

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

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

NORME DE LA CEI

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

(affiliated to the International Organization for Standardization — ISO)

IEC STANDARD

Publication 76-2

Première édition — First edition

1976

DEUXIÈME IMPRESSION 1987

SECOND IMPRESSION 1987

Transformateurs de puissance

Deuxième partie Echauffement

Power transformers

Part 2. Temperature rise



Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale

1, rue de Varembe

Genève, Suisse

Révision de la présente publication

Le contenu technique des publications de la CEI est constamment revu par la Commission afin d'assurer qu'il reflète bien l'état actuel de la technique

Les renseignements relatifs à ce travail de révision, à l'établissement des éditions révisées et aux mises à jour peuvent être obtenus auprès des Comités nationaux de la CEI et en consultant les documents ci dessous:

- **Bulletin de la CEI**
- **Rapport d'activité de la CEI**
Publié annuellement
- **Catalogue des publications de la CEI**
Publié annuellement

Terminologie utilisée dans la présente publication

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

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

Symboles graphiques et littéraux

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

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

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

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

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

Revision of this publication

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

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

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

Terminology used in this publication

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

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

Graphical and letter symbols

Only special graphical and letter symbols are included in this publication

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

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

Other IEC publications prepared by the same Technical Committee

The attention of readers is drawn to the inside of the back cover, which lists other IEC publications issued by the Technical Committee which has prepared the present publication

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

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

NORME DE LA CEI

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

(affiliated to the International Organization for Standardization — ISO)

IEC STANDARD

Publication 76-2

Première édition — First edition

1976

DEUXIÈME IMPRESSION 1987

SECOND IMPRESSION 1987

Transformateurs de puissance

Deuxième partie. Echauffement

Power transformers

Part 2 Temperature rise



Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé électronique ou mécanique y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'éditeur

No part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means electronic or mechanical, including photocopying and microfilm without permission in writing from the publisher

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale

1, rue de Varembe
Genève, Suisse

SOMMAIRE

	Pages
PRÉAMBULE	4
PRÉFACE	4
Articles	
1 Désignation suivant le mode de refroidissement	6
1 1 Symboles de désignation	6
1 2 Disposition des symboles	6
2 Limites d'échauffement	8
2 1 Limites normales d'échauffement	8
2 2 Réduction des échauffements dans le cas de transformateurs prévus pour une température élevée de l'agent de refroidissement ou pour des conditions spéciales de refroidissement par air	10
2 3 Réduction des échauffements pour des transformateurs prévus pour des altitudes élevées	12
3 Essai d'échauffement (essai de type)	12
3 1 Mesure de la température de l'air de refroidissement	12
3 2 Mesure de la température de l'eau de refroidissement	12
3 3 Détermination de la température des enroulements	14
3 4 Mesure de la température de l'huile à la partie supérieure	14
3 5 Durée de l'essai d'échauffement	14
3 6 Méthode d'essai pour les transformateurs du type sec	16
3 7 Méthode d'essai pour les transformateurs immergés dans l'huile	16
3 8 Méthodes de mise en charge	18
3 9 Correction de température pour tenir compte du refroidissement des transformateurs après coupure de l'alimentation	20
FIGURES	24

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
PREFACE	5
Clause	
1 Identification according to cooling method	7
1 1 Identification symbols	7
1 2 Arrangement of symbols	7
2 Temperature-rise limits	9
2 1 Normal temperature-rise limits	9
2 2 Reduced temperature rises for transformers designed for high cooling medium temperatures or special air cooling conditions	11
2 3 Reduced temperature rises for transformers designed for high altitudes	13
3 Test of temperature rise (type test)	13
3 1 Measurement of the temperature of cooling air	13
3 2 Measurement of the temperature of cooling water	13
3 3 Determination of the winding temperature	15
3 4 Measurement of the top oil temperature	15
3 5 Duration of the test of temperature rise	15
3 6 Test method for dry-type transformers	17
3 7 Test method for oil-immersed type transformers	17
3 8 Loading methods	19
3 9 Temperature correction for cooling of transformers after switching off the supply	21
FIGURES	24

