

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

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

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

(affiliated to the International Organization for Standardization — ISO)

Publication 76

Première édition — First edition

1955

Recommandations de la C.E.I. pour les transformateurs de puissance

I.E.C. Recommendations for power transformers



Droits de reproduction réservés — Copyright all rights reserved

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale

Genève, Suisse

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60076:1955

Withdrawn

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

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

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

(affiliated to the International Organization for Standardization — ISO)

Publication 76

Première édition — First edition

1955

Recommandations de la C.E.I. pour les transformateurs de puissance

I.E.C. Recommendations for power transformers



Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale

Genève, Suisse

SOMMAIRE

	Pages
PRÉAMBULE	4
PRÉFACE	4
CHAPITRE	
I Domaine d'application des Recommandations	8
II Définitions	10
III Pertes et rendements	12
IV Tolérances	14
V Limites d'échauffements	18
VI Mesure des températures	22
VII Niveaux d'isolement et épreuves diélectriques	30
VIII Tenue des transformateurs au court-circuit	50
IX Plaques signalétiques	52
X Puissances nominales normalisées	52
XI Prises supplémentaires normales	54
XII Définition et désignation des couplages de transformateurs triphasés	54
ANNEXE	
I Désignation des couplages de transformateurs triphasés	58
II Mise en parallèle des transformateurs triphasés	60
III Détermination de la variation de tension	66
IV Classification des matières isolantes	68
V Tensions nominales et tensions les plus élevées des réseaux	70

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
PREFACE	5
SECTION	
I Scope of Recommendations	9
II Definitions	11
III Losses and efficiencies	13
IV Tolerances	15
V Limits of temperature-rise	19
VI Temperature measurements	23
VII Insulation levels and tests	31
VIII Ability of transformers to withstand a short circuit	51
IX Rating plates	53
X Standard kVA ratings	53
XI Standard tapplings	55
XII Definition and designation of connections of three-phase transformers	55
APPENDIX	
I Designation of three-phase transformer connections and phase-angles	59
II Connection in parallel of three-phase transformers	61
III Calculation of voltage regulation	67
IV Classification of insulating materials	69
V Nominal and highest system voltages	71

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**RECOMMANDATIONS DE LA C.E.I. POUR LES 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

Les Recommandations de la C E I relatives aux transformateurs de puissance furent publiées à l'origine dans les « Règles de la C E I pour les machines électriques », document établi par le Comité d'Etudes n° 2

Par suite de l'évolution qui se produisit dans les domaines des machines tournantes et des transformateurs, on décida à Scheveningen, en 1935, d'établir des recommandations séparées pour chacun de ces sujets et, en conséquence, le Comité d'Etudes n° 2 fut scindé en deux sections, A et B

La Section B tint des réunions à Paris en 1937 et à Torquay en 1938 A la suite de cette dernière un projet fut préparé et diffusé aux Comités nationaux

Du fait de la guerre, ce document ne fut pas publié comme Recommandation de la C E I et, lors de la reprise des travaux, on constata qu'il était nécessaire de le revoir complètement à la lumière des progrès accomplis depuis 1939

La Section B du Comité d'Etudes n° 2 fut reconstituée en tant que Comité d'Etudes n° 14 — Transformateurs de puissance, et se réunit à Londres en mars 1949 pour préparer un nouveau projet Une nouvelle réunion eut lieu à Estoril en 1951 où un Comité de rédaction fut créé pour terminer le projet Le Comité de Rédaction se réunit à Paris en mai 1952, puis à Scheveningen en septembre 1952, et un projet définitif en résulta Ce document fut diffusé en décembre 1953 pour approbation suivant la Règle des Six Mois

Les pays suivants ont donné leur accord explicite à la publication de ce document

Autriche	Pays-Bas
Belgique	République Fédérale Allemande
Danemark	Royaume-Uni
France	Suisse
Inde	Union Sud-Africaine
Japon	Yougoslavie
Norvège	

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

I.E.C. RECOMMENDATIONS FOR 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 recognised 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

The I E C Recommendations relating to Power Transformers were originally published in "I E C Rules for Electrical Machinery", a document prepared by Advisory Committee No 2

As a result of developments both in the fields of rotating electrical machinery and transformers it was decided, at Scheveningen in 1935, to prepare separate Recommendations for each of these subjects and, accordingly, Advisory Committee No 2 was divided into Sections A and B

Section 2B met in Paris in 1937 and Torquay in 1938, and as a result of this meeting a draft was prepared which was circulated in May, 1939 to the National Committees

Due to the War the document was never published as an I E C Recommendation and when work was recommenced it was found to be necessary to reconsider the document afresh in the light of progress made since 1939

Section B of Advisory Committee No 2 was reconstituted as Technical Committee No 14, Power Transformers, and met in London in March 1949 to prepare a fresh draft A further meeting was held in Estoril, Portugal, in 1951 and an Editing Committee was formed to complete the draft This Editing Committee met in Paris in May, 1952 and in Scheveningen in September, 1952 and as a result a final draft document was circulated under the Six Months' Rule in December, 1953

This draft was explicitly approved by the following countries:

Austria	Netherlands
Belgium	Norway
Denmark	Switzerland
France	United Kingdom
German Federal Republic	Union of South Africa
India	Yugoslavia
Japan	

Le Comité national des Etats-Unis reconnaît que beaucoup de compromis sont nécessaires dans la préparation des normes. Il estime cependant que plusieurs des prescriptions figurant dans les Recommandations de la C E I demandent à être revues avant que les Recommandations soient généralement acceptées aux Etats-Unis.

L'objection la plus sérieuse a trait aux limites d'échauffement recommandées. Il est spécifié au tableau II (ii) des limites de 60° C et 65° C pour les matières de la Classe A. La valeur correspondante dans les Règles américaines est 55° C. La valeur 55° C, depuis longtemps adoptée dans la pratique américaine, a été utilisée comme base pour une structure d'ensemble de codes concernant les charges et les méthodes d'exploitation. Les transformateurs prévus pour des échauffements de 60° C et au-dessus ne sont pas aptes à fonctionner de manière satisfaisante dans de telles conditions. Le Comité national des Etats-Unis n'est pas disposé à approuver les présentes Recommandations parce qu'une telle action donnerait l'impression que le matériel conforme aux Recommandations est satisfaisant pour un fonctionnement dans les conditions existantes aux Etats-Unis.

Dans certaines autres parties des Recommandations, notamment en ce qui concerne les tensions des réseaux et les niveaux d'isolement normalisés, les différences entre les pratiques courantes en Europe et en Amérique ont été reconnues et il a été tenu compte des deux pratiques. Le Comité des Etats-Unis recommande de traiter de manière analogue les limites d'échauffement et de reconnaître les deux pratiques.

Le Comité National Suédois a émis un vote négatif parce qu'il estime que les prescriptions de l'article 801 sont susceptibles de causer de la confusion jusqu'à ce que des règles définies aient été incorporées dans les Recommandations au sujet de la manière dont doit être vérifiée la conformité à ces prescriptions, par des essais ou par des calculs.

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

The United States National Committee recognizes that many compromises are necessary in the preparation of a standard. Nevertheless, the Committee believes that several provisions of the I E C Recommendations require revision before the Recommendations will receive general acceptance in the United States.

The most serious objection pertains to the recommended limits of temperature-rise. Table II (ii) specifies limits of 60° C and 65° C for Class A materials. The corresponding value in American Standards is 55° C. The 55° C value, long used in American practice, has been used as the base for a comprehensive structure of loading guides and operating practices. Transformers with temperature-rises of 60° C and higher are inadequate for satisfactory operation under these practices. The U S National Committee is unwilling to approve the Recommendations, because such action would give the impression that apparatus conforming with the Recommendations is satisfactory for operation under conditions prevailing in the United States.

In some other parts of the Recommendations, notably in connection with system voltages and standard insulation levels, differences between European and American practices were recognized and both practices were included. It is recommended by the United States National Committee that temperature-rise limits be treated similarly and that both practices be recognized.

The Swedish National Committee has voted in the negative because it considers that the requirements of Clause 801 may lead to confusion until definite prescriptions are included as to how their fulfilment shall be verified, either by test or calculation.

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60076:1985

Withdrawing

RECOMMANDATIONS DE LA C.E.I. POUR LES TRANSFORMATEURS DE PUISSANCE

CHAPITRE I — DOMAINE D'APPLICATION DES RECOMMANDATIONS

101 Ces recommandations s'appliquent aux transformateurs de puissance (y compris les auto-transformateurs), ainsi qu'aux bobines d'inductance, 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 *)
- Transformateurs pour convertisseurs statiques
- Transformateurs de démarrage
- Transformateurs pour essais
- Transformateurs de traction montés sur matériel roulant
- Transformateurs de soudage

Lorsque des règles C E I particulières existent pour ces transformateurs spéciaux, elles leur sont applicables. Dans le cas contraire, lesdits transformateurs ne sont soumis aux présentes Recommandations que dans la mesure où leurs prescriptions peuvent être appliquées.

102 Les présentes Recommandations de la C E I concernent les transformateurs destinés à être utilisés dans les conditions suivantes:

- a) *Altitude* En l'absence d'indication concernant l'altitude (au-dessus du niveau de la mer) à laquelle le transformateur est destiné à fonctionner en service normal, cette altitude est supposée ne pas dépasser 1 000 mètres (3 300 pieds).
Pour des altitudes supérieures à 1 000 mètres, voir l'article 503.
- b) *Température du milieu de refroidissement* En l'absence d'indication contraire, il est supposé que la température maximum de l'eau de refroidissement, dans le cas d'appareils refroidis à l'eau, ne dépasse pas 25° C à l'entrée et que dans le cas d'appareils refroidis à l'air, aucune des températures limites suivantes n'est dépassée:

— Température maximum de l'air ambiant	40° C
— Température moyenne journalière de l'air	30° C
— Température moyenne annuelle de l'air	20° C

Les transformateurs destinés à fonctionner sous des climats tropicaux ou dans des conditions particulièrement sévères, et pour lesquels l'une quelconque de ces valeurs limites est dépassée sont soumis à l'article 502.

Nota — Les transformateurs ne doivent pas être soumis en service à des charges dépassant la charge nominale ou à des conditions s'éloignant des conditions spécifiées ci-dessus à moins que l'on ne soit informé qu'ils peuvent satisfaire à ces conditions.

- c) *Forme d'onde de la tension du réseau* La forme d'onde de la tension appliquée aux bornes de l'enroulement primaire du transformateur doit être pratiquement sinusoïdale.

*) Pour les transformateurs de mesure, voir la Publication 44.

I.E.C. RECOMMENDATIONS FOR POWER TRANSFORMERS

SECTION I — SCOPE OF RECOMMENDATIONS

101 These Recommendations apply to power transformers (including auto-transformers) and reactors with the exception of certain small and special transformers as follows —

Transformers rated at less than 1 kVA for single-phase and less than 5 kVA for polyphase

Instrument transformers *

Transformers for static convertors

Starting transformers

Testing transformers

Traction transformers mounted on rolling stock

Welding transformers

When I E C standard rules exist for such special transformers, those rules will be applicable. In cases where no specific rules exist for such special transformers they are subject to the present Recommendations in so far as its provisions are applicable.

102 These I E C Recommendations are intended for transformers for use under the following conditions —

(a) *Altitude* In the absence of any information in regard to the height above sea level at which the transformer is intended to work in ordinary service, the altitude is assumed not to exceed 1 000 metres (3 300 feet)

For altitudes in excess of 1 000 metres, see Clause 503

(b) *Temperature of cooling medium* In the absence of any information to the contrary it is assumed that for water-cooled apparatus the temperature of the cooling water will not exceed 25° C at the inlet, and in the case of air-cooled apparatus none of the following limits is exceeded:—

— maximum ambient air temperature 40° C

— daily average ambient air temperature 30° C

— yearly average ambient air temperature 20° C

Under tropical or other adverse duty conditions, where any one of the above three limits is encountered, the requirements of Clause 502 shall be satisfied

Note — Transformers should not be submitted to conditions in service which depart from the conditions specified above, unless information as to their suitability for this purpose is available

(c) *Wave shape of system voltage* The wave shape of the system voltage applied to the primary winding terminals of the transformer shall be approximately sinusoidal

* For instrument transformers, see Publication 44

- d) *Symétrie des systèmes polyphasés* Les tensions et les courants constituant la charge du réseau doivent être pratiquement symétriques
Un système de tensions ou de courants polyphasés est considéré comme pratiquement symétrique si les valeurs des composantes inverse et homopolaire de la tension ou du courant n'excèdent pas plus de 5 pour cent de la valeur nominale de la composante directe de la tension ou du courant
- e) *Conditions d'exécution des essais* Les essais prescrits dans les présentes règles doivent être effectués, autant que possible, dans les ateliers du constructeur, sur des appareils neufs, secs et en ordre de marche
Les essais exécutés en d'autres lieux ne sont admis que si l'on peut être assuré que les mesures peuvent être faites avec exactitude et que les différentes conditions prescrites dans les présentes recommandations peuvent être remplies

CHAPITRE II — DÉFINITIONS

Dans l'utilisation des présentes règles, les définitions données ci-après sont applicables

201 *Termes « primaire » et « secondaire »* Le terme « primaire » s'applique à un enroulement qui reçoit sa puissance du réseau

Le terme « secondaire » s'applique à un enroulement qui fournit de la puissance au réseau

202 *Tension nominale primaire* La tension nominale primaire est la tension applicable dans les conditions normales de fonctionnement à l'ensemble de l'enroulement primaire quand il n'y a pas de prises ou à la prise principale pour un enroulement muni de prises Elle est spécifiée par l'acheteur et inscrite sur la plaque signalétique

Nota — La tension nominale primaire sert de base à tous les essais à l'exception des essais diélectriques (voir art 704)

203 *Tension nominale secondaire* La tension nominale secondaire est la tension produite à vide par l'ensemble de l'enroulement secondaire quand il n'y a pas de prises ou, pour un enroulement muni de prises, par la partie de l'enroulement comprise jusqu'à la prise principale quand la tension nominale primaire est appliquée selon l'article 202 Elle est indiquée par l'acheteur, et inscrite sur la plaque signalétique

204 *Rapport du nombre de spires* Le rapport du nombre de spires primaires au nombre de spires secondaires est pris égal au rapport de la tension nominale primaire à la tension nominale secondaire, multiplié par un facteur dépendant du mode de connexion des enroulements, dans le cas d'un transformateur polyphasé

205 *Fréquence nominale* La fréquence nominale est celle pour laquelle le transformateur a été établi en vue de satisfaire aux conditions énoncées dans les présentes recommandations; elle est indiquée sur la plaque signalétique

206 *Régime nominal C E I* Le régime nominal C E I d'un transformateur est défini par l'ensemble des valeurs numériques des grandeurs électriques et autres, fixées par le constructeur et indiquées sur la plaque signalétique, et caractérisant le fonctionnement dans des conditions spécifiées

Le régime nominal C E I est un régime établi internationalement en vue de permettre de faire une comparaison exacte entre les transformateurs

Puissance nominale C E I Le régime nominal C E I d'un transformateur défini ci-dessus comprend, parmi ses éléments constitutifs, la valeur de la puissance continue spécifiée par l'acheteur (en kVA ou MVA) et telle que, la tension nominale primaire étant appliquée à la prise principale primaire et la fréquence étant la fréquence nominale, le transformateur peut fournir son courant nominal secondaire (voir article 207 ci-dessous) pendant une durée illimitée sans que soient dépassées les limites d'échauffement prescrites au chapitre 5

- (d) *Symmetry of polyphase system* The voltage and load currents in the system shall be approximately symmetrical
A polyphase system is considered to be approximately symmetrical when the negative sequence and the zero sequence components of system voltage and current have respective values not greater than 5 per cent of the positive sequence values of rated voltage and rated current
- (e) *Testing conditions* The tests specified in the present rules shall be carried out, as far as possible, in the manufacturers' works with the transformer new, dried, and ready for normal operation Tests made elsewhere are only admissible when they can be carried out accurately, and otherwise strictly in accordance with these Recommendations

SECTION II — DEFINITIONS

For the purpose of these Recommendations the definitions given below are applicable

201 *Terms "Primary and Secondary"* The term "primary" is associated with a winding that receives power from a system

The term "secondary" is associated with a winding that delivers power to a system

202 *Rated primary voltage* The rated primary voltage is the voltage applicable under normal operating conditions to the full primary winding if there are no tappings or to the principal tapping on a tapped winding It is specified by the purchaser and marked on the rating plate

Note — The rated primary voltage is the test basis for all characteristics except insulation (see Clause 704)

203 *Rated secondary voltage* The rated secondary voltage is the voltage developed at no-load by the full secondary winding if there are no tappings or, in a tapped winding, by that part of the winding included up to the principal tapping when rated primary voltage is applied as in Clause 202 It is specified by the purchaser and marked on the rating plate

204 *Turns Ratio* The ratio of the number of primary turns to the number of secondary turns is taken as equal to the ratio of the rated primary voltage to the rated secondary voltage, multiplied by a phase factor depending on the method of connecting the windings in the case of polyphase transformers

205 *Rated frequency* The rated frequency is the frequency for which the transformer is designed to operate under the conditions of these Recommendations and as marked on the rating plate

206 *IEC Rating* The IEC rating defines the whole of the electrical and other relevant quantities assigned to the transformer by the manufacturer and stated on the rating plate for the definition of the performance and specified conditions

The IEC rating has been established as an international rating which will enable an exact comparison to be made between transformers

Rated Power The IEC Rating of a transformer, as defined above, includes, as one of its constituent items, a statement of the value of the continuous rated power specified by the purchaser (in kVA or MVA) and such that the transformer with its rated primary voltage at rated frequency applied on the principal primary tapping can deliver its rated secondary current (see Clause 207 below) for an unlimited period without the limits of temperature-rise given in Section 5 being exceeded

La puissance nominale C E I est conventionnellement prise égale au produit de la tension nominale secondaire, du courant nominal secondaire et du facteur approprié tenant compte du nombre de phases

