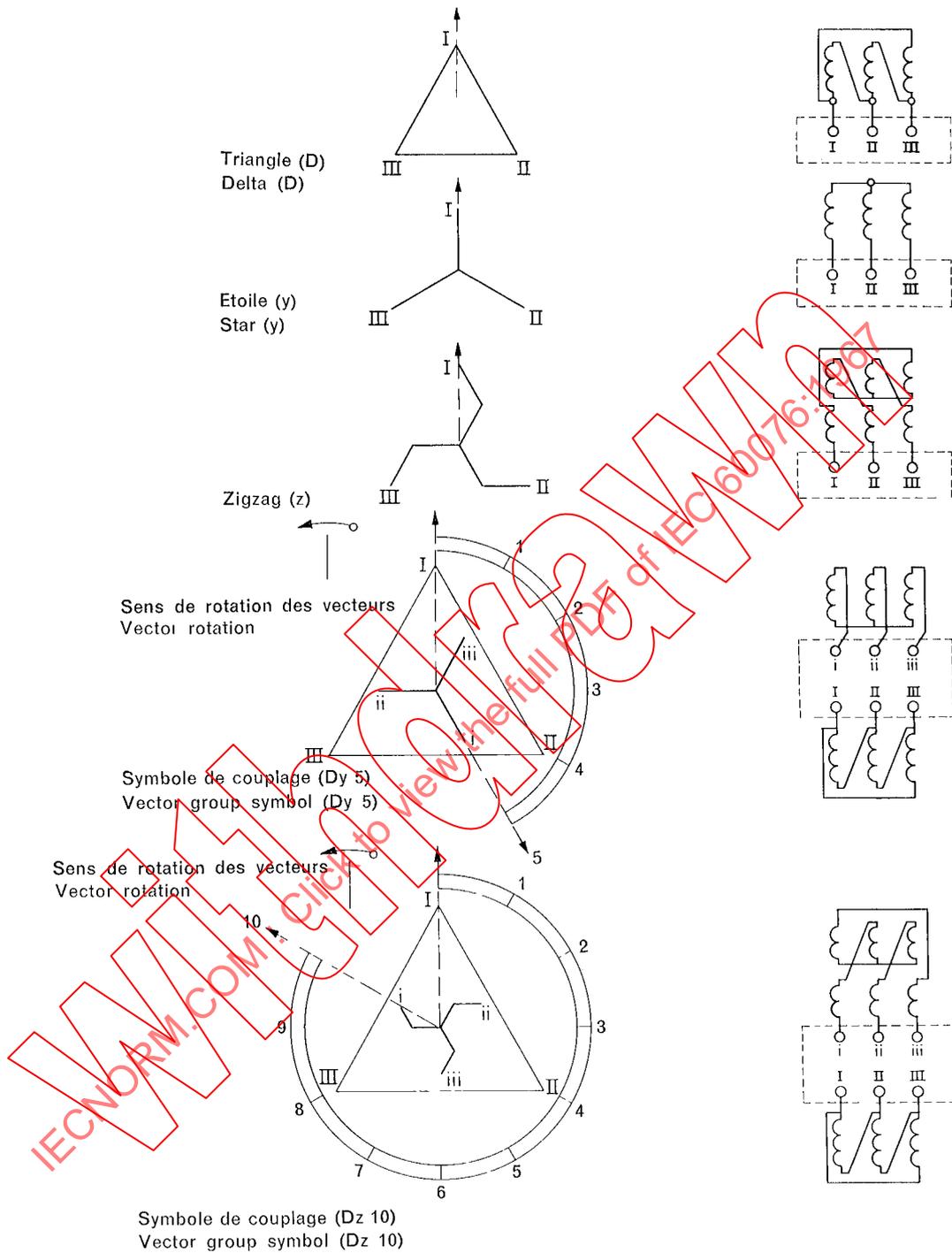