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

TRANSFORMATEURS DE PUISSANCE

Deuxième partie : Echauffement

PRÉAMBULE

- 1) Les décisions ou accords officiels de la CEI en ce qui concerne les questions techniques, préparés par des Comités d'Etudes où sont représentés tous les Comités nationaux s'intéressant à ces questions, expriment dans la plus grande mesure possible un accord international sur les sujets examinés
- 2) Ces décisions constituent des recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux
- 3) Dans le but d'encourager l'unification internationale, la CEI exprime le vœu que tous les Comités nationaux adoptent dans leurs règles nationales le texte de la recommandation de la CEI, dans la mesure où les conditions nationales le permettent. Toute divergence entre la recommandation de la CEI et la règle nationale correspondante doit, dans la mesure du possible, être indiquée en termes clairs dans cette dernière

PRÉFACE

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

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

Un premier projet fut discuté lors de la réunion tenue à Bruxelles en 1971 et un deuxième projet fut discuté lors de la réunion tenue à Athènes en 1972, d'où résulta un projet, document 14(Bureau Central)25, qui fut soumis à l'approbation des Comités nationaux suivant la Règle des Six Mois en janvier 1974

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

Afrique du Sud (République d')
Allemagne
Argentine
Australie
Autriche
Belgique
Danemark
Espagne
Etats-Unis d'Amérique
Finlande
France
Hongrie
Israël

Italie
Japon
Norvège
Pays-Bas
Pologne
Roumanie
Royaume-Uni
Suède
Suisse
Tchécoslovaquie
Turquie
Union des Républiques Socialistes Soviétiques
Yougoslavie

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

- Publication 76-1 : Première partie : Généralités
- Publication 76-2 : Deuxième partie : Echauffement
- Publication 76-3 : Troisième partie : Niveaux d'isolement et essais diélectriques
- Publication 76-4 : Quatrième partie : Prises et connexions
- Publication 76-5 : Cinquième partie : Tenue au court circuit

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

Autres publications de la CEI citées dans la présente publication

- Publications n° 85 : Recommandations relatives à la classification des matières destinées à l'isolement des machines et appareils électriques en fonction de leur stabilité thermique en service
- 279 : Mesure de la résistance des enroulements d'une machine à courant alternatif en fonctionnement sous tension alternative

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

POWER TRANSFORMERS

Part 2: Temperature rise

FOREWORD

- 1) The formal decisions or agreements of the IEC on technical matters, prepared by Technical Committees on which all the National Committees having a special interest therein are represented, express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the subjects dealt with
- 2) They have the form of recommendations for international use and they are accepted by the National Committees in that sense
- 3) In order to promote international unification, the IEC expresses the wish that all National Committees should adopt the text of the IEC recommendation for their national rules in so far as national conditions will permit. Any divergence between the IEC recommendation and the corresponding national rules should, as far as possible, be clearly indicated in the latter

PREFACE

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

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

A first draft was discussed at the meeting held in Brussels in 1971, and a second draft was discussed at the meeting held in Athens in 1972, as a result of which a draft, Document 14(Central Office)25, was submitted to the National Committees for approval under the Six Months' Rule in January 1974

The following countries voted explicitly in favour of publication:

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

Publication 76 has been divided into the following five parts which are published as separate booklets:

- Publication 76-1, Part 1: General
- Publication 76-2, Part 2: Temperature Rise
- Publication 76-3, Part 3: Insulation Levels and Dielectric Tests
- Publication 76-4, Part 4: Tappings and Connections
- Publication 76-5, Part 5: Ability to Withstand Short Circuit

Pending publication of Part 3, which will be issued at a later date, the insulation levels and dielectric test requirements of Publication 76 (1967) continue to apply

Other IEC publications quoted in this publication

Publications No. 85: Recommendations for the Classification of Materials for the Insulation of Electrical Machinery and Apparatus in Relation to their Thermal Stability in Service

279: Measurement of the Winding Resistance of an A.C. Machine During Operation at Alternating Voltage

TRANSFORMATEURS DE PUISSANCE

Deuxième partie : Echauffement

1 Désignation suivant le mode de refroidissement

1.1 Symboles de désignation

Les transformateurs doivent être désignés d'après le mode de refroidissement utilisé. Les symboles littéraux correspondant à chaque mode de refroidissement sont mentionnés au tableau I.

TABLEAU I
Symboles littéraux

Nature de l'agent de refroidissement	Symbole
Huile minérale ou liquide isolant synthétique inflammable équivalent	O
Liquide isolant synthétique non inflammable	L
Gaz	G
Eau	W
Air	A
Nature de la circulation	
Naturelle	N
Forcée (huile non dirigée)	F
Forcée avec huile dirigée	D

Dans les transformateurs avec circulation forcée et dirigée de l'huile, une certaine proportion du flux forcé d'huile est canalisée à travers les enroulements. Certains enroulements, cependant, peuvent avoir une circulation forcée avec huile non dirigée, par exemple les enroulements de réglage séparés, les enroulements auxiliaires et les enroulements de stabilisation.