Nota — A tension primaire constante, la puissance apparente fournie aux bornes secondaires en charge diffère de la puissance nominale C E I d'une quantité qui correspond à la chute de tension; elle est égale au produit de la tension secondaire réelle en charge par le courant nominal secondaire et du facteur approprié tenant compte du nombre de phases La chute de tension en charge peut être compensée en ajustant convenablement la tension primaire

207 *Courant nominal secondaire* Le courant nominal secondaire est le courant en ligne, obtenu en divisant la puissance nominale C E I par la tension nominale secondaire et par un facteur approprié tenant compte du nombre de phases, dans le cas de transformateurs polyphasés

208 *Courant nominal primaire* Le courant nominal primaire est le courant en ligne obtenu en divisant le courant nominal secondaire par le rapport du nombre de spires et par un facteur approprié tenant compte du mode de connexion des enroulements

209 *Prise principale* Dans l'établissement de la spécification et la détermination des garanties, on considère comme prise principale celle qui correspond (exactement ou aussi exactement que possible) à la tension nominale du transformateur, telle que spécifiée par l'acheteur; à défaut, on prend pour prise principale la prise moyenne, si le nombre de prises est impair, ou celle des deux prises moyennes qui correspond au plus grand nombre de spires, si le nombre de prises est pair

210 *Echauffement* L'échauffement d'un organe de transformateur est la différence entre sa température et celle du milieu de refroidissement (voir articles 501 et 602)

211 *Tension de court-circuit* La tension de court-circuit est la tension exprimée en pour cent de la tension nominale primaire et ramenée à la température de référence de 75° C (voir article 304), qu'il est nécessaire d'appliquer entre les bornes primaires pour y faire circuler le courant nominal primaire, le secondaire étant en court-circuit, ou vice-versa, auquel cas elle est exprimée en pour cent de la tension nominale secondaire Les prises utilisées sont, sauf spécification contraire, les prises principales, telles que définies à l'article 209 La mesure de la tension de court-circuit peut être effectuée avec un courant inférieur au courant nominal, en admettant la proportionnalité de la tension au courant

212 *Essai de type* Essai effectué par le constructeur sur un transformateur représentatif d'une série d'appareils de même puissance et de construction identique, en vue d'établir qu'il satisfait aux présentes règles

Nota — Si un transformateur identique est disponible, il peut être utilisé pour l'essai de type, mais un essai de type est aussi considéré comme valable s'il est effectué sur un transformateur légèrement différent au point de vue de la puissance, des tensions, de la tension de court-circuit, des gammes de prises, etc ; de tels écarts font l'objet d'un accord entre l'acheteur et le fabricant

213 *Essai individuel* Essai effectué sur tous les appareils d'une fourniture

214 *Essai spécial* Essai qui n'est ni un essai de type, ni un essai individuel, effectué suivant accord particulier entre l'acheteur et le constructeur et applicable seulement à l'occasion d'une commande particulière

CHAPITRE III — PERTES ET RENDEMENTS

301 *Pertes à vide* Les pertes à vide sont les pertes mesurées à la fréquence nominale, avec une onde de tension sinusoïdale, lorsque l'on applique la tension nominale primaire aux bornes du primaire (le primaire étant connecté sur la prise principale), les autres enroulements étant à circuit ouvert, ou vice-versa

The rated power is conventionally taken as equal to the product of the rated secondary voltage, the rated secondary current and the appropriate phase factor

Note — With constant primary voltage, the apparent power at the secondary terminals in loaded condition differs from that of the I E C rating by an amount corresponding to the voltage drop: it is equal to the product of the actual secondary voltage on loading, the rated secondary current and the appropriate phase factor. The voltage-drop on load can be compensated for by an adjustment of the primary voltage

207 *Rated secondary current* The rated secondary current is the line current derived by dividing the rated power by the rated secondary voltage and, in the case of polyphase transformers, by the appropriate phase factor

208 *Rated primary current* The rated primary current is the line current derived from the rated secondary current by dividing it by the turns ratio and an appropriate factor taking into account the connections of the windings

209 *Principal tapping* The principal tapping, for the purpose of specification and guarantees, is the tapping which corresponds (exactly or most nearly) to the rated voltage of the transformer, as specified by the purchaser, or in cases where it is not specified by the purchaser, the principal tapping is the mean tapping if the number of tappings is odd or, if the number of tappings is even, that one of the two middle tappings having the higher number of turns

210 *Temperature-rise* The temperature-rise of any part of a transformer is the difference between its temperature and that of the cooling medium (see Clauses 501 and 602)

211 *Impedance voltage* Impedance voltage is the voltage, expressed as a percentage of the rated primary voltage and corrected to a reference temperature of 75°C (see Clause 304), required to be applied to the primary winding when the secondary winding is short-circuited to cause the rated primary current to flow into the terminals of the primary winding, or vice versa, in which latter case it is expressed as a percentage of the rated secondary voltage. The associated tapping should be the principal tapping as defined in Clause 209 unless otherwise stated. The impedance voltage may be measured at a current less than the rated current and the value corrected in proportion to the current

212 *Type test* A test made by the transformer manufacturer on a transformer which is representative of others identical in rating and construction, to demonstrate that it complies with this standard

Note — If an identical transformer is available, this should be used for the type test, but a type test shall also be considered valid if it is made on a transformer which has minor deviations of rating, voltages, impedance voltage, tapping range, etc.; such deviations are subject to agreement between manufacturer and purchaser

213 *Routine test* A test to which each individual transformer is subjected

214 *Special test* A test, other than a type test or routine test, agreed by the purchaser and manufacturer and applicable only to a particular contract

SECTION III — LOSSES AND EFFICIENCIES

301 *No-load loss* No-load loss is the loss measured on a sine-wave voltage basis at rated frequency when rated primary voltage is applied to the primary terminals, (the primary winding being connected on the principal tapping) the other windings being open circuited, or vice versa

Ces mesures doivent être effectuées comme suit:

- a) Pour tous les transformateurs, à l'exception des transformateurs triphasés dont aucun enroulement n'est connecté en triangle, les pertes à vide doivent être mesurées en ajustant la tension au moyen d'un voltmètre donnant la valeur moyenne de la tension ou, si cela n'est pas possible, par tout autre moyen agréé permettant de déterminer la valeur moyenne de la tension ou la valeur de crête du flux
- b) Dans le cas de transformateurs triphasés dont aucun enroulement n'est connecté en triangle, les pertes à vide doivent être mesurées au moyen d'un voltmètre électrodynamique donnant la valeur efficace de la tension; dans ce cas, la forme d'onde de la tension appliquée entre phases doit être telle que la somme des harmoniques d'ordre 5 et 7 n'excède pas 5 % de la tension appliquée

Nota — Le facteur de forme de la tension d'alimentation ne suffit pas à caractériser à ce point de vue la forme d'onde de la tension d'alimentation ou de la tension par phase

302 *Pertes dues à la charge* Les pertes dues à la charge sont les pertes dans le transformateur à la fréquence nominale lorsque les bornes de l'enroulement primaire sont traversées par le courant nominal primaire, l'enroulement secondaire étant mis en court-circuit, ou vice-versa, le transformateur étant connecté sur ses prises principales. La mesure peut être effectuée avec un courant inférieur au courant nominal, en admettant la proportionnalité des pertes au carré du courant

Les résultats d'essais doivent être ramenés à la température de référence de 75° C (voir article 304)

303 *Garanties concernant les pertes* Les valeurs garanties pour les pertes à vide et pour les pertes dues à la charge du transformateur seront indiquées dans le devis, de façon à permettre le calcul du rendement pour une charge quelconque et pour un facteur de puissance quelconque

Les pertes dans les auxiliaires doivent être données séparément. Elles ne seront pas comprises dans les pertes du transformateur pour le calcul du rendement

304 *Température de référence pour les pertes* Les pertes doivent être garanties pour une température de référence de 75° C

Les pertes dues à la charge, somme des pertes en courant continu et des pertes supplémentaires en charge, peuvent être mesurées pour toute valeur convenable « θ », exprimée en degrés Celsius, de la température des enroulements, mais les résultats des mesures doivent être ramenés à la température de référence de 75° C. Cette correction peut être effectuée en admettant que les pertes en courant continu (RI^2) varient avec la température en raison directe de la résistance, et que les pertes supplémentaires en charge varient avec la température en raison inverse de la résistance

Pour les transformateurs dont les enroulements sont en cuivre, la correction peut aussi être effectuée en ajustant la fréquence de la source pendant l'essai de court-circuit à une valeur obtenue en divisant la fréquence nominale par le facteur:

$$\frac{310}{235 + \theta}$$

et en multipliant les pertes ainsi obtenues par le même facteur

CHAPITRE IV — TOLÉRANCES

401 *Nomenclature des tolérances* Il n'est pas prévu que des garanties soient nécessairement données sur tous les points indiqués dans le tableau ci-après. Les devis contenant des garanties sujettes à tolérances devront le spécifier et les tolérances devront être conformes au tableau I ci-après:

The measurement shall be made as follows:—

- (a) For all normal transformers, except in the case of a 3-phase transformer without delta connected windings, the no-load losses shall be measured setting the voltage by a mean reading voltmeter or, if this is not practicable, by other approved means by which the mean value of the voltage or the peak value of the flux can be checked
- (b) For 3-phase transformers without any delta connected winding, the no-load losses shall be measured at the r m s voltage indicated with a normal electrodynamic voltmeter, and the waveform of the supply voltage between lines shall not contain more than 5% as the sum of the 5th and 7th harmonics

Note — The form factor of the line voltage is not a full indication of the wave shape of either the line voltage or the phase voltage

302 *Load loss* Load loss is the loss in the transformer at the rated frequency with the rated primary current flowing into the primary terminals and with the secondary winding short-circuited, or vice versa, the transformer being connected on the principal tapplings. The measurement may be made with a current less than the rated current and the value corrected as the square of the current

The test result shall be corrected to a reference temperature of 75° C (see Clause 304)

303 *Loss guarantees* A statement of the guaranteed values of the no-load and load losses of the transformer shall be given in the quotation, from which values the efficiency may be calculated at any power-factor of the load

The losses in auxiliary plant shall be stated separately. They shall not be included in the transformer losses when efficiencies are calculated

304 *Reference temperature for losses* The losses shall be guaranteed for a reference temperature of 75° C

The load loss (the sum of the direct-load loss and supplementary losses on load) may be measured at any convenient winding temperature “ θ ”, expressed in Centigrade degrees, but the test results shall be corrected to the reference temperature of 75° C. The correction can be calculated on the assumption that the direct-load loss (I^2R) varies with temperature directly as the variation in resistance, and that the supplementary losses on load vary with temperature inversely as the variation in resistance

For transformers having copper windings, the correction may also be effected by adjusting the frequency of supply during the short-circuit test to a value given by dividing the rated frequency by the factor —

$$\frac{310}{235 + \theta}$$

and multiplying the losses so obtained by the same factor

SECTION IV — TOLERANCES

401 *Schedule of tolerances* It is not intended that guarantees shall necessarily be given for all of the items shown in the table below. Quotations including guarantees subject to tolerance shall so state and the tolerances shall be in accordance with the following Table I

TABLEAU I

Article	Tolérance
<p>1 a) Pertes totales b) Pertes partielles</p>	<p>+ 1/10 des pertes totales + 1/7 de chacune des pertes partielles avec tolérance de + 1/10 sur le total des pertes</p>
<p>2 Rapport de transformation à vide</p>	<p>La plus faible des deux valeurs suivantes ± 1/200 du rapport garanti ou un pourcentage du rapport garanti égal à 1/10 de la tension de court-circuit (exprimée en pour cent) mesurée à la charge nominale</p>
<p>3 Tension de court-circuit a) Pour la prise principale b) Prises autres que la prise principale</p>	<p>± 1/10 de la tension de court-circuit garantie pour cette prise Si une garantie de tension de court-circuit est demandée et donnée pour des prises autres que la prise principale, la tolérance sera de ± 1/7 de la valeur garantie pour chacune de ces prises, à la condition que la prise considérée corresponde à une tension ne s'écartant pas de plus de ± 5% de la tension correspondant à la prise principale. Pour les prises correspondant à un écart de tension plus important, la tolérance devra faire l'objet d'un accord entre l'acheteur et le constructeur</p>
<p>4 Courant à vide</p>	<p>+ 3/10 du courant à vide garanti</p>
<p>5 Impédance (exprimée en ohms) des bobines de réactance de limitation de courant a) Pour le courant maximum à travers la bobine, (c'est-à-dire la valeur efficace du courant de court-circuit symétrique du réseau) pour lequel la bobine est prévue b) Pour le courant nominal</p>	<p>Pour les bobines de réactance à fer, moins 1/20 de l'impédance spécifiée Pour les bobines de réactance sans fer, l'impédance au courant maximum ne sera pas inférieure à la valeur spécifiée <i>Nota</i> — Cette garantie peut être vérifiée par référence à des essais de type ou par tout autre moyen résultant d'un accord entre le constructeur et l'acheteur + 1/5 de l'impédance spécifiée *</p>

* *Nota* — En ce qui concerne les articles 5a) et 5b), il est recommandé que les bobines de réactance soient établies avec souci de maintenir l'impédance au courant maximum à une valeur qui ne soit pas inférieure à la valeur spécifiée et d'obtenir l'impédance en charge nominale avec la tolérance la plus faible possible

TABLE I

Item	Tolerance
1 (a) Total losses (b) Component losses	+ 1/10 of the total losses + 1/7 of each of the component losses, subject to a tolerance on the total losses of + 1/10
2 Voltage ratio at no-load	$\pm 1/200$ of the guaranteed ratio, or a percentage of the guaranteed ratio equal to 1/10 of the actual percentage impedance voltage at rated load, whichever is the less
3 Impedance voltage (short-circuit voltage) (a) For the principal tapping (b) Tappings other than the principal tapping	$\pm 1/10$ of the guaranteed impedance voltage for that tapping If a guarantee of impedance voltage is asked for and given for tappings, other than the principal tapping, the tolerance shall be $\pm 1/7$ of the guaranteed value for each respective tapping, provided such tappings refer to voltages within $\pm 5\%$ of the principal tapping. For tappings outside the range of $\pm 5\%$, the tolerance shall be a matter of agreement between the manufacturer and the purchaser
4 No-load current	+ 3/10 of the guaranteed no-load current
5 Impedance (expressed in ohms) of current-limiting reactors (a) at maximum through current (i.e. the r.m.s. value of the symmetrical short-circuit current of the system) for which the reactor is designed (b) at rated current	Minus 1/20 of specified impedance for iron core reactors. For reactors without iron in the magnetic circuit the impedance at maximum through current shall be not less than the specified value * <i>Note</i> — Item 5a) is a design feature which may be established by reference to type tests or as otherwise agreed between manufacturer and purchaser + 1/5 of the specified impedance *

* *Note* — With reference to items 5a) and 5b) it is recommended that reactors should be designed with the object of keeping the value of the impedance at maximum through current not less than the specified value, and the value on normal load within as small a positive tolerance as possible

CHAPITRE V — LIMITES D'ÉCHAUFFEMENTS

501 *Tableau des échauffements* Le tableau II suivant donne les limites des échauffements admissibles pour les transformateurs destinés à fonctionner avec une température maximum du milieu de refroidissement ne dépassant pas les limites spécifiées à l'article 102b), ces transformateurs étant isolés avec des matières de la classe A ou de la classe B telles qu'elles sont définies à l'annexe IV

Pour les matières de la classe O, les limites des échauffements admissibles sont inférieures de 15° C à celles prévues pour les isolants de la classe A

Aucune limite d'échauffement n'a été encore fixée pour les matières isolantes appartenant à d'autres classes

TABLEAU II

ÉCHAUFFEMENTS LIMITES DES TRANSFORMATEURS

a) Enroulements

(i) *Transformateurs du type sec*

Article N°	Refroidissement	Echauffement mesuré par variation de résistance (voir art 603)	
		Isolants Classe A	Isolants Classe B
1 2	naturel par ventilation forcée	55° C	75° C

(ii) *Transformateurs immergés dans l'huile*

Article N°	Refroidissement	Circulation d'huile	Echauffement mesuré par variat de résistance (voir art 603) Isolants Classe A
3 4 5	naturel par ventilation forcée par circulation interne d'eau	naturelle, par convection	60° C
6 7	par ventilation forcée par hydro-réfrigérants externes	circulation forcée par pompe à huile	65° C

SECTION V — LIMITS OF TEMPERATURE-RISE

501 *Table of temperature-rises* The following Table II gives the limits of permissible temperature-rise for transformers intended to operate with maximum cooling medium temperature not exceeding the limits stated in Clause 102b), and insulated with Class A and Class B insulating materials as defined in Appendix IV

For Class O material the limits of permissible temperature-rise are 15° C lower than for Class A material

For other classes of insulating material no limits of temperature-rise have yet been assigned

TABLE II
LIMITS OF TEMPERATURE-RISE OF TRANSFORMERS

(a) Windings

i) *Dry-type transformers*

Item No	Cooling	Temperature-rise by resistance method (see Clause 603)	
		Class A materials	Class B materials
1	natural air	55° C	75° C
2	air-blast		

(ii) *Oil-immersed transformers*

Item No	Cooling	Oil circulation	Temperature-rise by resistance method (see Clause 603) Class A materials
3	natural air	natural thermal head	60° C
4	air-blast		
5	water (internal coolers)		
6	air-blast	forced circulation by oil pump	65° C
7	water (external coolers)		

b) Organes divers

Article N°	Elément	Echauffement mesuré par thermomètre
8	Huile (aussi près que possible du niveau supérieur)	55° C quand l'huile de la cuve est protégée contre le contact de l'air 50° C quand l'huile de la cuve est en contact avec l'air
9	Tôles magnétiques et autres parties	L'échauffement ne doit en aucun cas atteindre une valeur telle qu'il y ait risque de dommage pour le circuit magnétique ou pour toute autre partie du transformateur