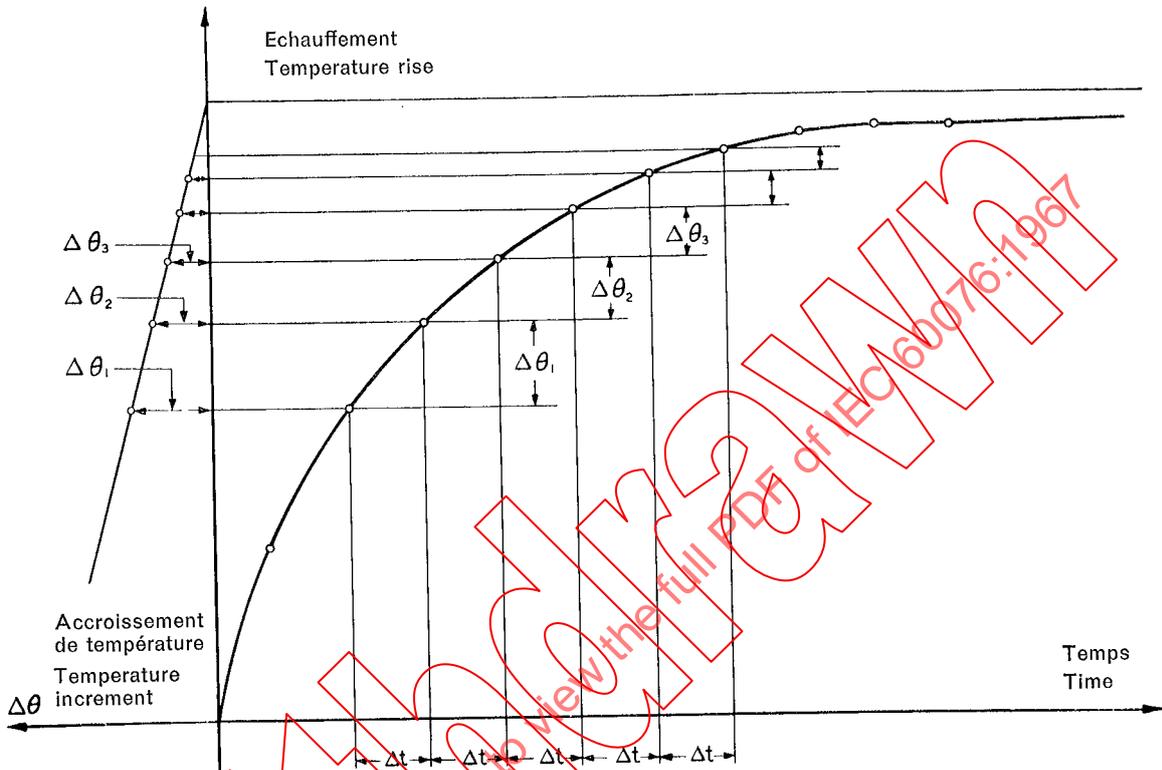


