

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

Withdrawn

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

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

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

(affiliated to the International Organization for Standardization — ISO)

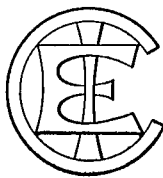
Publication 76

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 tapings	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.

Withdrawal

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 IEC 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.

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 tapplings 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 tapplings 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 tapings. 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
1 a) Pertes totales b) Pertes partielles	+ 1/10 des pertes totales + 1/7 de chacune des pertes partielles avec tolérance de + 1/10 sur le total des pertes
2 Rapport de transformation à vide	La plus faible des deux valeurs suivantes $\pm 1/200$ 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
3 Tension de court-circuit a) Pour la prise principale b) Prises autres que la prise principale	$\pm 1/10$ 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 $\pm 1/7$ 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 $\pm 5\%$ 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
4 Courant à vide	+ 3/10 du courant à vide garanti
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	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 *

* *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 2	natural air air-blast	55° C	75° C

(ii) Oil-immersed transformers

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

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-