502 *Transformateurs destinés à fonctionner avec un fluide de refroidissement dont la température est supérieure à la température normale de référence du milieu refroidissant* Un transformateur destiné à fonctionner sous un climat tropical, ou dans toute autre condition anormale où l'on rencontre des températures supérieures à celles spécifiées à l'article 102b), doit être conçu plus largement qu'un transformateur conçu pour le régime et l'échauffement normaux C E I

a) *Transformateurs à refroidissement par l'air* S'il est spécifié par l'acheteur que, d'après les relevés météorologiques du pays dans lequel le transformateur doit fonctionner, une (ou plusieurs) des conditions suivantes se trouve réalisée

- i) la température moyenne annuelle de l'air ambiant excède 20° C d'une quantité qui n'est pas supérieure à 10° C;
- ii) la température moyenne journalière de l'air ambiant, déterminée pendant une journée quelconque de 24 heures excède 30° C d'une quantité qui n'est pas supérieure à 10° C;
- iii) la température maximum de l'air ambiant excède 40° C d'une quantité qui n'est pas supérieure à 10° C;

le transformateur sera prévu de telle sorte que son échauffement soit inférieur de 10° C à l'échauffement limite normal C E I tel qu'il est spécifié à l'article 501

Lorsque la température de l'air ambiant dépasse la température de référence de plus de 10° C, l'échauffement des enroulements et celui de l'huile feront l'objet d'un accord entre le constructeur et l'acheteur

Nota I — Dans les pays où les puissances des transformateurs ont été normalisées conformément aux puissances nominales normalisées C E I, cette réduction d'échauffement de 10° C peut généralement, en pratique, être effectuée en ramenant la puissance nominale à 85% environ de la puissance nominale C E I

Nota II — Lorsque la température ambiante dépasse légèrement la température ambiante de référence (par exemple de 2 ou 3° C), la catégorie du transformateur à fournir, en ce qui concerne son échauffement, doit faire l'objet d'un accord entre l'acheteur et le constructeur

b) *Transformateurs refroidis par l'eau* Les transformateurs prévus pour fonctionner dans des endroits où la température maximum de l'eau de refroidissement dépasse 25° C devront faire l'objet d'un accord entre le constructeur et l'acheteur

503 *Transformateurs prévus pour fonctionner à une altitude supérieure à 1 000 mètres* Si le transformateur est prévu pour fonctionner à une altitude supérieure à 1 000 mètres (3 300 pieds), son échauffement devra subir une correction dépendant de l'altitude Pour les transformateurs normaux essayés à basse altitude mais destinés à fonctionner à une altitude dépassant 1 000 mètres (3 300 pieds), les limites

(b) Miscellaneous parts

Item No	Part	Temperature-rise by thermometer
8	Oil (as near the top level as possible,	55° C when the oil in the main tank is protected from contact with air 50° C when the oil in the main tank is in contact with air
9	Iron core and other parts	The temperature-rise shall in no case reach such a value that there is a risk of injury to any part of the core or to other parts of the transformer

502 *Transformers intended to operate with cooling medium temperature in excess of the standard reference cooling medium temperature* Under tropical or other abnormal conditions where temperatures in excess of those specified in Clause 102b) are encountered, the transformer must be more liberally designed than a transformer for the standard I E C rating and temperature-rise

- (a) *Air-cooled transformers* If it is specified by the purchaser that, as determined from the meteorological records of the region in which the transformer is to be operated, any one or more of the following conditions apply —
- (i) The annual average temperature of the ambient air exceeds 20° C by an amount not more than 10 Centigrade degrees,
 - (ii) The average temperature of the ambient air over 24 hours on any one day exceeds 30° C by an amount not more than 10 Centigrade degrees;
 - (iii) The maximum ambient air temperature at any time exceeds 40° C by an amount not more than 10 Centigrade degrees;

then the transformer supplied shall have a temperature-rise 10 Centigrade degrees less than the appropriate standard I E C limit as specified in Clause 501

In cases where the temperature of the ambient air exceeds the standard by more than 10 Centigrade degrees, the temperature-rise of the windings and of the oil shall be the subject of agreement between the manufacturer and the purchaser

Note 1 — In countries where transformers have been standardized on the basis of the I E C ratings, the reduction of 10 Centigrade degrees in temperature rise can generally, for practical purposes, be made by reducing the power rating to approximately 85 per cent of that of the I E C rating

Note 2 — In cases where the ambient temperature slightly exceeds (e.g. by two or three Centigrade degrees) the standard ambient temperature, the class of transformer to be supplied, as regards the temperature-rise, shall be the subject of agreement between the manufacturer and the purchaser

- (b) *Water-cooled transformers* Transformers intended to operate in service in situations where the maximum temperature of the cooling water is in excess of 25° C, shall be the subject of agreement between the manufacturer and the purchaser

503 *Transformers intended to operate at an altitude above 1 000 metres* If the transformer is intended to work at an altitude above 1 000 metres (3 300 feet) a correction to the temperature-rise, depending on the altitude, should be applied For standard transformers tested at normal altitude but intended to operate at altitudes in excess of 1 000 metres (3 300 feet) the limits of temperature-

d'échauffement données à l'article 501 doivent être réduites dans les proportions suivantes, par 100 mètres (330 pieds) d'altitude supplémentaire du lieu de fonctionnement au-dessus de 1 000 mètres (3 300 pieds):

Appareils immergés dans l'huile, à refroidissement naturel	0,4%
Appareils du type sec, à refroidissement naturel	0,5%
Appareils immergés dans l'huile, à ventilation forcée	0,6%
Appareils du type sec, à ventilation forcée	1,0%

Ces corrections seront uniquement appliquées aux transformateurs refroidis par l'air, aucune correction d'altitude ne sera appliquée aux transformateurs refroidis par l'eau

CHAPITRE VI — MESURE DES TEMPÉRATURES

601 *Valeur de la température du milieu refroidissant au cours des essais* L'essai d'un transformateur peut être effectué à une température convenable quelconque de l'air de refroidissement, comprise entre 10° C et 40° C, ou à une température de l'eau de refroidissement inférieure à 25° C, mais, quelle que soit la valeur de la température de l'air ou de l'eau de refroidissement, les échauffements ne doivent pas dépasser, pendant l'essai, les limites données au chapitre 5.

Des corrections tenant compte de la différence entre la température de l'air de refroidissement pendant les essais et la température ambiante de référence ne sont pas jugées nécessaires dans les limites de température rencontrées dans la pratique

Durant les essais de transformateurs refroidis par l'eau, le constructeur est autorisé à élever la température de l'eau à 25° C ou à une valeur voisine

602 *Mesure de la température du milieu refroidissant au cours des essais* La température de l'air de refroidissement est mesurée au moyen de plusieurs thermomètres répartis à mi-hauteur autour du transformateur, à une distance d'un ou deux mètres de celui-ci, à l'abri de tout rayonnement de chaleur et des courants d'air

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

Pour éviter les erreurs qui peuvent provenir de la lenteur avec laquelle la température des gros transformateurs suit les variations de température de l'air de refroidissement, on prendra toutes dispositions convenables pour réduire ces variations et les erreurs qu'elles occasionnent. Pour la mesure de la température de l'air de refroidissement, il est préférable d'utiliser un transformateur à peu près identique, mais on peut aussi utiliser des thermomètres convenables plongés dans de l'huile contenue dans un récipient métallique lourd. Le matériel doit avoir une constante de temps approximativement égale à celle du transformateur à l'essai

Dans le cas de refroidissement par ventilation forcée, la température de l'air, mesurée à son entrée dans le circuit de ventilation du transformateur, est considérée comme température de l'air de refroidissement

Dans le cas de transformateurs refroidis par l'eau, on prendra pour température du milieu refroidissant la température de l'eau à l'entrée

603 *Méthodes de mesure de la température* Deux méthodes de détermination de la température sont reconnues sous réserve des prescriptions du présent article

- a) la méthode par variation de résistance, pour les enroulements;
- b) la méthode par thermomètre

La méthode par variation de résistance est en général applicable aux enroulements des transformateurs

rise given in Clause 501 shall be reduced by the following amounts for each 100 metres (330 feet) that the altitude at the operating site exceeds 1 000 metres (3 300 feet):—

for oil-immersed, natural-cooled transformers	0.4 per cent
for dry-type natural-cooled transformers	0.5 per cent
for oil-immersed, forced-air-cooled transformers	0.6 per cent
for dry-type forced-air-cooled transformers	1.0 per cent

These corrections shall be made only in respect of air-cooled transformers; no corrections for altitude shall be made in respect of water-cooled transformers

SECTION VI — TEMPERATURE MEASUREMENTS

601 Value of temperature of cooling medium during tests A transformer may be tested at any convenient cooling-air temperature between 10° C and 40° C or cooling-water temperature less than 25° C, but whatever may be the value of this cooling-air temperature or cooling-water temperature the permissible rises of temperatures shall not exceed, during the test, those given in Section 5.

Corrections for any difference between the temperature of the cooling-air during works tests and the standard ambient temperature are not considered necessary, within the limits of temperatures of cooling-air obtaining in general practice

During tests on water-cooled transformers it is permissible for the manufacturer to raise the water temperature to 25° C or a figure near thereto

602 Measurement of temperature of cooling medium during tests The temperature of the cooling-air shall be measured by means of several thermometers placed at different points around and at a distance of one or two metres from, and halfway up the transformer and protected from all heat radiation and draughts

The value to be adopted for the temperature of the cooling-air during a test shall be the mean of the readings of these thermometers taken at equal intervals of time during the last quarter of the duration of the test

In order to avoid errors due to the time-lag between the temperature of large transformers and the variations in the cooling-air, all reasonable precautions shall be taken to reduce these variations and the errors arising therefrom. For the measurement of the cooling-air temperature, the use of a nearly identical transformer is preferable but suitable thermometers immersed in oil in a heavy metal cup may be used. The equipment should have a time constant judged to be approximately equivalent to that of the transformer under test

In the case of cooling by means of forced ventilation the temperature of the air, measured where it enters the cooling system of the transformer, shall be considered as the cooling-air temperature

In the case of water-cooled transformers, the inlet temperature of the water shall be taken as the temperature of the cooling medium

603 Methods of measurement of temperature Two methods of determining the temperature are recognized subject to the provisions given below in this clause —

- (a) Resistance method for windings,
- (b) Thermometer method

The method by increase of resistance of windings is generally applicable to transformer windings

Lorsque, pour des transformateurs du type sec, la méthode par variation de résistance n'est pas suffisamment précise, ou ne peut pas être appliquée, la méthode par thermomètre est utilisée. Dans ce cas, la valeur de l'échauffement moyen admissible sur la surface externe des enroulements doit être conforme aux indications données au tableau IIa(i) pour les enroulements où la méthode par variation de résistance est utilisée.

Il n'est pas prévu que les deux méthodes de mesure par thermomètre et par variation de résistance soient employées simultanément.

Les modalités d'exécution de ces méthodes sont données ci-après :

- a) *Méthode par variation de résistance des enroulements* Dans cette méthode, l'échauffement des enroulements est déduit par le calcul de l'augmentation de résistance de ces enroulements, comme indiqué à l'article 607.
- b) *Méthode par thermomètre* Dans cette méthode, la température est mesurée au moyen de thermomètres placés : i) dans le cas des transformateurs du type sec, sur la surface externe accessible des enroulements, ii) dans le cas des transformateurs immergés dans l'huile et seulement pour la mesure de la température de l'huile, aussi près que possible du niveau supérieur de l'huile. Le terme thermomètre comprend aussi les couples thermoelectriques non noyés et les thermomètres non internes à résistance.

Lorsque des thermomètres à réservoir sont employés en des points où existent des champs magnétiques variables ou mobiles, les thermomètres à alcool sont à préférer aux thermomètres à mercure, ces derniers étant peu sûrs dans ces conditions.

604 *Corrections pour mesures de température faites après l'arrêt du transformateur* Si la température n'est relevée qu'après l'arrêt du transformateur, on déduit la température la plus élevée atteinte pendant la marche par l'une des deux méthodes suivantes, au gré du constructeur :

- 1 La correction peut être déterminée approximativement en effectuant une série de mesures de résistances, en traçant la courbe de variation de la résistance en fonction du temps, puis en extrapolant la courbe jusqu'à l'instant origine, c'est-à-dire jusqu'au moment de l'arrêt. La température la plus élevée de l'enroulement est ensuite calculée à partir de la résistance au moment de l'arrêt.
- 2 Lorsque les pertes dues à la charge, déterminées au moyen de wattmètres, d'un appareil immergé dans l'huile à enroulements en cuivre, ne dépassent pas 66 watts par kilogramme (30 watts par pound), on pourra adopter pour valeur de la correction en degrés C, le produit de la perte en watts par kilogramme (ou par pound) de cuivre de chaque enroulement, par un facteur qui dépend du temps écoulé entre le moment de l'arrêt et le moment auquel la mesure de résistance a été faite, ce facteur est indiqué dans le tableau suivant :

Temps en minute	Facteur à utiliser quand les pertes sont exprimées en :	
	Watts par kilogramme	Watts par pound
1	0,09	0,19
1,5	0,12	0,26
2	0,15	0,32
3	0,20	0,43
4	0,23	0,50

Pour les valeurs intermédiaires du temps, la valeur du facteur s'obtiendra par interpolation. Les facteurs donnés dans le tableau précédent sont approximatifs et représentent des résultats moyens obtenus à partir d'appareils de construction courante. Il est admis que pour certains transformateurs, en particulier pour ceux dont le calcul diffère notablement de la pratique courante, ces facteurs peuvent ne pas donner des résultats suffisamment conformes à la réalité, dans de tels cas, on devra relever une courbe de refroidissement.

For dry-type transformers where measurement by the resistance method is not accurate or applicable, the thermometer method shall be used. In such cases the value of the permissible mean temperature-rise on the outer surface of the windings shall be in accordance with Table II *a*(i) for windings measured by the resistance method.

It is not intended that measurements by both the thermometer method and the resistance method shall be required.

Details of these methods of measurement are given below —

(a) *Resistance method for windings* In this method the temperature-rise of the windings is determined by the increase in the resistance of the windings by calculation as detailed in Clause 607.

(b) *Thermometer method* In the thermometer method the temperature is determined by thermometers applied on (i) dry-type transformers to the accessible outer surface of the windings, and on (ii) oil-immersed transformers, for measurement only of the oil temperature, as near as possible to the top level of the oil. The term thermometer also includes non-embedded thermo-couples and resistance thermometers.

When bulb thermometers are employed in places where there is any varying or moving magnetic field, alcohol thermometers should be used in preference to mercury thermometers, as the latter are unreliable under these conditions.

604 *Correction of measurements of winding temperature taken after the transformer is shut down*

If the temperature is measured only after the transformer is shut down, the highest winding temperature attained during operation shall be deduced by either of the following two methods, the choice to be made at the manufacturer's option.

- 1 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 shutdown. The highest winding temperature is then calculated from the resistance at the instant of shutdown.
- 2 When the load loss of oil-immersed apparatus having copper windings, as determined by wattmeter measurement, does not exceed 66 watts per kilogram (30 watts per pound), the correction in Centigrade degrees may be taken as the product of the watts loss per kilogram or per pound of copper for each winding multiplied by a factor that depends upon the time elapsed between the instant of shutdown and the time the resistance measurement is taken, as given in the following table —

<i>Time in minutes</i>	Factor to be used when the losses are expressed in:—	
	Watts per kilogram	Watts per pound
1	0.09	0.19
1.5	0.12	0.26
2	0.15	0.32
3	0.20	0.43
4	0.23	0.50

For intermediate times, values of the factors may be obtained by interpolation.

The factors 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 usual commercial proportions, these factors may not give sufficiently close results. In such cases a cooling curve should be taken.

605 *Résistance initiale* Dans la mesure de la résistance initiale des précautions doivent être prises en vue d'une détermination exacte de la température des enroulements

Si la mesure est effectuée sur des enroulements non placés dans l'huile, cette température sera prise égale à la moyenne des indications fournies par plusieurs thermomètres insérés entre les bobines.