FIG 1 — Pour démontrer l'utilisation des symboles de couplage
To illustrate the use of vector-group symbols



Les trois échelles sont linéaires

All three scales are linear

Fig 2 — Méthode de détermination de l'échauffement final de l'huile
Method for determining final temperature rise of oil

ANNEXE A

RENSEIGNEMENTS A FOURNIR A L'APPEL D'OFFRES ET A LA COMMANDE

1 Régime nominal et caractéristiques générales

1.1 Transformateurs à deux enroulements

1.1.1 Conditions normales

- 1) Spécification particulière à respecter
- 2) Nombre de transformateurs demandés
- 3) Transformateurs monophasés ou polyphasés
- 4) Nombre de phases du réseau
- 5) Fréquence
- 6) Transformateur du type sec ou immergé. Dans ce dernier cas, indiquer s'il s'agit d'huile minérale ou d'askarel
- 7) Type intérieur ou extérieur
- 8) Puissance nominale (en kVA) et, dans le cas où l'étendue de variation de tension dépasse $\pm 5\%$ puissance sur les prises extrêmes
Si le transformateur doit avoir différentes valeurs de puissance nominale pour différents modes de refroidissement, ces valeurs doivent être spécifiées
- 9) Tensions nominales (pour chaque enroulement)
- 10) Préciser s'il y a des prises et si l'on doit utiliser des changeurs de prises en charge, ou hors tension, ou des barettes. Indiquer la catégorie de réglage désirée et les étendues de variation de tensions et le nombre d'échelons
- 11) Tension la plus élevée du réseau (pour chaque enroulement)
- 12) Mode de mise à la terre (pour chaque enroulement)
- 13) Niveau d'isolement normalisé, c'est-à-dire valeurs des tensions d'essai aux ondes de choc et à fréquence industrielle (pour les extrémités ligne et neutre, s'il y a lieu) pour lesquelles le transformateur doit être construit — voir les tableaux VII, VIII et X
- 14) Dans le cas d'un transformateur immergé dans l'huile prévu pour une tension la plus élevée du réseau ne dépassant pas 17,5 kV, indiquer s'il est ou non d'un type se prêtant à l'essai aux ondes de choc
- 15) Symboles de couplage
- 16) Bornes neutres, si nécessaire (pour chaque enroulement)
- 17) Mode de refroidissement
- 18) Particularités d'installation, de montage, de transport et de manutention
- 19) Autres renseignements appropriés

1.1.2 Conditions particulières

- 20) Catégorie d'isolation graduée demandée, s'il y a lieu (voir tableau IX)
- 21) Si un essai aux ondes de choc est demandé, indiquer s'il comporte un essai en onde coupée (voir article 46)
- 22) Indiquer si l'on doit utiliser un enroulement de stabilisation et dans ce cas indiquer le mode de mise à la terre
- 23) Tension de court-circuit au courant nominal si une valeur déterminée est spécifiée

APPENDIX A

INFORMATION REQUIRED WITH ENQUIRY AND ORDER

1 Rating and general data

1.1 Two-winding transformers

1.1.1 Normal

- 1) Particulars of the specification to be complied with
- 2) Number of transformers required
- 3) Single or polyphase units
- 4) Number of phases in system
- 5) Frequency
- 6) Dry type or oil-immersed type If oil-immersed, whether mineral oil or askarel insulating liquid
- 7) Indoor or outdoor type
- 8) Rated power (in kVA) and, for voltage variation ranges exceeding $\pm 5\%$, required power on extreme tappings
If the transformer is to have different values of rated power for different types of cooling, these should be stated
- 9) Rated voltages (for each winding)
- 10) State if tappings are required and if on-load or off-circuit tap changers, or links are required
Give the category of regulation wanted, the voltage variation ranges and the number of tapping positions required
- 11) System highest voltage (for each winding)
- 12) Method of system earthing (for each winding)
- 13) Insulation level, i.e. value of impulse and power-frequency test voltages (for line ends and neutral if necessary) for which the transformer is to be designed See Tables VII, VIII and X
- 14) For an oil-immersed type transformer for a system highest voltage not exceeding 17.5 kV, whether or not it is to be of a design suitable for impulse testing
- 15) Vector-group symbols
- 16) Neutral terminals, if required (for each winding)
- 17) Type of cooling
- 18) Precautions to be taken during installation, assembly, transport and handling
- 19) Any other appropriate information

1.1.2 Special

- 20) Category of graded insulation required, if applicable (see Table IX)
- 21) If an impulse voltage test is required, whether or not the test is to include chopped waves (see Clause 46)
- 22) Whether a stabilizing winding is required and, if so, the method of earthing
- 23) Impedance voltage at rated current, if specific value is required

- 24 Indiquer si le transformateur doit être associé à d'autres appareils susceptibles d'influencer les conditions de court-circuit (voir article 24)
- 25) Altitude au-dessus du niveau de la mer si elle dépasse 1 000 m (3 300 ft)
- 26) Température du fluide de refroidissement si elle n'est pas comprise entre les valeurs limites de l'article 2b)
- 27) Indiquer si les enroulements doivent être connectés en auto-transformateur

1.2 Transformateurs à plus de deux enroulements

Suivre de façon générale les indications du paragraphe 1.1 ci-dessus, mais on doit donner des indications relatives aux enroulements supplémentaires, et aussi