Lorsque la mesure est effectuée sur des enroulements placés dans l'huile, on admettra pour température des enroulements la température mesurée à la partie supérieure de l'huile diminuée de la différence éventuelle entre la température prise à la partie supérieure de l'huile et celle prise à mi-hauteur des enroulements Cette différence peut être déterminée sur l'extérieur de la cuve

Avant la détermination de la résistance initiale et des températures de l'huile, le transformateur devra avoir été maintenu dans l'huile sans alimentation, pendant au moins trois à huit heures, suivant les dimensions du transformateur

606 *Durée de l'essai d'échauffement* La durée de l'essai d'échauffement sera déterminée conformément à l'une des deux méthodes suivantes, dont le choix reste au gré du constructeur

Méthode 1 L'essai d'échauffement sera poursuivi jusqu'à ce qu'il soit évident que l'échauffement maximum ne dépasserait pas les limites données au tableau II, même si l'essai était prolongé jusqu'à ce que la température soit stable et que l'équilibre thermique soit atteint On relèvera si possible les températures en marche aussi bien qu'après l'arrêt; on pourra considérer que l'essai est terminé lorsque la température n'augmente pas de plus de 2 ou 3° C par heure

Nota — Il est recommandé d'utiliser la méthode indiquée fig. 1 pour la détermination de l'échauffement final

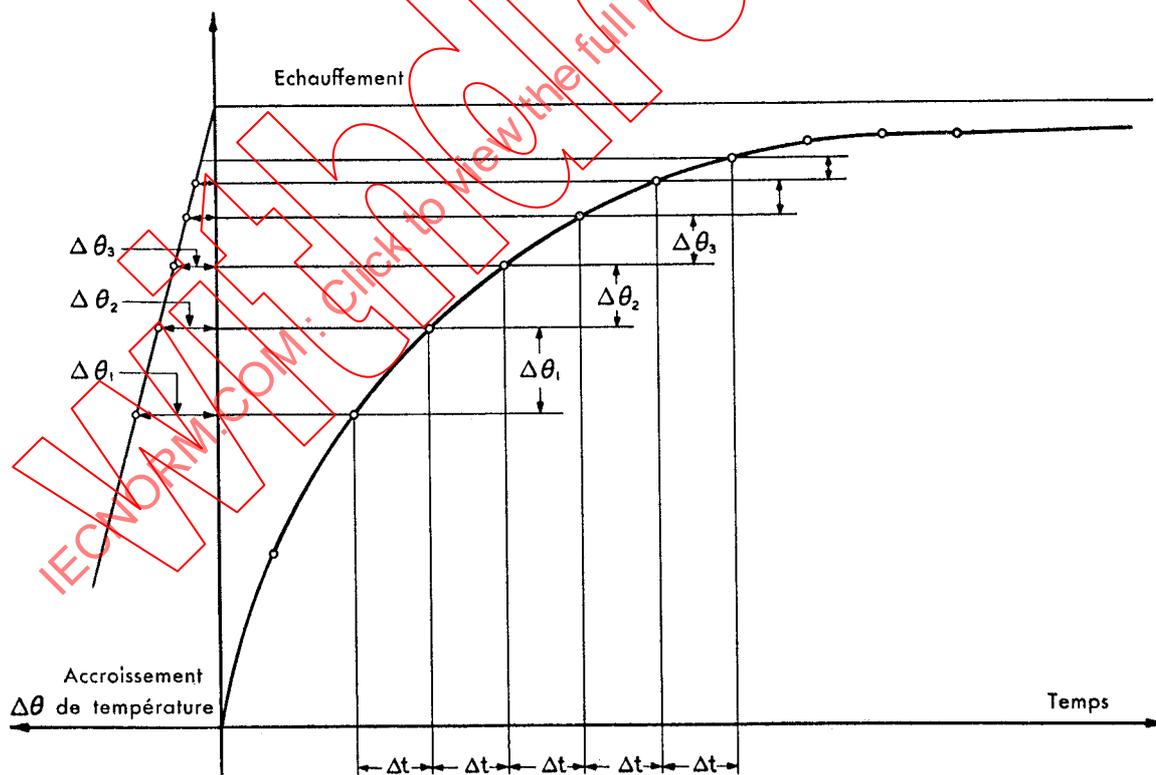


FIGURE 1

MÉTHODE DE DÉTERMINATION DE L'ÉCHAUFFEMENT FINAL DE L'HUILE

Nota — Les trois échelles sont linéaires

605 *Initial resistance* When measuring the initial resistance, precautions shall be taken to determine exactly the temperature of windings

When measuring with the windings out of oil this temperature shall be recorded as the average reading of several thermometers inserted between the coils

When measuring with the windings immersed in oil, the temperature of the windings shall be assumed to be the temperature of the top oil, corrected for any difference in oil temperature at the top and at the average height of the windings This difference may be determined on the outside of the tank

The transformer shall have been under oil without excitation for a minimum of 3 to 8 hours depending on the size of the transformer, before recording the initial resistance and oil temperatures

606 *Duration of temperature test* The duration of the temperature test shall be determined in accordance with either of the following two methods, and the choice shall be at the manufacturer's option:—

Method 1 The heating test on transformers shall be continued until there is evidence that the highest temperature-rise will not exceed the permissible figure (given in Table II) even if the test were continued until the temperature was stationary and thermal equilibrium was reached Temperatures shall be taken, where possible, during operation as well as when the transformer is shut down The test operation shall be regarded as ended when the temperature does not rise by more than 2 or 3 Centigrade degrees per hour

Note — For the determination of the final temperature-rise the method given in Figure 1 is recommended

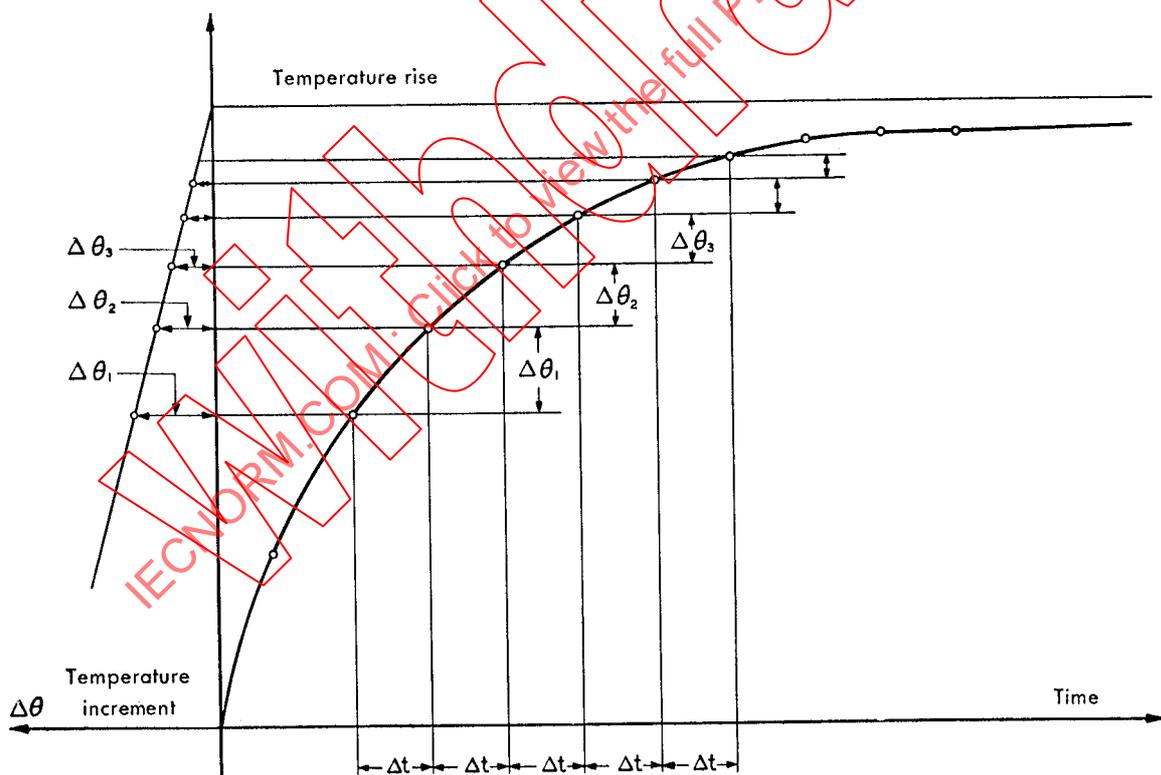


FIGURE 1

METHOD FOR DETERMINING FINAL TEMPERATURE-RISE OF OIL

Note — All three scales are linear

Méthode 2 L'essai d'échauffement sera prolongé jusqu'à ce que la température au niveau supérieur de l'huile ne varie pas de plus de 1° C par heure pendant 4 heures consécutives

Si l'essai d'échauffement est commencé sans que le système de refroidissement soit en service, ou avec un refroidissement réduit, il doit être poursuivi assez longtemps pour que la température du transformateur s'abaisse à coup sûr, lorsque les conditions normales de refroidissement sont rétablies, afin d'éviter toute erreur dans la mesure de l'échauffement final de l'huile

607 *Détermination de l'échauffement des enroulements par la méthode de variation de résistance*

Dans le cas de transformateurs à enroulements en cuivre, le rapport des températures à chaud et à froid peut être déduit du rapport des résistances au moyen de la formule:

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{\theta_2 + 235}{\theta_1 + 235}$$

Dans la pratique, on peut trouver plus commode d'employer la formule équivalente suivante

$$\text{Echauffement} = (\theta_2 - \theta_a) = \left[\frac{R_2 - R_1}{R_1} \times (235 + \theta_1) \right] + (\theta_1 - \theta_a)$$

Dans la formule ci-dessus où les températures sont exprimées en degrés Celsius

θ_2 = température de l'enroulement (chaud) à la fin de l'essai;

θ_a = température du milieu de refroidissement à la fin de l'essai (voir article 602),

θ_1 = température de l'enroulement (froid) au moment de la mesure de la résistance initiale

R_2 = résistance de l'enroulement à la fin de l'essai, à la température θ_2 ,

R_1 = résistance initiale de l'enroulement (froid) (voir article 605)

608 *Méthode d'exécution des essais d'échauffement* On dispose de différentes méthodes pour ces essais, parmi lesquelles on peut citer la méthode de mise en charge par récupération et, dans le cas de transformateurs immergés dans l'huile, la méthode de court-circuit. Ces deux méthodes donnent des résultats équivalents et le choix reste au gré du constructeur

Comme on le sait, la méthode de mise en charge par récupération demande l'utilisation d'un second transformateur pour charger le transformateur en essai et elle implique la fourniture d'une puissance correspondant aux pertes totales des deux transformateurs. La méthode de court-circuit évite ces inconvénients et est utilisée comme suit

On commence par déterminer l'échauffement moyen de l'huile de l'appareil en cours d'essai au-dessus de la température du milieu refroidissant (échauffement correspondant aux pertes totales de l'appareil), puis on détermine par la méthode de variation de résistance l'échauffement de l'enroulement au-dessus de la température moyenne de l'huile (échauffement correspondant aux pertes dans le cuivre dues à la charge)

a) On court-circuite un des enroulements et l'on fait d'abord circuler dans l'autre enroulement un courant suffisant, à fréquence normale, pour que la puissance absorbée dans ces conditions soit égale à la somme, ramenée à 75° C, des pertes à vide et des pertes en charge pour les valeurs nominales de la tension, du courant et de la fréquence. L'échauffement de l'huile supérieure par rapport au milieu de refroidissement est déterminé suivant l'article 606, et l'échauffement moyen de l'huile suivant les indications du nota ci-après

Nota — L'échauffement moyen de l'huile peut être pris égal à l'échauffement de l'huile supérieure diminué de la moitié de la chute de température de l'huile dans les dispositifs de refroidissement, chute déterminée par des mesures effectuées: (i) en haut et en bas des tubes de refroidissement ou des radiateurs, aussi près que possible de la paroi de la cuve dans le cas de circulation d'huile par thermo-siphon; (ii) à l'entrée et à la sortie du réfrigérant externe d'huile dans le cas de circulation forcée d'huile; (iii) ou bien à l'extérieur de la cuve sur une hauteur correspondant à celle des enroulements

Method 2 The temperature tests shall be continued until the top oil temperature-rise does not vary more than 1 Centigrade degree per hour during four consecutive hourly readings. If the heat run is performed initially without cooling or with reduced cooling, it must continue for sufficient time to ensure that the transformer temperature falls when the cooling is restored, to prevent errors in the measurement of the final oil temperature-rise.

607 *Determination of temperature-rise of windings from increase in the resistance* In transformers having copper windings, the ratio of hot to cold temperatures may be obtained from the ratio of the resistance by the formula —

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{\theta_2 + 235}{\theta_1 + 235}$$

For practical purposes the following alternative formula may be found convenient:—

$$\text{Temperature-rise} = (\theta_2 - \theta_a) = \left[\frac{R_2 - R_1}{R_1} \times (235 + \theta_1) \right] + (\theta_1 - \theta_a)$$

In the above formula, where temperatures are expressed in degrees Centigrade —

- θ_2 = temperature of winding (hot) at the end of the test;
- θ_a = temperature of cooling medium at the end of the test (see Clause 602),
- θ_1 = temperature of the winding (cold) at the moment of the initial resistance measurement,
- R_2 = resistance of the winding at the temperature (θ_2) at the end of the test,
- R_1 = initial resistance of the winding (cold) (see Clause 605)

608 *Method of making temperature tests* Various methods are available for this test among which are the back-to-back loading method and, for oil-immersed transformers, the short-circuit method. Both these methods give equivalent results and the choice is at the manufacturer's option.

The back-to-back method, as is well known, requires the use of a second transformer against which to load the transformer under test, and it involves supplying power for the total losses of both transformers.

The short-circuit method obviates these conditions, and it is carried out as follows:—

The temperature test of an oil-immersed transformer is conducted by first determining the average oil temperature-rise of the unit above the cooling medium (corresponding to its total losses), and then the winding temperature-rise by resistance above the average oil (corresponding to its load loss)

- (a) Short-circuit one winding and first circulate sufficient current at normal frequency through one other winding so that the total input under this condition will equal the sum of the no-load loss and load loss at rated voltage, current and frequency, adjusted to 75° C. The top-oil temperature-rise over cooling medium is determined in accordance with Clause 606, and the average oil temperature-rise in accordance with the following Note.

Note — The average oil temperature-rise may be taken as equal to the top-oil temperature-rise minus one-half the temperature drop of the oil flowing through the cooling means as determined by temperature measurement, (i) at the top and bottom of the cooling tubes or radiators and as close as possible to the tank body in the case of cooling by thermal siphon flow; or (ii) at the inlet and outlet of the external oil cooler in the case of forced oil cooling; or (iii) through measurements of the temperature on the outside of the tank over a height corresponding to the height of the windings.

- b) Après l'essai décrit à l'article 608a), on ramène la valeur des courants dans les enroulements à leur valeur nominale et on la maintient constante pendant une heure; l'écart entre la température des enroulements et la température moyenne de l'huile peut alors être considéré comme stabilisé, on coupe l'alimentation et l'on mesure la température des enroulements d'après leur résistance, on corrige cette valeur par extrapolation jusqu'au moment de la coupure par l'une des méthodes décrites à l'article 604

La température moyenne de l'huile dans cet essai est déterminée conformément au nota de l'article 608a), et l'écart entre la température de l'enroulement et la température moyenne de l'huile est obtenu par différence

L'intensité du courant sera ajustée aussi près que possible de sa valeur nominale, mais s'il n'est pas possible de réaliser cette condition exactement, l'écart entre la température de l'enroulement et la température moyenne de l'huile sera corrigé par l'application d'un facteur égal au rapport $\left(\frac{\text{courant nominal}}{\text{courant réel}}\right)$ élevé à la puissance 1,6 dans le cas de circulation de l'huile par thermo-siphon, et à la puissance 2 dans le cas de circulation forcée d'huile

- c) L'échauffement d'un enroulement à pleine charge est la somme de l'échauffement moyen de l'huile (article 608a) au-dessus du milieu de refroidissement et de l'écart entre la température de l'enroulement déterminée par résistance et la température moyenne de l'huile (article 608b)

Dans le cas de transformateurs à plusieurs enroulements, il pourra être nécessaire d'effectuer des essais supplémentaires pour déterminer l'échauffement de tous les enroulements

CHAPITRE VII — NIVEAUX D'ISOLEMENT ET ÉPREUVES DIÉLECTRIQUES

Ce chapitre est divisé en quatre parties

- A — Définitions et Généralités
- B — Transformateurs du type sec
- C — Transformateurs immergés dans l'huile
- D — Modalités d'exécution des épreuves diélectriques

A — DÉFINITIONS ET GÉNÉRALITÉS

701 Les transformateurs du type sec conformes aux présentes Recommandations conviennent pour fonctionnement en situation non exposée aux surtensions atmosphériques (s'il est spécifié que des transformateurs du type sec doivent être employés en situation exposée, mention expresse en sera faite et les transformateurs seront en tout autre point conformes aux présentes Recommandations) Leur emploi n'est pas reconnu comme normal sur des réseaux dont la tension la plus élevée dépasse 24 kV Il est admis que tous les transformateurs de ce type doivent être maintenus en bon état de propreté, et exempts de saletés, de poussière, d'humidité et de tous autres corps étrangers

Dans la présente édition, il n'est pas prescrit que les transformateurs du type sec doivent être soumis aux essais aux ondes de choc et par suite, les transformateurs de ce type conformes aux présentes Recommandations ne conviennent pas au fonctionnement dans les installations en situation exposée (*); l'emploi de ces transformateurs dans les installations de cette catégorie sera traité dans la prochaine édition

(*) La Publication n° 71 de la C E I définit comme suit les installations au point de vue de leur exposition aux surtensions atmosphériques:

— Une installation *en situation exposée* est une installation susceptible d'être soumise aux surtensions d'origine atmosphérique

Nota — De telles installations sont en général reliées à des lignes aériennes de transmission d'énergie, soit directement, soit par l'intermédiaire d'une petite longueur de câble

— Une installation *en situation non exposée* est une installation qui n'est pas susceptible d'être soumise aux surtensions d'origine atmosphérique

Nota — De telles installations sont en général reliées à des réseaux de câbles

- (b) After the test in Clause 608a), reduce the currents in the windings to their normal rated values, and hold the current constant for one hour, after which the temperature-rise of the windings above the average oil temperature can be considered to have become constant. Then shut down and measure the temperature of the windings by resistance and correct the measured winding temperatures back to the instant of shutdown by the methods described in Clause 604.

The average oil temperature in this test is determined in accordance with the Note in Clause 608a) and the winding temperature-rise above the average oil temperature is obtained by subtraction.

The current shall be adjusted as closely as possible to the rated value, but if it is not possible to do this exactly, a correction to the winding temperature-rise above the average oil temperature shall be made by a factor, this being the ratio $\left(\frac{\text{rated current}}{\text{current held}}\right)$ raised to the power of 1.6 for thermal siphon flow of oil and 2.0 for forced oil circulation.

- (c) The winding temperature-rise at full load is the sum of the average oil temperature-rise (see Clause 608a) over the cooling medium plus the winding temperature-rise (see Clause 608b) by resistance over average oil temperature.

Multi-winding transformers may require additional test runs to determine the temperature-rise of all windings.

SECTION VII — INSULATION LEVELS AND TESTS

This section is divided into four parts:—

- Part A — Definitions and General
- Part B — Dry-type Transformers
- Part C — Oil-immersed Transformers
- Part D — Test Procedure

PART A — DEFINITIONS AND GENERAL

701 *Dry-type* transformers complying with these Recommendations are suitable for locations not exposed to atmospheric over-voltages, (should dry-type transformers be required for use under exposed conditions, it shall be specially specified and the transformer shall conform to these Recommendations in all other respects). Their use where the highest voltage of the system exceeds 24 kV is not recognized as standard. It is assumed that all dry-type transformers will be kept clean and free from dirt, dust, moisture and other extraneous matter.

In this edition of the Recommendations, impulse tests are not specified for dry-type transformers and therefore such transformers which comply with these Recommendations are not suitable for use in exposed installations*. The consideration of the use of dry-type transformers in this class of installation will be dealt with in the next edition.

* I E C Publication No 71 defines installations as follows:—

An exposed installation is one in which the apparatus is subject to over-voltages of atmospheric origin.

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

A non-exposed installation is one in which the apparatus is not subject to over-voltages of atmospheric origin.

Note — Such installations are usually connected to cable networks.

702 Les transformateurs immergés dans l'huile doivent être choisis en tenant compte de leur emplacement et du degré d'exposition de l'installation aux surtensions atmosphériques ainsi que du degré de protection procuré par les dispositifs de protection contre les surtensions

703 Niveau d'isolement

a) *Généralités* Le niveau d'isolement d'un transformateur est une indication du degré de rigidité diélectrique de l'appareil. Il s'exprime en fonction de la valeur de crête d'une tension de choc appliquée pour juger de la tension de tenue d'un transformateur aux ondes pleines, et en fonction de la valeur efficace de la tension d'essai à fréquence industrielle appliquée pendant une minute.

Le niveau d'isolement des transformateurs du type sec ou du type immergé dans l'huile est défini d'une manière plus détaillée aux paragraphes b) et c) donnés plus bas.

Le choix du niveau d'isolement d'un transformateur conforme aux présentes Recommandations est déterminé non seulement par la valeur de la tension de service la plus élevée du réseau, mais aussi par les conditions de mise à la terre de ce réseau.

Sauf spécification contraire de la part de l'acheteur, le niveau d'isolement prévu sera celui qui correspond à la valeur de la tension la plus élevée du réseau (voir article 704). Également sauf spécification contraire, le niveau d'isolement du point neutre des enroulements connectés en étoile sera égal au niveau d'isolement de l'extrémité côté ligne.

b) *Transformateurs du type sec* L'isolation doit être prévue pour pouvoir supporter entre enroulements et terre un essai par tension appliquée. Le niveau d'isolement à fréquence industrielle de ces transformateurs est défini par leur tension d'essai à fréquence industrielle dont la valeur est donnée en fonction de la tension la plus élevée du réseau (voir article 709). A cette valeur de la tension d'essai par tension appliquée est associée une valeur de la tension d'essai par tension induite (voir article 708).

c) *Transformateurs immergés dans l'huile* A l'exception des transformateurs devant fonctionner en situation non exposée, l'isolation doit être capable de tenir une tension d'essai déterminée aux ondes de choc en onde pleine. Le niveau d'isolement aux ondes de choc du transformateur est défini par cette tension d'essai aux ondes de choc dont l'amplitude est donnée en fonction de la tension la plus élevée du réseau spécifiée compte tenu des conditions de mise à la terre (voir article 725). A cette tension de choc sont associés des essais à fréquence industrielle (voir articles 719 et 721).

704 *Définition de la tension la plus élevée d'un réseau* C'est la tension efficace entre phases la plus élevée qui puisse exister en un point quelconque du réseau et à un instant quelconque dans les conditions normales de fonctionnement. Cette définition exclut les variations de tension dues à des défauts ou à la disjonction brusque de charges importantes.

Sauf spécification contraire, la tension la plus élevée du réseau est fixée en fonction de la tension nominale du réseau, conformément au tableau VIII, page 70.

La tension à circuit ouvert sur certaines prises d'un transformateur peut dépasser la tension la plus élevée du réseau, mais ce fait n'implique pas une élévation du niveau d'isolement au choc ou du niveau d'isolement à fréquence industrielle tel qu'il est déterminé dans les présentes Recommandations.

Nota — Les tensions des épreuves diélectriques sont basées sur la valeur de la tension la plus élevée du réseau, si cette valeur s'identifie avec l'une des valeurs normalisées C E I ; s'il en est autrement, la valeur normalisée immédiatement supérieure de tension la plus élevée de réseau sera prise comme base pour le choix des tensions d'épreuve (Voir aussi la Nota de l'article 202).

702 *Oil-immersed* transformers should be chosen with due regard to the location and exposure of the installation and the protection afforded by surge-diverters or other effective surge protection

703 *Insulation level*

- (a) *General* The insulation level is an indication of the insulation strength of a transformer and is expressed for the purpose of these rules in terms of the crest value of an impulse voltage applied as a full wave withstand test, and of the r m s value of the 1-minute power-frequency test voltage

The basis of the insulation level of dry-type and oil-immersed transformers respectively is as detailed in paragraphs *b*) and *c*) below

The level of the insulation employed on a transformer complying with these Recommendations is governed not only by the highest operating voltage but also by the method of operation of the system as regards earthing

Unless otherwise specified by the purchaser, the insulation level provided shall be that corresponding to the appropriate highest voltage of the system (see Clause 704)

Also, unless otherwise specified, the insulation to earth at the neutral point of star connected windings shall be the same as at the line end

- (b) *Dry-type transformers* The insulation is designed to be capable of withstanding a separate source test-voltage between windings and earth. The power-frequency insulation level of the transformers is defined in terms of this power-frequency test-voltage and its value is given by the magnitude corresponding to the specified highest voltage of the system (see Clause 709). Associated with this test voltage are the induced voltage tests (see Clause 708)

- (c) *Oil-immersed transformers* Except for those transformers for operation in non-exposed installations, the insulation is designed to be capable of withstanding a full wave impulse test voltage. The impulse insulation level of the transformer is defined in terms of this impulse test voltage and its value is given by the amplitude of the impulse voltage wave corresponding to the specified highest voltage of the system under the specified conditions of earthing (see Clause 725). Associated with this impulse voltage are power-frequency tests (see Clauses 719 and 721)

704 *Definition of highest voltage of the system* This is the highest r m s voltage between lines which is sustained under normal operating conditions at any time and at any point on the system. It excludes temporary voltage variations due to fault conditions and/or the sudden disconnection of large loads

Unless otherwise specified the highest voltage of the system as related to the nominal system voltage shall be in accordance with Table VIII on page 71

The open circuit voltage of certain tapplings on a transformer may exceed the highest voltage of the system but this does not, by itself, require any increase in the impulse insulation level or the power-frequency insulation level under the requirements of these Recommendations

Note — The insulation tests are based on the standard value of the highest voltage of the system if its value is identical with one of the I E C standard highest voltages of the system; if it is not identical, then the next higher standard value shall be taken as the basis of test. (See also Note to Clause 202)

705 *Transformateurs monophasés utilisés sur réseaux triphasés* Les transformateurs monophasés destinés à faire partie d'un groupe triphasé doivent avoir un niveau d'isolement approprié à la tension la plus élevée du réseau triphasé, et au mode de mise à la terre du réseau, quel que soit leur mode de connexion (étoile ou triangle etc)

706 *Connexions particulières des enroulements*

- a) *Essais par tension induite sur des enroulements série-parallèle* L'essai par tension induite sur des enroulements série-parallèle devra être fait avec les enroulements connectés en série, puis avec les enroulements connectés en parallèle

Nota — Si la modification des connexions du transformateur complet présente des difficultés sur le banc d'essai, les détails des essais à effectuer et de toutes autres indications à fournir par le constructeur feront l'objet d'un accord entre le constructeur et l'acheteur

- b) *Essais par tension appliquée dans le cas de connexions particulières des enroulements* Un essai par tension appliquée, approprié au mode de connexion des enroulements, sera effectué comme suit

- i) la tension d'essai, pour des enroulements dont la tension nominale est différente mais qui doivent être reliés électriquement en service les uns aux autres, doit être basée sur la tension la plus élevée du réseau ou des circuits auxquels l'un quelconque des enroulements doit être connecté L'essai doit être fait avec les enroulements reliés les uns aux autres
- ii) la tension d'essai appliquée à un enroulement prévu pour être monté en série du côté ligne avec un autre appareil doit être basée sur la tension la plus élevée du réseau auquel l'ensemble est relié

B — TRANSFORMATEURS DU TYPE SEC

707 *Essais normaux* Tous les essais sont effectués à fréquence industrielle ; ils sont de deux sortes

l'essai par tension induite,
l'essai par tension appliquée

Les tensions d'essai sont données dans les articles 708 et 709

708 *Essai par tension induite* — *But de l'essai et valeur de la tension* Le but est d'éprouver l'isolation entre bobines, entre spires et entre bornes La valeur de la tension entre deux points quelconques au cours de l'essai doit être au moins égale au double de la tension existant entre ces points quand la tension nominale est appliquée aux extrémités côté ligne; voir également l'article 706a)

709 *Valeur de la tension dans l'essai par tension appliquée* La tension d'essai normalisée qui définit le niveau d'isolement est la suivante:

Tension d'essai = $(1 + 2 U_m)$ kV efficaces avec minimum de 2,5 kV

où U_m est la tension la plus élevée du réseau

Voir également les articles 706b) et 729

710 *Altitude du lieu d'utilisation* Les tensions d'essai normalisées données dans les articles 708 et 709 s'appliquent aux appareils destinés à fonctionner à des altitudes inférieures ou égales à 1 000 mètres (3 300 pieds) au-dessus du niveau de la mer Pour des altitudes comprises entre 1 000 et 3 000 mètres (3 300 à 10 000 pieds) au-dessus du niveau de la mer, la tension d'essai par tension appliquée, lorsque l'essai est effectué à une altitude inférieure à 1 000 mètres (3 300 pieds) sera prise égale à celle indiquée à l'article 709, multipliée par le facteur d'altitude déduit de la figure 2

Le facteur d'altitude est défini ainsi

Facteur d'altitude = $\frac{\text{densité de l'air à 1 000 mètres (3 300 pieds)}}{\text{densité de l'air au lieu d'utilisation}}$

705 *Single-phase transformers used on three-phase systems* Single-phase transformers for use in a three-phase bank shall have an insulation level appropriate to the highest voltage of the three-phase system, and to the method of system earthing, whatever the mode of connections (star or delta, etc)

706 *Special winding connections*

(a) *Induced voltage tests on series-parallel windings* The induced voltage test on series-parallel windings shall be made with the windings connected in series and also in parallel

Note — If the reconnection of the complete transformer will present difficulties on the test-bed, details of the tests to be carried out and of any other relevant information to be provided by the manufacturer shall be the subject of agreement between the manufacturer and the purchaser

(b) *Separate-source test voltages for special winding connections* A separate-source test, appropriate to the winding connections, shall be applied as follows:—

(i) The test voltage for windings of different rated voltage designed to operate electrically connected together, shall be based on the highest voltage of the system or on the highest voltage of the circuits to which any of the windings is to be connected. The test shall be made with the windings connected together.

(ii) The test voltage on windings designed to operate on the line side in series connection with other apparatus, shall be based on the highest voltage of the system of the associated aggregate system.

PART B — DRY-TYPE TRANSFORMERS

707 *Standard tests* All tests are at power-frequency and are of two kinds —

Induced-voltage,
Separate-source

The test voltages are recorded in Clauses 708 and 709

708 *Induced-voltage test—Object and magnitude* The object is to test between coils, and terminals. The magnitude of the test voltage between parts shall everywhere be twice the voltage appearing between these parts when rated voltage is applied to the line terminals, see also Clause 706a)

709 *Magnitude of separate-source test voltage* The standard test voltage, which defines the insulation level, is —

$$\text{Test voltage} = (1 + 2.0 U_m) \text{ kV r m s with a minimum of } 2.5 \text{ kV}$$

where U_m = the highest voltage of the system

See also Clauses 706b) and 729

710 *Altitude of site* The standard test voltages given in Clauses 708 and 709 apply to installations at altitudes up to and including 1 000 metres (3 300 feet) above sea level. For altitudes between 1 000 metres and 3 000 metres (3 300 and 10 000 feet) above sea level, the separate-source test level for tests made at an altitude under 1 000 metres (3 300 feet) should be increased to a value obtained by multiplying the test voltage obtained from Clause 709 by an altitude factor as given in Figure 2

The altitude factor is defined as —

$$\text{Altitude factor} = \frac{\text{Air density at 1 000 metres (3 300 feet)}}{\text{Air density at installation}}$$

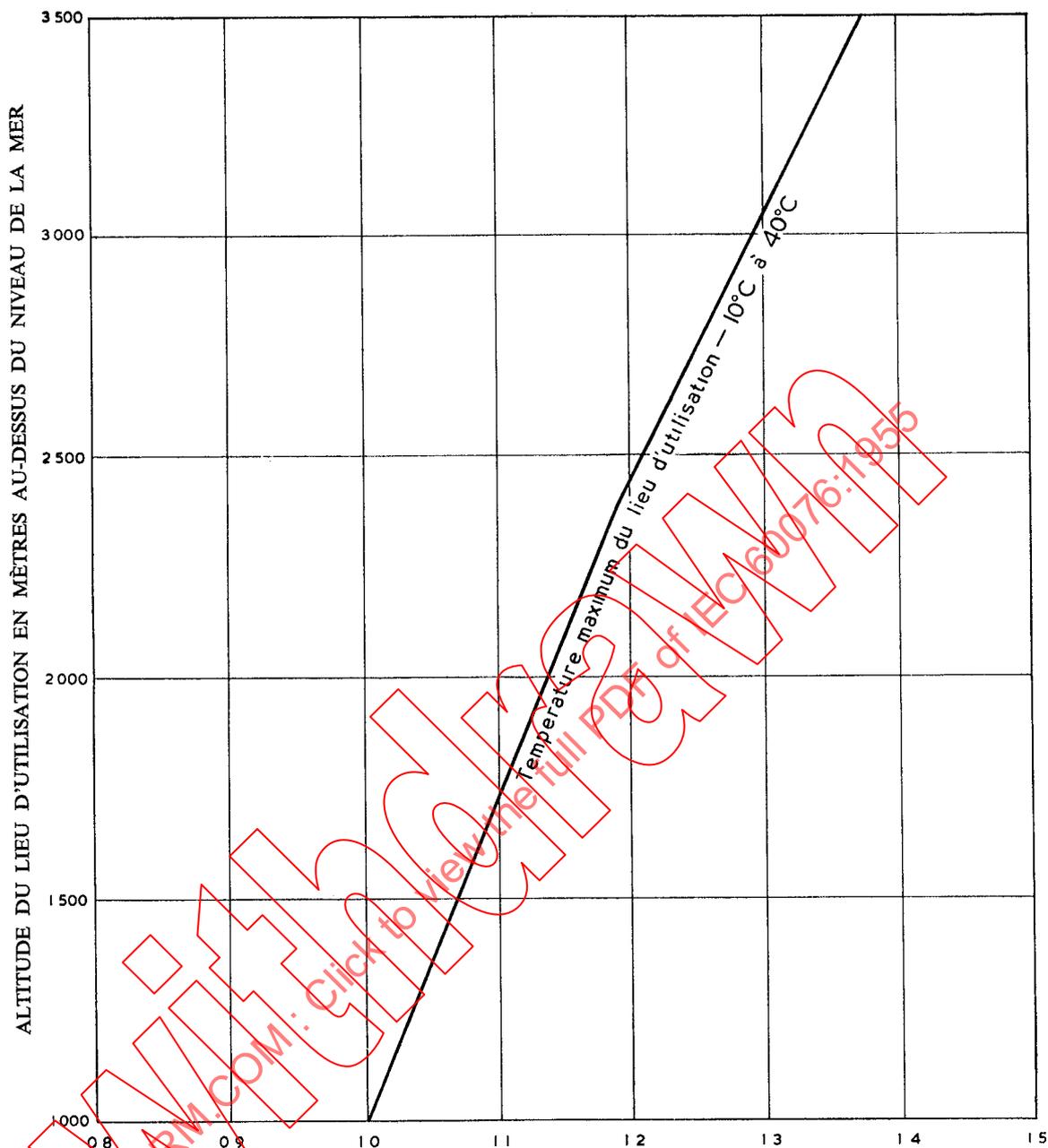


FIG 2 FACTEUR DE CORRECTION D'ALTITUDE

C — TRANSFORMATEURS IMMERGÉS DANS L'HUILE

711 Cette partie est subdivisée en

- C 1 = Généralités
- C 2 = Essais à fréquence industrielle
- C 3 = Essais aux ondes de choc

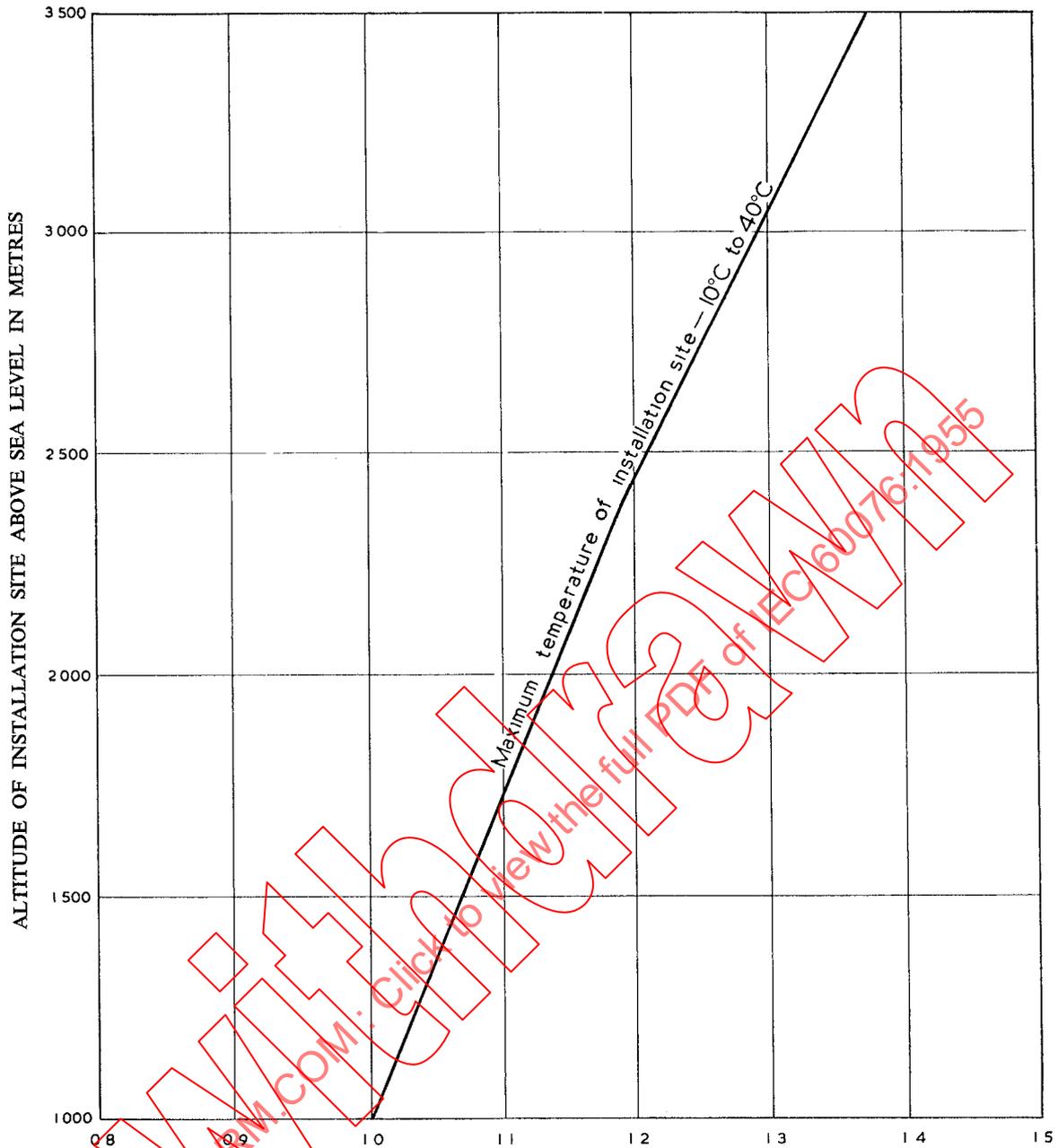


FIG 2 MULTIPLYING FACTOR

PART C — OIL-IMMERSED TRANSFORMERS

711 This part is sub-divided into —

- C 1 = General
- C 2 = Power-frequency test voltages
- C 3 = Impulse test voltages