- 28) Combinaisons de charges demandées, en indiquant séparément, s'il y a lieu, leurs composantes actives et réactives, notamment dans le cas d'un auto-transformateur à plus de deux enroulements
- 29) Tensions de court-circuit spécifiées, s'il y a lieu, pour certaines paires d'enroulements particulières

2 Fonctionnement en parallèle

Si le fonctionnement en parallèle avec des transformateurs existants est prévu, il y a lieu de le préciser et de donner les informations suivantes concernant les transformateurs existants

- a) Puissance nominale en kVA
- b) Rapport de transformation nominal
- c) Rapport de transformation correspondant aux prises autres que la prise principale
- d) Pertes dues à la charge au courant nominal sur la prise principale à la tension nominale et ramenée à la température de référence appropriée
- e) Tension de court-circuit au courant nominal (sur la prise principale)
- f) Tensions de court-circuit sur les prises extrêmes si l'étendue de variation de tension dépasse $\pm 5\%$
- g) Schéma des connexions, ou symbole de couplage, ou l'un et l'autre

Note — Pour les transformateurs à plus de deux enroulements, des informations supplémentaires sont en général nécessaires

- 24) Whether transformer is to be directly associated with other apparatus which may affect short-circuit considerations (see Clause 24)
- 25) Altitude above sea-level, if in excess of 1 000 m (3 300 ft)
- 26) Temperature of cooling medium if above or below values given in Clause 2 b)

- 27) Whether any of the windings are to be auto-connected

1.2 Multi-winding transformers

Generally as in Sub-clause 1.1 above, but information in respect of the additional windings is required, and also

- 28) Required loading combinations, stating, when necessary, the active and reactive outputs separately, especially in the case of a multi-winding auto-transformer
- 29) Any impedance voltages that are specified for particular pairs of windings

2 Parallel operation

If parallel operation with existing transformers is required, this should be stated and the following information given

- a) Rated kVA of existing transformers
- b) Rated voltage ratio
- c) Voltage ratios corresponding to tapplings other than the principal tapping
- d) Load loss at rated current and rated voltage on the principal tapping, corrected to the appropriate reference temperature
- e) Impedance voltage at rated current (on the principal tapping)
- f) Impedance voltages on extreme tapplings if the voltage variation range exceeds $\pm 5\%$
- g) Diagram of connections, or vector-group symbol or both

Note — On multi-winding transformers, supplementary information will generally be required

ANNEXE B

CHOIX DES NIVEAUX D'ISOLEMENT

Voir aussi Publication 71 de la CEI Coordination de l'isolement

1 Généralités

Le niveau d'isolement doit être spécifié par l'acheteur

Le choix du niveau d'isolement dépend des facteurs suivants

- 1) Tension la plus élevée du réseau
- 2) Conditions de mise à la terre du réseau
- 3) Degré d'exposition des transformateurs aux surtensions et niveau de protection du dispositif de protection

2 Tension la plus élevée du réseau

Il ne faut pas confondre la tension la plus élevée du réseau avec l'une des tensions suivantes

- 1) Tension nominale du réseau
- 2) Tension nominale du transformateur
- 3) Tension à circuit ouvert sur une prise quelconque

Certaines tensions de prises peuvent dépasser la tension la plus élevée du réseau, mais ce fait n'implique pas automatiquement une augmentation du niveau d'isolement ou de la tension d'essai prescrite par la présente recommandation.

3 Mise à la terre du réseau

La présente recommandation admet deux normes pour le niveau d'isolement, la norme 1 et la norme 2

Le choix entre la norme 1 et la norme 2 est fonction du niveau de protection du dispositif de protection utilisé, qui dépend principalement du coefficient de mise à la terre du réseau

Le coefficient de mise à la terre en un emplacement déterminé d'un réseau triphasé (généralement le point d'installation d'un matériel) et pour une configuration donnée du réseau, est le rapport, exprimé en pour-cent de la tension efficace la plus élevée à la fréquence du réseau entre une phase saine et la terre à cet emplacement pendant un défaut à la terre affectant une ou plusieurs phases, à la tension efficace entre phases à la fréquence du réseau qui serait obtenue au même emplacement avec disparition du défaut