C 1 — GÉNÉRALITÉS

712 *Essais normaux*

- a) Sur les transformateurs destinés à fonctionner en situation non exposée, seuls les essais à fréquence industrielle sont effectués
- b) Pour les transformateurs destinés à fonctionner en situation exposée sur des réseaux dont la tension la plus élevée est égale ou supérieure à 3,6 kV, deux sortes d'essais diélectriques sont reconnus:
 - essais à fréquence industrielle,
 - essais aux ondes de choc (considérés comme essais de type, voir article 723)
- c) Pour les réseaux dont la tension la plus élevée est supérieure à 72,5 kV, les présentes règles reconnaissent deux séries normalisées de niveaux d'isolement pour l'extrémité côté ligne des enroulements de transformateurs, correspondant respectivement à la pleine isolation et à l'isolation réduite
Pour chacun de ces niveaux, l'isolation de l'enroulement par rapport à la masse peut être soit uniforme, soit graduée depuis l'extrémité côté ligne jusqu'à l'extrémité côté neutre
Les tensions d'essai normalisées sont fonction des conditions de service et du mode de mise à la terre du réseau (article 714)

713 *Choix du niveau d'isolement* Le niveau d'isolement normal est fixé en fonction de la tension la plus élevée du réseau et du mode de mise à la terre (voir article 714)

Lorsque des conditions très sévères le justifient, il peut être désirable de spécifier un niveau d'isolement supérieur de un ou de plusieurs échelons au niveau normal; par exemple, l'installation dans un lieu exceptionnellement exposé à la foudre peut nécessiter un niveau d'isolement surélevé

714 *Conditions de fonctionnement — Mise à la terre du réseau* Les conditions usuelles de mise à la terre des réseaux peuvent se classer en deux catégories

- a) Neutre du réseau isolé ou mis à la terre par l'intermédiaire de résistances, réactances ou bobines d'extinction, le neutre du réseau étant, en service normal, au potentiel du sol
- b) Neutre du réseau effectivement mis à la terre (voir article 716a)

715 *Niveau d'isolement applicable aux réseaux dont la tension la plus élevée ne dépasse pas 72,5 kV* Quel que soit le mode de mise à la terre du neutre du réseau et que le neutre du transformateur, s'il existe, soit mis à la terre ou non, l'isolation à la terre de l'enroulement doit être uniforme

Les tensions d'essai normalisées données en fonction de la tension la plus élevée du réseau, sont données aux articles 722a), 722b), 722c) et 725a)

716 *Niveau d'isolement de l'extrémité côté ligne de l'enroulement lorsque la tension la plus élevée du réseau dépasse 72,5 kV* Les présentes règles reconnaissent deux niveaux d'isolement normalisés correspondant respectivement à la pleine isolation et à l'isolation réduite, en général le niveau d'isolement réduit doit être de l'ordre de 80 pour cent du niveau de plein isolement, ce qui correspond approximativement à un décalage d'un échelon par rapport au niveau du plein isolement pour la même tension la plus élevée du réseau

Le tableau III donne les valeurs de tensions d'essai pour la pleine isolation dans les colonnes 2 et 4 et pour l'isolation réduite dans les colonnes 3 et 5

- a) Le niveau d'isolement correspondant à l'ISOLATION RÉDUITE peut être utilisé pour les réseaux mis effectivement à la terre, c'est-à-dire lorsqu'il est fait usage d'un dispositif de limitation de surtensions à niveau 80% ou d'un autre dispositif de protection effective L'isolation réduite est admissible lorsque, pour toutes les configurations de réseau pouvant se présenter

au cours de l'exploitation ou au cas de déclenchement ainsi que pendant un défaut phase-terre, la tension efficace maximum par rapport à la terre des bornes de phase du transformateur et du dispositif de protection contre les surtensions, ne dépasse pas 80 pour cent de la tension entre phases

Nota 1 — Un réseau sur lequel tous les enroulements de transformateurs qui lui sont raccordés directement sont connectés en étoile et ont leurs points neutres directement mis à la terre, est considéré comme satisfaisant à la précédente condition qui autorise l'emploi d'un niveau d'isolement réduit
L'insertion d'un transformateur d'intensité à une seule spire primaire dans la connexion de mise à la terre du neutre ne constitue pas un obstacle à ce que le transformateur soit considéré comme ayant son neutre directement mis à la terre L'emploi d'un transformateur d'intensité à plusieurs spires primaires demande un examen dans chaque cas particulier

Nota 2 — Si certains des enroulements de transformateurs n'ont pas leurs points neutres directement mis à la terre ou bien sont couplés en triangle, la limitation à 80 pour cent peut encore être obtenue si, pour toutes les configurations d'alimentation, d'exploitation et de déclenchement du réseau, le rapport de la réactance homopolaire à la réactance directe du réseau, vues de la borne de ligne considérée, est inférieur à trois et si le rapport de la résistance homopolaire à la réactance directe, vues dans les mêmes conditions, est inférieur à l'unité

b) Le niveau de PLEIN ISOLEMENT est obligatoire dans tous les cas où le niveau réduit n'est pas autorisé par l'article 716a)

Nota 3 — Dans le cas de transformateurs en situation exposée, il est désirable même lorsque le niveau de plein isolement est adopté, que les précautions nécessaires soient prises pour que l'amplitude de toutes les surtensions pouvant atteindre le transformateur soit convenablement limitée

717 *Niveau d'isolement de l'extrémité côté neutre de l'enroulement lorsque la tension la plus élevée du réseau dépasse 72,5 kV*

a) Dans le cas d'enroulements connectés en étoile, à isolation uniforme, l'extrémité côté neutre doit être soumise au même essai à fréquence industrielle que l'extrémité côté ligne de l'enroulement

b) Dans le cas d'enroulements connectés en étoile, à isolation graduée à partir de l'extrémité côté ligne jusqu'à celle côté neutre, la tension d'essai applicable à l'extrémité côté neutre doit être réduite conformément aux valeurs spécifiées à l'article 722d)

C 2 — TENSIONS D'ESSAIS A FRÉQUENCE INDUSTRIELLE

718 *Types d'essais* Les essais à fréquence industrielle constituent des essais individuels et appartiennent aux deux catégories suivantes.

- essais par tension induite,
- essais par tension appliquée

ESSAIS PAR TENSION INDUITE

719 *Essais par tension induite* L'essai par tension induite doit être effectué sur tous les transformateurs:

- a) Sur les transformateurs dont les enroulements sont uniformément isolés, dans le but d'éprouver l'isolation entre spires et entre bobines (N B L'isolation entre les enroulements et la masse est éprouvée au cours de l'essai par tension appliquée)
- b) Sur les transformateurs dont les enroulements, connectés en étoile, comportent une plus faible isolation du côté neutre, dans le but d'éprouver l'isolation entre les enroulements et la masse et aussi entre spires et entre bobines
- c) Sur tous les transformateurs, il constitue un essai d'isolation entre bornes

720 *Valeur de la tension dans l'essai par tension induite*

- a) Pour les transformateurs dont les enroulements sont à isolation uniforme, la valeur de la tension entre deux points quelconques au cours de l'essai ne doit pas être inférieure au double de la tension qui peut exister entre ces points lorsque la tension nominale est appliquée aux bornes côté ligne Voir aussi l'article 706a)

fault, the maximum 1 m s voltage to earth at the line terminals of both the diverter and the transformer expressed as a percentage of the line-to-line voltage, does not exceed 80 per cent

Note 1 — A system on which all the transformers directly connected to it have star-connected windings, with the neutrals of all these windings solidly earthed, is regarded as meeting this requirement permitting reduced insulation level

The inclusion of a single-turn-primary current transformer in the connection between the neutral terminal and earth shall not disqualify the transformer from being classified as a transformer with solidly earthed neutral. The case of a multi-turn primary current transformer requires special consideration

Note 2 — If some of the transformer windings do not have solidly earthed neutrals, or are delta-connected, the limiting value of 80 per cent is still obtainable when for all switching, operating and supply conditions and viewed from the line terminal in question, the ratio of the zero sequence reactance of the system to its positive sequence reactance is less than three, and the ratio of zero sequence resistance to positive sequence reactance is less than unity

(b) FULL level is mandatory in all cases where reduced level may not be used as in the preceding paragraph 716a)

Note 3 — When transformers are in exposed installations it is still desirable with full level insulation that the necessary provision be made to ensure that any surges reaching the transformer are appropriately limited in magnitude

717 *Insulation level of neutral end of winding where the highest voltage of the system exceeds 72.5 kV*

(a) For uniformly insulated star-connected windings, the neutral end shall be subjected to the same power-frequency test as the line end of the winding

(b) For star connected windings which have graded insulation to earth, from the line end to the neutral end, the test voltage applicable to the neutral end shall be reduced in accordance with the values specified in Clause 722d),

C 2 — POWER-FREQUENCY TEST VOLTAGES

718 *Kinds of test* Power-frequency tests are routine tests on transformers and are of two kinds:—

Induced-voltage,
Separate-source

INDUCED-VOLTAGE TESTS

719 *Induced-voltage tests* The induced-voltage test shall be made on all transformers as follows

(a) Transformers with uniformly-insulated windings, with the object of testing between turns and between coils (N B the test between windings and earth is achieved by a separate source test)

(b) Transformers with star-connected windings with graded insulation at the neutral end, with the object of testing between windings and earth, and also between turns and between coils

(c) All transformers, with the object of providing a test between terminals

720 *Magnitude of test voltage for induced-voltage test*

(a) For transformers having uniformly insulated windings the magnitude of the test voltage between any two parts shall be not less than twice the voltage appearing between those parts when rated voltage is applied to the line terminals. See also Clause 706a)

- b) Pour les transformateurs dont les enroulements sont à isolation graduée, l'essai sera effectué de manière à produire entre chaque extrémité côté ligne et le circuit magnétique, le bâti et la cuve ou l'enveloppe connectés ensemble et mis à la terre, une tension de valeur conforme aux indications de la colonne 4 ou de la colonne 5, suivant le cas, du tableau III

ESSAIS PAR TENSION APPLIQUÉE

721 *Essais à fréquence industrielle par tension appliquée* Une tension de valeur spécifiée, fournie par une source séparée, sera appliquée successivement entre chacun des enroulements et les autres, le circuit magnétique, le bâti et la cuve ou l'enveloppe du transformateur, connectés ensemble et mis à la terre Voir aussi l'article 706b)

722 *Valeur de la tension dans l'essai à fréquence industrielle par tension appliquée* Cette valeur sera déterminée comme suit

- a) Pour les enroulements reliés à un réseau dont la tension la plus élevée est inférieure ou égale à 1,1 kV
tension d'essai = 2,5 kV efficaces
- b) Pour les enroulements de transformateurs en situation exposée, reliés à un réseau dont la tension la plus élevée est supérieure à 1,1 kV, les tensions d'essais seront celles indiquées au tableau III, colonnes 4, 5, 8 et 11
- c) Pour les enroulements de transformateurs fonctionnant en situation non exposée, la tension d'essai sera celle indiquée au tableau III, colonnes 4, 5, 8 et 11, exception faite des appareils reliés à un réseau dont la tension la plus élevée ne dépasse pas 17,5 kV, auquel cas les tensions d'essai seront réduites aux valeurs indiquées en colonne 2, tableau IV
- d) Pour les enroulements connectés en étoile, reliés à des réseaux dont la tension la plus élevée est supérieure à 72,5 kV, et ayant une isolation graduée depuis l'extrémité côté ligne jusqu'au point neutre, trois catégories sont à considérer

Catégorie 1 — Lorsque le neutre de l'enroulement est mis directement à la terre par une connexion dans laquelle aucune impédance n'a été intentionnellement insérée, à l'exception du primaire à une seule spire des transformateurs d'intensité, la tension d'essai à fréquence industrielle est de 34 kV Si l'on utilise un transformateur d'intensité à plusieurs spires au primaire, la même tension d'essai pourra être appliquée à la condition que l'on ait prévu, en parallèle entre le neutre et la terre, un dispositif approprié de limitation des surtensions

Catégorie 2 — Lorsque le neutre est mis à la terre à travers un transformateur de réglage et à la condition qu'un dispositif approprié de limitation des surtensions ait été prévu entre le neutre et la terre, la tension d'essai ne sera qu'une fraction de celle qui serait applicable à l'extrémité de l'enroulement reliée au réseau, d'après le tableau III Cette fraction est égale au rapport de la tension la plus élevée aux bornes du transformateur de réglage à la tension nominale du transformateur à essayer

Catégorie 3 — Lorsque le neutre du transformateur est mis à la terre par une bobine d'extinction, ou par une résistance ou une réactance relativement élevées, ou lorsqu'il est isolé, pourvu que, dans chacun de ces cas, il ait été prévu entre le neutre et la terre un dispositif approprié de limitation des surtensions, la tension d'essai sera prise égale à 58 pour cent de la tension qui serait applicable à l'extrémité côté ligne de l'enroulement reliée au réseau, d'après le tableau III

- (b) For transformers having windings with graded insulation, the test shall be made so as to produce between each line terminal and the core, frame and tank or casing connected together and to earth, a voltage of the value stated in Column 4 or 5 of Table III as is appropriate

SEPARATE-SOURCE VOLTAGE TESTS

721 *Separate-source power-frequency tests* A voltage of the specified magnitude obtained from a separate source shall be applied 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. See also Clause 706b)

722 *Magnitude of separate-source power-frequency test voltage* The magnitude of the separate-source test voltage shall be as follows:—

- (a) For windings operating where the highest voltage of the system does not exceed 11 kV
test voltage = 2.5 kV r m s
- (b) For windings of transformers operating in exposed installations where the highest voltage of the system exceeds 11 kV the test voltage shall be as shown in Columns 4, 5, 8 and 11 of Table III
- (c) For windings of transformers operating in non-exposed installations, the test voltage shall be as shown in Columns 4, 5, 8 and 11 of Table III, except that where the highest voltage of the system does not exceed 17.5 kV, reduced test voltage values shall be applied as shown in Column 2 of Table IV
- (d) For star-connected windings operating where the highest voltage of the system exceeds 72.5 kV and having insulation graded from the line terminal end to the neutral end, three classes are considered

Grade 1 — When the neutral end of the winding is solidly (directly) connected to earth through a connection in which no impedance has been added intentionally other than single-turn bar primaries of current transformers, the power-frequency test voltage is 34 kV. If a current transformer with a multi-turn primary is used, and *provided* there is connected in parallel between the neutral and earth an appropriate surge diverter, the same test voltage will apply

Grade 2 — When the neutral end of the winding is earthed through a regulating transformer, and *provided* there is connected between the neutral and earth an appropriate surge diverter, the test voltage shall be a fraction of that appropriate to the line end of the winding given in Table III. The fraction shall be the ratio of the highest voltage produced by the regulator to the rated voltage of the transformer

Grade 3 — When the neutral end of the winding is earthed through an arc-suppression coil, or a relatively high resistance or reactance or it is isolated, *provided* for each of these alternatives that there is connected between the neutral and earth an appropriate surge diverter, the test voltage shall be 58 per cent of the voltage applicable to the line end of the winding given in Table III

C 3 — TENSIONS D'ESSAIS AUX ONDES DE CHOC

723 *Essais aux ondes de choc* Un tel essai est un essai de type et ne sera effectué que s'il est spécifié dans le contrat

La tension d'essai sera appliquée entre une borne de ligne du transformateur et la terre

Conformément aux présentes Recommandations, il n'est pas demandé d'essai dans lequel la tension de choc serait appliquée entre le neutre d'un transformateur connecté en étoile et la terre, l'isolation au neutre doit être prévue pour supporter les sursensions transitoires qui lui parviennent de l'extrémité côté ligne

Les modalités d'essais ne sont pas précisées dans la présente édition, mais le seront dans la prochaine édition de cette publication

724 *Forme d'onde* La forme d'onde normale est l'onde 1/50 telle qu'elle est définie dans la publication N° 60 de la C E I , édition de 1938

725 *Tension de tenue au choc (onde pleine)* La valeur de la tension de tenue au choc en onde pleine sera la suivante

- a) Pour les enroulements de transformateurs ayant niveau de plein isolement côté ligne et reliés à des réseaux dont la tension la plus élevée est égale ou supérieure à 3,6 kV, la tension d'essai aux ondes de choc sera conforme aux colonnes 2, 7 et 10 du tableau III
- b) Pour les enroulements de transformateurs dont l'extrémité côté ligne est à niveau d'isolement réduit (conformément à l'article 716a) et reliés à des réseaux dont la tension la plus élevée est supérieure à 72,5 kV, la tension d'essai aux ondes de choc sera conforme à la colonne 3 du tableau III

Nota — Le tableau III s'applique au matériel muni de dispositifs de protection étroitement adaptés

F A B L E A U I I I

NIVEAUX D'ISOLEMENT NORMALISÉS (TENSIONS D'ESSAI) POUR TRANSFORMATEURS EN SITUATION EXPOSÉE (*)

Note 1 — L'attention est attirée sur le fait que la tension la plus élevée du réseau U_m ne doit pas être confondue avec la tension nominale du réseau U_n

Note 2 — Les tensions d'essai indiquées dans le tableau sont applicables aux transformateurs bien séchés et complètement terminés, essayés dans les ateliers du constructeur. Les mêmes valeurs s'appliquent à l'essai sous pluie des bornes de traversées essayées séparément

Note 3 — Pour les valeurs de la tension U_m comprises entre 100 kV et 245 kV (limites incluses) un niveau de plein isolement et un niveau d'isolement réduit sont donnés pour chaque valeur de U_m

Pour les valeurs de U_m supérieures à 245 kV, il n'est pas indiqué de niveau de plein isolement, les réseaux de cette catégorie étant en général à mise à la terre effective du neutre

Pour les valeurs de U_m égales ou supérieures à 245 kV, une valeur encore plus réduite du niveau d'isolement peut être prise en considération si elle est reconnue admissible après l'étude des protections du poste

Pour $U_m = 245$ kV, la tension d'essai de choc de 825 kV est reconnue (avec l'essai correspondant à fréquence industrielle à 360 kV)

Note 4 — Lorsque le transformateur n'est pas efficacement protégé, des niveaux d'isolement surélevés peuvent s'avérer nécessaires (voir article 713)

(*) Pour les installations en situation non exposée, voir l'article 722c)

C 3 — IMPULSE TEST VOLTAGE

723 *Impulse tests* An impulse test is a type test and shall be made only when specified in the contract

The test voltage shall be applied between one line terminal of a transformer and earth. A test in which the impulse voltage is applied between the neutral terminal of a star-connected transformer and earth is not required under these Recommendations; the insulation of that point should be designed to withstand the transient voltages transmitted to it from the line end.

The details of test procedure are not covered by this edition but will be dealt with in the next edition of this publication.

724 *Wave shape* The standard wave shape is a 1/50 wave, as defined in I E C Publication No 60, 1938 Edition

725 *Impulse voltage test level (full wave)* The full wave withstand test level shall be as follows —

- (a) For transformers with full insulation level at the line end of the windings, operating where the highest voltage of the system is 3.6 kV and above, the impulse test level shall be in accordance with Columns 2, 7 and 10 of Table III.
- (b) For transformers with reduced insulation level at the line end of the windings (in accordance with Clause 716a) where the highest voltage of the system is above 72.5 kV, the impulse test level shall be in accordance with Column 3 of Table III.

Note — Table III applies to equipment with protective devices in close relationship thereto

TABLE III

STANDARD INSULATION LEVELS (TEST VOLTAGES) FOR TRANSFORMERS IN EXPOSED * INSTALLATIONS

Note 1 — Attention is drawn to the fact that the highest voltage of the system U_m should not be mistaken for the system nominal voltage U_n .

Note 2 — The test voltages in the table apply to dried and completed transformers tested in the factory. When the bushings are tested wet separately the same values apply.

Note 3 — For values of U_m between 100 kV and 245 kV inclusive, a full insulation level and a reduced insulation level are given for each value of U_m .

For values of U_m greater than 245 kV no full insulation level is given as non-effectively earthed systems in this range are unusual.

For values of U_m equal to 245 kV and upwards a still lower value of insulation may be considered if it is recognized as feasible after studying the station protection. In the case of $U_m = 245$ kV the impulse voltage test of 825 kV is recognized (with the corresponding power-frequency test at 360 kV).

Note 4 — Where the transformer is not effectively protected, higher levels may be necessary (see Clause 713).

* For non-exposed installations see Clause 722c)

TABLEAU IIIA — NIVEAU D'ISOLEMENT POUR LES TENSIONS DE RÉSEAU LES PLUS ÉLEVÉES,
DE 100 A 400 kV INCLUSIVEMENT

1	2	3	4	5
Tension la plus élevée du réseau (entre phases) U_m kV (eff)	Tension de tenue au choc onde 1/50 positive et négative		Tension de tenue à fréquence industrielle 1 minute	
	pleine isolation kV (crête)	isolation réduite kV (crête)	pleine isolation kV (eff)	isolation réduite kV (eff)
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
400	—	(1)	—	(1)

TABLEAU IIIB — NIVEAUX D'ISOLEMENT POUR LES TENSIONS LES PLUS ÉLEVÉES
DE 2,75 kV A 72,5 kV INCLUSIVEMENT

Pour les tensions inférieures à $U_m = 100$ kV, il n'a pas été possible de normaliser un tableau de niveaux d'isolement d'usage international Ceci a conduit à admettre, dans cette gamme de tensions, deux séries de valeurs:

la série I, en usage en Europe

la série II, en usage aux États-Unis et au Canada

SÉRIE I (basée sur la pratique courante en Europe)

6	7	8
Tension la plus élevée du réseau (entre phases) U_m kV (eff)	Tension de tenue au choc onde 1/50 positive et négative kV (crête)	Tension de tenue à fréquence industrielle 1 minute 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

1) Valeurs en cours d'étude

TABLE IIIA — INSULATION LEVELS FOR HIGHEST SYSTEM VOLTAGES, 100 TO 400 kV INCLUSIVE

1	2	3	4	5
Highest system voltage (line-to-line) U_m (kV (r.m.s.))	Impulse withstand voltage 1/50 wave positive and negative polarity		One-minute power-frequency test withstand voltage	
	full insulation kV (crest)	reduced insulation kV (crest)	full insulation kV (r.m.s.)	reduced insulation kV (r.m.s.)
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
400	—	(1)	—	(1)

TABLE IIIB — INSULATIONS LEVELS FOR HIGHEST SYSTEM VOLTAGES, 2.75 kV to 72.5 kV INCLUSIVE

In the voltage range below $U_m = 100$ kV it has not been possible to standardize a table of international application; this has led to the recognition of two series in that range:—

Series I in use in Europe,
Series II in use in the U.S.A. and Canada

SERIES I (based on current practice in Europe)

6	7	8
Highest system voltage (line-to-line) U_m kV (r.m.s.)	Impulse withstand voltage 1/50 wave positive and negative polarity kV (crest)	One-minute power-frequency test withstand voltage 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

(1) These values are under consideration

SÉRIE II (basée sur la pratique courante aux Etats-Unis et au Canada)

9	10	11
Tension la plus élevée du réseau (entre phases) U_m kV (eff)	Tension de tenue au choc onde 1/50 positive et négative kV (crête)	Tension de tenue à fréquence industrielle 1 minute kV (eff)
2,75	45 60 75	15
2,75/4,76 5,5	60 75 95	19
8,25 5,5/9,52	75 95 110	26
13,2 7,92/13,7 8,32/14,5	95 110	34
14,5 15,5		
25,8	150	50
31,0 38,0	200	70
48,3	250	95
72,5	350	140

Notes applicables à la série II

1 Lorsque deux valeurs sont indiquées dans la première colonne, elles correspondent à des réseaux à 4 fils; la valeur inférieure est alors la tension simple et la valeur supérieure est la tension composée. Lorsqu'une seule valeur est indiquée, elle représente la tension composée de réseaux à trois fils.

2 Pour les réseaux jusqu'à 14,5 kV inclus, le tableau indique pour chaque tension de réseau plusieurs tensions de tenue au choc.

Cela correspond à la pratique de:

- a) prévoir pour certains équipements monophasés un niveau d'isolement permettant de les coupler en étoile et de les faire fonctionner à une tension égale à $\sqrt{3}$ fois leur tension normale
- b) prévoir pour certains matériels importants un niveau d'isolement plus élevé que pour le matériel de distribution ordinaire de même tension normale

TABLEAU IV

NIVEAUX D'ISOLEMENT (TENSIONS D'ESSAI) POUR TRANSFORMATEURS EN SITUATION NON EXPOSÉE RELIÉS A DES RÉSEAUX DONT LA TENSION LA PLUS ÉLEVÉE EST INFÉRIEURE OU ÉGALE A 17,5 kV

1 Tension la plus élevée du réseau (entre phases) U_m kV (eff)	2 Tension d'essai à fréquence industrielle pendant 1 minute kV (eff)
3,6	8
7,2	15
12	25
17,5	36

SERIES II (based on current practice in U S A and Canada)

9	10	11
Highest system voltage (line-to-line) U_m kV (r m s)	Impulse withstand voltage 1/50 wave positive and negative polarity kV (crest)	One-minute power-frequency test withstand voltage kV (r m s)
2 75	45 60 75	15
2 75/4 76 5 5	60 75 95	19
8 25 5 5/9 52	75 95 110	26
13 2 7 92/13 7 8 32/14 5	95 110	34
14 5 15 5		
25 8	150	50
31 0 38 0	200	70
48 3 72 5	250 350	95 140

Notes applicable to Series II

- 1 Where two values are indicated in the first column they refer to four-wire systems and the lower value is the voltage between conductors and neutral; the higher value is the voltage between conductors. Where only one value is indicated, it is the voltage between conductors of 3-wire systems.
- 2 For system voltages up to and including 14.5 kV, more than one impulse value is given for each system voltage. This conforms with the practice of:—
 - (a) providing an insulation level for some single-phase equipment which will make it suitable for star connection and operation at a voltage equal to $\sqrt{3}$ times its voltage rating;
 - (b) providing a higher insulation level for some important equipment than for ordinary distribution equipment of the same voltage rating.

TABLE IV

INSULATION LEVELS FOR TRANSFORMERS IN NON-EXPOSED INSTALLATIONS ON HIGHEST SYSTEM VOLTAGES UP TO AND INCLUDING 17.5 kV

1	2
Highest system voltage (line-to-line) U_m kV (r m s)	One-minute power-frequency test voltage kV (r m s)
3 6	8
7 2	15
12	25
17 5	36

D — MODALITÉS D'EXÉCUTION DES ESSAIS

726* *Essais par tension induite* Il est permis de faire les essais à une fréquence supérieure à la fréquence nominale

727 *Essais par tension induite Durée de l'essai* La durée normale de l'essai est de une minute, mais, lorsque la fréquence au cours de l'essai est supérieure au double de la fréquence nominale (ce qui est habituellement nécessaire) la durée de l'essai est égale à

$$1 \text{ minute} \times \frac{\text{deux fois la fréquence nominale}}{\text{fréquence d'essai}}$$

avec un minimum de 15 secondes

Nota — Dans le cas de transformateurs triphasés, il est permis d'appliquer la tension d'essai à chaque phase (c'est-à-dire entre chaque borne de ligne et la terre) successivement et, si on le désire, de connecter les autres phases de manière à leur éviter des tensions anormalement élevées entre bornes de lignes voisines

728* *Essais par tension appliquée Durée de l'essai* La durée de l'essai est de une minute.

729 *Renouvellement des essais par tension appliquée* Si des essais par tension appliquée sont répétés sur un transformateur ayant déjà subi ceux prévus conformément aux présentes Recommandations, la tension au cours des nouveaux essais n'excédera pas 75% de la tension lors de l'essai original

730* *Essais aux ondes de choc* Le mode opératoire détaillé des essais aux ondes de choc, comprenant également les essais en onde coupée, n'est pas compris dans la présente édition de ces Recommandations

CHAPITRE VIII — TENUE DES TRANSFORMATEURS AU COURT-CIRCUIT

801 Les transformateurs doivent être construits pour résister sans dommage aux effets des courts-circuits pendant les durées précisées au tableau V, tous les enroulements destinés à être raccordés à une source d'alimentation externe étant alimentés sous leur tension nominale On pourra tenir compte de l'impédance du réseau alimentant le transformateur qui fera l'objet d'un accord conclu entre l'acheteur et le constructeur (voir notes *a* et *b* ci-après)

Pour la détermination des efforts mécaniques, il y a lieu de supposer le courant initial complètement asymétrique Si un essai de court-circuit** est demandé, il constituera un essai de type ou un essai spécial Les modalités d'exécution des essais pour vérifier la tenue aux contraintes mécaniques des gros transformateurs dans les conditions de court-circuit feront l'objet d'un accord entre le fabricant et l'acheteur Les calculs pour déterminer l'échauffement des enroulements dans les conditions de court-circuit sont basés sur les courants et temps donnés dans le tableau V

TABLEAU V — DURÉE CALCULÉE DE TENUE AUX COURTS-CIRCUITS

Tension de court-circuit du transformateur	Courant de court-circuit efficace symétrique que le transformateur doit supporter	Durée en secondes
Inférieure ou égale à 4%	25 fois le courant nominal	2
Supérieure à 4%	courant nominal $\times \frac{100}{\text{tension de court-circuit en \%}}$	3

* Les essais prévus par les articles 726, 728 et 730 sont normalement exécutés dans l'ordre indiqué

** La puissance de court-circuit disponible dans les plates-formes d'essai ne permet généralement pas d'effectuer cet essai sur les transformateurs de grandes dimensions

PART D. — TEST PROCEDURE

726* *Induced voltage tests* It is permissible to make the tests at a frequency greater than the rated power-frequency

727 *Duration of test* The normal duration of the test shall be one minute, but when the test frequency exceeds twice the rated frequency, (as is usually necessary in making this test) the duration of the test shall be equal to —

$$1 \text{ minute} \times \frac{\text{twice rated frequency}}{\text{test frequency}}$$

with a minimum of 15 seconds

Note — On 3-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

728* *Separate-source test Duration of test* The duration of the test shall be one minute

729 *Subsequent separate-source tests* If subsequent tests are made on a transformer which has already withstood separate-source tests in accordance with these Recommendations the subsequent test voltage shall not exceed 75 per cent of the original test voltage

730* *Impulse tests* The detailed procedure in impulse testing, including the recognition of chopped wave tests, is not covered in this edition of these Recommendations

SECTION VIII — ABILITY OF TRANSFORMERS TO WITHSTAND A SHORT CIRCUIT

801 Transformers shall be designed to be capable of withstanding short circuits on any winding or windings without injury for the time-periods given in Table V, with rated line voltages maintained on all windings intended for connection to external sources of power Allowance may be included for the impedance of the system feeding the transformer by agreement between the purchaser and the manufacturer (See Notes *a*) and *b*) below)

The initial current is assumed to be completely displaced from zero when determining the mechanical stresses

If a short-circuit test** is made, it shall be a type test or special test Test procedures, to prove the ability of large transformers to withstand the mechanical stresses under short-circuit conditions, shall be the subject of agreement between the manufacturer and the purchaser Calculations for determining the increase in temperature of the windings under short-circuit conditions shall be based on the conditions given in Table V

TABLE V — DESIGNED TIME-PERIODS FOR WITHSTANDING SHORT CIRCUITS

Transformer impedance voltage	r m s symmetrical short-circuit current to be withstood	Time-period in seconds
4 per cent or lower	25 times rated current	2
higher than 4 per cent	rated current $\times \frac{100}{\text{per cent impedance voltage}}$	3

* The tests in Clauses 726, 728 and 730 are normally made in the order listed

** The available short-circuit power at existing short-circuit test plants generally does not permit this test to be made on the largest sizes of transformer

Dans le cas de transformateurs à trois enroulements ou plus, le temps pendant lequel le transformateur doit pouvoir résister aux effets du court-circuit dépend du courant maximum susceptible de circuler dans chaque enroulement mis en court-circuit, lorsque tous les autres enroulements destinés à être connectés à une source externe d'alimentation sont alimentés sous leur tension nominale

Chaque enroulement sera considéré séparément et la durée de court-circuit admissible pour cet enroulement particulier sera déterminée d'après le tableau V en fonction du rapport du courant de court-circuit maximum au courant nominal

Nota

- a) Lorsque des transformateurs sont connectés directement à d'autres appareils possédant une impédance propre, situés à une faible distance (quelques mètres) et reliés par barres omnibus ou par câbles disposés de telle façon qu'un court-circuit ne puisse pratiquement pas se produire entre le transformateur et ces appareils il faut prendre en considération la valeur du courant de court-circuit déterminée par l'impédance globale du transformateur et de l'appareil qui lui est directement connecté
- b) Les auto-transformateurs étant des appareils connectés en série sont exposés à des courts-circuits exceptionnellement sévères à moins qu'ils ne soient protégés par des dispositifs de limitation de courant. En raison des effets destructeurs cumulatifs de courts-circuits sévères pouvant se succéder, il est pratiquement impossible de déterminer par des essais le courant maximum de court-circuit que cette classe d'appareils peut tenir avec succès. Il est par suite recommandé que des bobines de réactance de limitation de courant soient installées aux points appropriés pour limiter le courant de court-circuit à 25 fois le courant nominal
- c) S'il n'est pas économiquement possible de se conformer aux indications du paragraphe précédent dans le cas d'un transformateur à plusieurs enroulements, les bobines d'inductance nécessaires peuvent être mises en série avec les enroulements d'accord entre le constructeur et l'acheteur

CHAPITRE IX — PLAQUES SIGNALÉTIQUES

- 901
- a) La plaque signalétique d'un transformateur conforme aux présentes Recommandations devra indiquer la puissance nominale C E I (voir article 206) et pourra également porter le numéro et la date de la présente publication
 - b) Tous les renseignements nécessaires pour permettre de réaliser de façon satisfaisante le branchement et le fonctionnement du transformateur en parallèle devront être portés soit sur la plaque signalétique soit sur un schéma
 - c) La plaque signalétique d'un transformateur d'un type ayant subi un essai aux ondes de choc devra porter mention du niveau d'isolement correspondant