Les conditions habituelles de mise à la terre du réseau sont les suivantes

a) Réseau à neutre isolé

Réseau dont le neutre n'a aucune connexion intentionnelle à la terre sauf à travers des appareils de signalisation, de mesure et de protection, de très grande impédance

Dans un tel cas, le niveau d'isolement de la norme 1 est en général indiqué, sous réserve que des circonstances particulières ne nécessitent pas l'adoption d'un niveau supérieur

b) Réseau compensé par bobine d'extinction

Réseau dont le neutre est mis à la terre par une bobine dont la réactance est de valeur telle que lors d'un défaut entre une phase du réseau et la terre, le courant inductif à fréquence industrielle qui circule entre le défaut et la bobine annule pratiquement la composante capacitive à la fréquence fondamentale du courant de défaut

Le niveau d'isolement norme 1 est applicable normalement à ce cas.

APPENDIX B

SELECTION OF INSULATION LEVELS

See also IEC Publication 71, Insulation Co-ordination

1 General

The insulation level should be specified by the purchaser

Selection of the insulation level is governed by the following factors

- 1) System highest voltage
- 2) System earthing conditions
- 3) Degree of exposure of transformer to overvoltages, and protective level of protective device

2 System highest voltage

The system highest voltage should not be confused with any of the following voltages

- 1) The nominal voltage of the system
- 2) The rated voltage of the transformer
- 3) The open-circuit voltage on any tapping

Certain tapping voltages may exceed the system highest voltage, but this does not, by itself, require any increase in the insulation level or test voltage under the requirements of this Recommendation

3 System earthing

Two standards of insulation level are recognized in this Recommendation, namely, Standard 1 and Standard 2

Selection of Standard 1 or Standard 2 is a function of the protective level used, which depends mainly on the earthing coefficient of the system

The coefficient of earthing at a selected location of a three-phase system (generally the point of installation of an equipment), for a given system layout, is the ratio, expressed as a percentage, of the highest 1 m s line-to-earth power-frequency voltage on a sound phase at the selected location during a fault to earth affecting one or more phases, to the line-to-line 1 m s power-frequency voltage which would be obtained at the selected location with the fault removed

The usual conditions for system earthing are as follows

a) *Isolated neutral system*

A system which has no intentional connection to earth except through inducting, measuring, or protective devices of very high impedance

For such a condition, a Standard 1 insulation level is generally indicated except where special circumstances require the adoption of a higher level

b) *Resonant earthed system (a system earthed through an arc-suppression coil)*

A system earthed through a reactor, the reactance being of such value that during a single line-to-earth fault, the power-frequency inductive current passed by this reactor practically cancels the power-frequency capacitance component of the earth-fault current

Standard 1 insulation level is normally applicable to this condition

c) Réseau à neutre à la terre

Réseau dont le neutre est mis à la terre, soit directement, soit par une résistance ou réactance de valeur assez faible pour réduire les oscillations transitoires et laisser passer un courant suffisant pour la protection sélective de terre

Le niveau d'isolement norme 2 approprié à la tension la plus élevée du réseau est normalement applicable à ce cas

4 Exposition aux surtensions

Les transformateurs destinés à être utilisés en situation exposée doivent être construits de façon à résister à un essai aux ondes de choc

Dans un réseau à neutre effectivement à la terre, l'emploi d'un parafoudre de caractéristiques appropriées (voir Publication 99 de la CEI: Recommandations pour les parafoudres) peut permettre de choisir un transformateur dont le niveau d'isolement est inférieur à celui de la norme 2

En plus des surtensions atmosphériques auxquelles peuvent être soumis les transformateurs dans les zones exposées, des surtensions peuvent prendre naissance à l'intérieur du transformateur ou en un autre point du réseau et ces surtensions affectent aussi bien les transformateurs en situation exposée que ceux en situation non exposée. Ces surtensions internes peuvent résulter du fonctionnement d'un disjoncteur ou d'un coupe-circuit lors d'une manœuvre effectuée sur un circuit inductif ou capacitif