CHAPITRE X — PUISSANCES NOMINALES NORMALISÉES

1001 Les puissances nominales normalisées, exprimées en kVA, des transformateurs triphasés appartenant à des séries nouvelles seront choisies dans la série R 10 de nombres normaux. Cette série comprend les valeurs suivantes

TABLEAU VI

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

For transformers having three or more windings, the time for which the transformer shall be capable of withstanding a short circuit is dependent upon the maximum current which can flow in any short-circuited winding with rated voltage maintained on all other windings intended for connection to an external source of power

Each winding shall be considered separately and the ratio of maximum short-circuit current in a winding to its rated current shall be used to obtain from Table V the permissible duration of short circuit for that winding

Notes

- (a) Where transformers are directly connected to other apparatus possessing inherent impedance and located only a few feet from the transformer and connected to it by buses or cables so arranged that there will be no practical possibility of a short circuit occurring between them, the combined impedance of the transformer and directly connected apparatus shall be considered as limiting the short-circuit current
- (b) Auto-transformers, being series apparatus, are liable to exceptionally severe short circuits unless protected by current-limiting means. Because of the cumulative detrimental effects of successive severe short circuits, it is practically impossible to determine by test the maximum safe short-circuit current that this class of apparatus will withstand successfully. It is recommended, therefore, that current-limiting reactors be installed where necessary, to limit the short-circuit current to 25 times rated current
- (c) On a multi-winding transformer if it is not economically practicable to comply with the previous paragraph, then reactance as necessary can be provided in series with the appropriate windings as agreed between the manufacturer and the purchaser

SECTION IX — RATING PLATES

- 901 (a) The rating plate of a transformer conforming to these Recommendations shall show the I E C rating (see Clause 206) and may also be marked with the number and date of this Publication
- (b) All necessary information needed to ensure satisfactory parallel operation or banking should be shown either on the rating plate or on a diagram
- (c) The rating plate of a transformer of a type that has been impulse tested shall be marked with the impulse insulation level

SECTION X — STANDARD kVA RATINGS

1001 The standard kVA ratings for new lines of 3-phase transformers shall be selected from the '10' series of preferred numbers
The following are the preferred numbers in this series —

TABLE VI

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

CHAPITRE XI — PRISES SUPPLÉMENTAIRES NORMALES

1101 Dans les transformateurs de puissance nominale inférieure ou égale à 500 kVA, les prises supplémentaires normales pour changement de prises à vide réaliseront des échelons multiples de 2,5 pour cent de la tension nominale correspondant à la prise principale et couvriront un intervalle ne dépassant pas 10 pour cent de cette tension

Lorsque les échelons sont définis en pour-cent, ce pourcentage est rapporté à la tension à vide sur la prise principale, c'est-à-dire qu'il est proportionnel au nombre de spires

CHAPITRE XII — DÉFINITION ET DÉSIGNATION DES COUPLAGES DE TRANSFORMATEURS TRIPHASÉS

1201 *Modes de connexion des enroulements* Le mode de connexion d'un enroulement formant une unité triphasée, pouvant être exécuté en triangle, en étoile ou en zigzag, est désigné respectivement par les lettres D, Y ou Z et d, y ou z, ainsi qu'il est indiqué au tableau VII

TABLEAU VII

Connexion des enroulements	Désignation
Triangle haute tension	D
Etoile » »	Y
Zigzag » »	Z
Triangle basse tension	d
Etoile » »	y
Zigzag » »	z

Nota — Les expressions « haute tension » et « basse tension » ne doivent être ici prises que dans un sens relatif

1202 *Couplage d'un transformateur à deux enroulements* Le couplage d'un transformateur à deux enroulements sera désigné en donnant la lettre (voir tableau VII) représentative du mode de connexion des enroulements pour la plus haute tension, ensuite la lettre (voir tableau VII) représentative du mode de connexion des enroulements pour la basse tension et enfin un chiffre qui exprime l'écart angulaire (déphasage) entre les deux vecteurs représentatifs des tensions entre le point neutre (réel ou fictif) et les bornes haute et basse tension respectivement marquées de la même lettre (p ex Ii, Figure 3)

Dans le schéma vectoriel, il est supposé que les vecteurs représentatifs des tensions entre neutre (réel ou fictif) et bornes consécutives haute tension tournent dans le sens opposé à celui des aiguilles d'une montre

Les déphasages sont toujours définis en prenant comme vecteur origine celui de la plus haute tension

Le déphasage est désigné par un « indice horaire » donné par les aiguilles d'une horloge, la grandeur de l'angle de déphasage en degrés étant obtenue en multipliant « l'indice horaire » par 30

L'indice est exprimé par l'heure donnée par une horloge dont la grande aiguille (celle des minutes) mise sur midi coïncide avec le vecteur représentatif de la tension entre borne haute tension et point neutre, et dont la petite aiguille (celle des heures) coïncide avec le vecteur représentatif de la tension entre borne basse tension et le point neutre

Lorsque la haute et la basse tension sont en phase, leurs deux vecteurs coïncident sur midi, et le déphasage est désigné par l'indice zéro 0

Des exemples de modes de connexion et de déphasages allant de 0 à 11 sont donnés par la figure 3 de l'annexe I, page 58

SECTION XI — STANDARD TAPPINGS

1101 Standard tapplings for off-circuit tap changing on transformers rated up to and including 500 kVA shall be at multiples of 2.5 per cent of the rated voltage corresponding to the principal tapping, with a total range not exceeding 10 per cent

When tapplings are expressed in percentage, that percentage shall be taken on the no-load voltage on the principal tapping, i.e. be proportional to the number of turns

SECTION XII — DEFINITION AND DESIGNATION OF CONNECTIONS OF THREE-PHASE TRANSFORMERS

1201 *Connections of single windings* The connection of a set of windings forming a three-phase unit which may be in delta, star or zigzag connection, is indicated respectively by means of the letter D, Y or Z and d, y, or z as scheduled in Table VII

TABLE VII

Winding connection	Designation
High voltage delta	D
» » star	Y
» » zigzag	Z
Low voltage delta	d
» » star	y
» » zigzag	z

Note — The terms “high voltage” and “low voltage” indicate only the mutual relationship of one to the other

1202 *Connections and phase-angle of a two-winding transformer* The connections of a two-winding transformer shall be expressed by means of the letter (from Table VII) designating the connection of the windings for the higher voltage followed immediately by the letter (from Table VII) designating the connection of the windings for the lower voltage and finally by a number designating the angular displacement (phase-angle) between the two vectors representing the voltages between the neutral point (real or fictitious) and the terminals of the high and low voltage windings respectively, which bear corresponding terminal marking letters (e.g. II in Figure 3)

It is assumed that in the vector diagram, the vectors representing the voltage between the neutral point (real or fictitious) and the successive terminals of the high voltage winding are rotating in a counter-clockwise direction

The phase-angles are determined always with reference to the higher voltage taken as the vector of origin

The phase-angle is expressed in terms of the “hour number” as shown by the position of the hands of a clock, (the magnitude of the phase-angle in degrees is obtained by multiplying the hour number by 30)

The figure which expresses the angle is indicated by the hour shown on a clock whose large hand (minute hand) coincides with the vector of the voltage between the high voltage terminal and the neutral point, and whose small hand (hour hand) coincides with the vector of the voltage between the low voltage terminal and the neutral point

When the high and low voltages are in phase, their two vectors coincide (at noon) and the phase-angle is designated by zero

Examples of connections and phase-angles from 0 to 11 o'clock are shown in Figure 3 of Appendix I, on page 59

1203 *Transformateurs à plus de deux enroulements* Les déphasages des divers enroulements seront toujours définis en prenant pour vecteur origine celui de la plus haute tension

Les couplages d'un transformateur à plus de deux enroulements seront désignés par la lettre (voir tableau VII) représentative du mode de connexion de l'enroulement de la plus haute tension, suivie successivement par les symboles relatifs aux autres enroulements pris dans l'ordre des tensions décroissantes, ces derniers symboles comprenant chacun la lettre de référence (voir tableau VII) suivie de l'indice horaire de l'enroulement considéré, le vecteur de la plus haute tension étant toujours pris comme vecteur origine

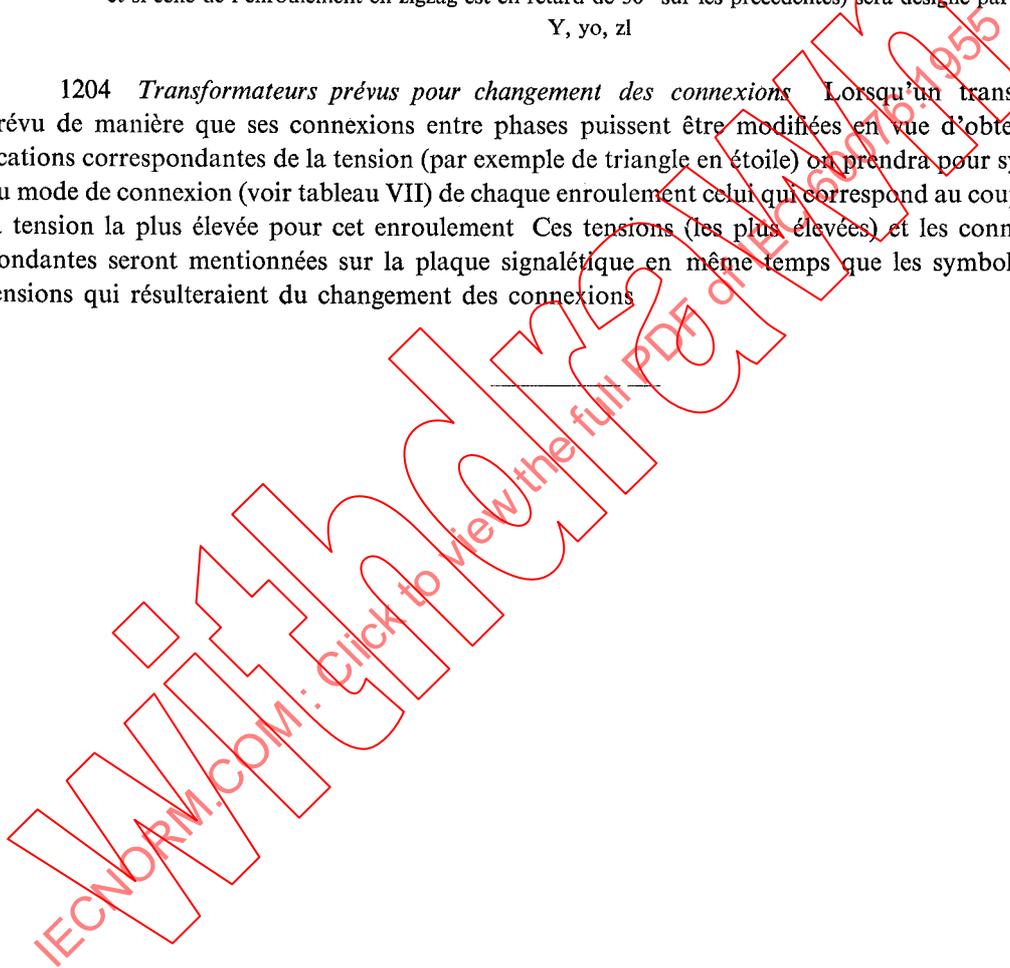
Exemple 1 Dans le cas d'un transformateur ayant trois enroulements respectivement pour les tensions de 150 000 V (triangle), 60 000 V (étoile) et 10 000 V (étoile), le couplage (dans l'hypothèse où les tensions des deux enroulements en étoile sont en phase entre elles et en retard de 30° sur celle de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

D, yl, yl

Exemple 2 Dans le cas d'un autre transformateur ayant trois enroulements respectivement aux tensions de 6 000 V (étoile), 380 V (étoile) et 220 V (zigzag), le couplage (si les tensions des 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, yo, zl

1204 *Transformateurs prévus pour changement des connexions* Lorsqu'un transformateur est prévu de manière que ses connexions entre phases puissent être modifiées en vue d'obtenir des modifications correspondantes de la tension (par exemple de triangle en étoile) on prendra pour symbole littéral du mode de connexion (voir tableau VII) de chaque enroulement celui qui correspond au couplage donnant la tension la plus élevée pour cet enroulement. Ces tensions (les plus élevées) et les connexions correspondantes seront mentionnées sur la plaque signalétique en même temps que les symboles littéraux et tensions qui résulteraient du changement des connexions



1203 *Transformers with more than two windings* The phase-angles of the various windings shall be determined always with reference to the highest voltage taken as the vector of origin

The connections for a transformer with more than two windings shall be designated by the letter (from Table VII) relating to the winding of the highest voltage, followed successively by the symbols relating to the other windings in order of decreasing voltage, these symbols comprising the reference letter (from Table VII) and after it the hour number of the corresponding winding, the vector of the highest voltage being taken as the reference basis

Example 1 In the case of a transformer with three sets of windings respectively for the voltages of 150 000 V (Delta) 60 000 V (Star) and 10 000 V (Star) the designation (for the case when 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 the voltages 6 000 V (Star), 380 V (Star) and 220 V (Zig-Zag) the designation (for the case when the two Star voltages are in phase with one another and the Zig-Zag voltage lags by 30°) would be:—

Y, y0, z1

1204 *Transformer arranged for change of phase connections* In the case of transformer windings which are arranged for change of phase connections giving a corresponding change in voltage (e.g. D to Y) the connection designation letter (Table VII) for each winding shall be that corresponding to the connection giving the highest voltage for that winding. These (highest) voltages and corresponding connections shall be stated on the rating plate, together with alternative designation letters and voltages resulting from the change of phase connections

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

ANNEXE I

DÉSIGNATION DES COUPLAGES DE TRANSFORMATEURS TRIPHASÉS

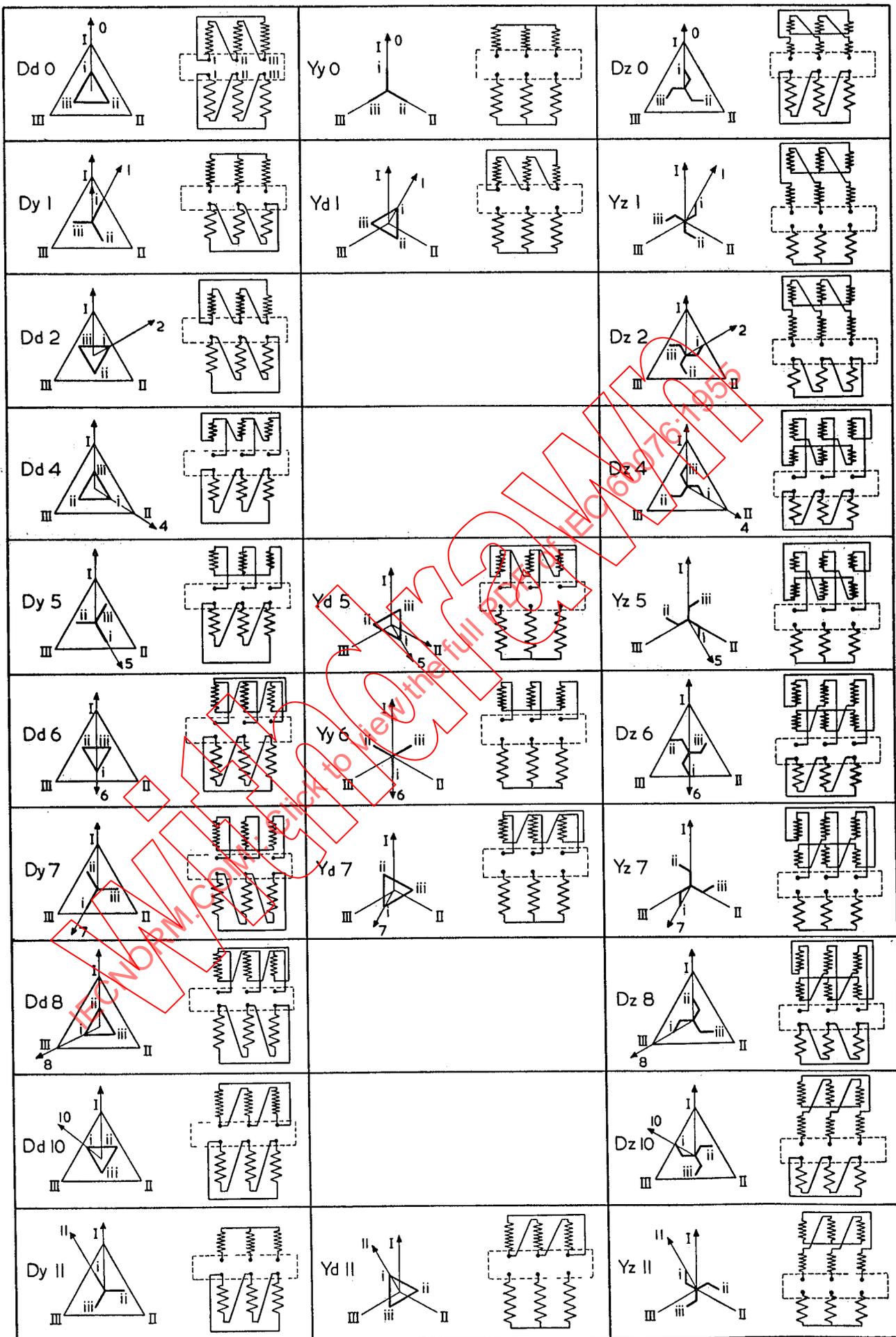


FIG 3 DESIGNATION DES COUPLAGES ET DÉPHASAGES DES TRANSFORMATEURS TRIPHASÉS

Nota — Les marques des bornes I, II, III — i, ii, iii sont utilisées dans les schémas ci-dessus dans un but d'illustration seulement. Elles correspondent aux marques U, V, W — u, v, w, utilisées dans certains pays, A, B, C — a, b, c, utilisées en Grande-Bretagne et H1, H2, H3 — X1, X2, X3, utilisées aux Etats-Unis