5 Choix des essais aux ondes de choc

L'essai aux ondes de choc spécifié à l'article 45 ne comprend que des applications de tension en onde pleine, mais si l'acheteur le spécifie spécialement on peut y adjoindre des applications en onde coupée (spécifiées à l'article 46)

Tous les amorçages dans un poste se traduisent par des ondes coupées d'amplitudes et de raideurs différentes. Si elles sont susceptibles de se produire en service à un degré dangereux, l'aptitude du transformateur à supporter ces surtensions ne peut être déterminée que par un essai en onde coupée

Un transformateur prévu pour subir uniquement l'essai en onde pleine est vulnérable dans une mesure que l'on ne connaît pas aux ondes coupées au voisinage du transformateur étant donné qu'il peut se développer des contraintes internes entre spires et bobines plus élevées que celles qui interviennent en onde pleine

Si cette situation est empêchée au moyen de dispositifs de protection appropriés, par exemple des parafoudres ou des éclateurs à tige à réglage suffisamment bas, les essais en onde coupée ne sont pas nécessaires

6 Isolement par rapport à la terre

On ne doit choisir l'isolation graduée ni pour des enroulements couplés en triangle ni pour des enroulements couplés en étoile ou en zigzag, lorsque l'extrémité neutre des enroulements n'est pas spécifiée comme devant être mise à la terre

On peut choisir, quand la tension la plus élevée du réseau est égale ou supérieure à 72,5 kV, l'isolation graduée pour les enroulements en étoile et en zigzag s'il est spécifié soit que l'extrémité neutre des enroulements est mise à la terre conformément à l'article 21, catégorie 1, 2, 3 ou 4, soit qu'elle est protégée par un limiteur de tension approprié

Les transformateurs monophasés qui font partie d'un groupe triphasé ou peuvent être utilisés en groupe triphasé doivent avoir un niveau d'isolement approprié à la tension la plus élevée du réseau triphasé, ainsi qu'à son mode de mise à la terre, quel que soit leur couplage (étoile, triangle, zigzag, etc)

c) *Earthed neutral system*

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

Standard 2 insulation level appropriate to the system highest voltage is normally applicable to this condition

4 Exposure to overvoltages

Transformers for electrically exposed situations should be designed to withstand an impulse voltage test

On a system with effectively earthed neutral, the use of a surge diverter with suitable characteristics (see IEC Publication 99, Recommendations for Lightning Arresters) may permit the choice of a transformer with an insulation level lower than Standard 2

In addition to overvoltages of atmospheric origin to which transformers in electrically exposed areas may be subjected, there may be overvoltages originating within the transformer or elsewhere in the system, and these will affect transformers installed both in electrically exposed and electrically non-exposed positions. Such internal overvoltages may result from the operation of a circuit-breaker or fuse when switching an inductive or capacitive circuit

5 Choice of impulse tests

The impulse test specified in Clause 45 comprises full-wave voltage applications only, but, if specified by the purchaser as an addition, chopped-wave applications specified in Clause 46 can be included

All flashovers in a station result in chopped surges of various amplitudes and steepness. If these are liable to occur in service to a dangerous degree, the strength of the transformer against such surges can only be determined by a chopped-wave test

A transformer designed to withstand only the full-wave test is vulnerable to an unknown extent to waves chopped in the vicinity of the transformer, because higher internal stresses between turns and coils may be developed than under full-wave conditions

If this condition is prevented by suitable protective devices, for example, by lightning arresters or by rod gaps set sufficiently low, chopped-wave tests are unnecessary

6 Insulation to earth

Graded insulation should not be selected for delta-connected windings or for star or interconnected star windings where earthing of the neutral ends of the windings is not specified

Graded insulation may be selected for system highest voltages of 72.5 kV and above for star and interconnected star windings if either the neutral end of the windings is specified for connection to earth according to Clause 21, category 1, 2, 3 or 4, or the neutral point is protected by a suitable surge diverter

Single-phase transformers which form part of, or may be used in, a three-phase bank, should have an insulation level appropriate to the system highest voltage of the three-phase system, and to the method of system earthing, whatever the mode of connection (star, delta, interconnected star, etc.)