1.2 Disposition des symboles

Les transformateurs doivent être désignés par quatre symboles pour chacun des modes de refroidissement pour lequel un régime nominal est assigné par le constructeur.

Les transformateurs du type sec sans enveloppe de protection sont désignés par deux symboles seulement pour l'agent de refroidissement qui est en contact avec les enroulements ou, dans le cas d'enroulements enrobés dans une matière isolante (par exemple résine époxy), avec la surface de l'enrobage.

L'ordre dans lequel les symboles doivent être utilisés est indiqué au tableau II. On doit utiliser une barre de fraction oblique pour séparer les groupes de symboles des différents modes de refroidissement.

TABLEAU II
Ordre des symboles

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

POWER TRANSFORMERS

Part 2: Temperature rise

1 Identification according to cooling method

1.1 Identification symbols

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

TABLE I
Letter symbols

Kind of cooling medium	Symbol
Mineral oil or equivalent flammable synthetic insulating liquid	O
Non-flammable synthetic insulating liquid	L
Gas	G
Water	W
Air	A
Kind of circulation	
Natural	N
Forced (oil not directed)	F
Forced-directed oil	D

In transformers with forced-directed oil circulation, a certain proportion of the forced oil flow is channelled so as to pass through the windings. Certain windings, however, may have a non-directed oil flow, for instance separate tapping windings, auxiliary windings and stabilizing windings.

1.2 Arrangement of symbols

Transformers shall be identified by four symbols for each cooling method for which a rating is assigned by the manufacturer.

Dry-type transformers without protective enclosures are identified by two symbols only for the cooling medium that is in contact with the windings or the surface coating of windings with an overall coating (e.g. epoxy resin).

The order in which the symbols are used shall be as given in Table II. Oblique strokes shall be used to separate the group symbols for different cooling methods.

TABLE II
Order of symbols

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

Par exemple, un transformateur immergé dans l'huile, à circulation forcée et dirigée de l'huile et à circulation forcée d'air serait désigné ODAF

Dans le cas de transformateurs immergés dans l'huile pour lesquels les circulations naturelle ou forcée sont possibles au choix, la circulation forcée de l'huile n'étant pas dirigée, les désignations types sont

ONAN/ONAF

ONAN/OFAF

Le mode de refroidissement d'un transformateur du type sec sans une enveloppe de protection ou avec une enveloppe ventilée et à refroidissement naturel par air est désigné par

AN

Un transformateur du type sec, muni d'une enveloppe de protection non ventilée et à refroidissement naturel par air à l'intérieur et à l'extérieur de cette enveloppe, est désigné par

ANAN

2 Limites d'échauffement

2.1 Limites normales d'échauffement

Les échauffements des enroulements, des circuits magnétiques et de l'huile des transformateurs destinés à fonctionner à des altitudes ne dépassant pas celles indiquées au paragraphe 2.1 de la Publication 76-1 de la CEI Première partie: Généralités, et dont les températures du fluide de refroidissement sont conformes aux indications du paragraphe 2.1 de la Publication 76-1 ne doivent pas dépasser les limites spécifiées dans les tableaux III et IV quand les essais sont faits conformément à l'article 3

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

TABEAU III

Limites d'échauffement pour les transformateurs du type sec

1	2	3	4
Partie	Mode de refroidissement	Classe de température de l'isolation *	Echauffement maximal °C
Enroulements (échauffement mesuré par la méthode de variation de résistance)	Par air, naturel ou ventilation forcée	A E B F H	60 75 80 100 125 150 **
Circuits magnétiques et autres parties a) En contact avec les enroulements b) Non en contact avec les enroulements	Tous	—	a) Mêmes valeurs que pour les enroulements b) La température ne doit atteindre, en aucun cas, une valeur susceptible d'endommager le circuit magnétique même ou d'autres parties ou les matériaux adjacents

Note — Les matières isolantes peuvent être utilisées séparément ou en combinaison, sous réserve qu'en aucun cas chaque isolant ne soit soumis, lors du fonctionnement aux conditions nominales, à une température supérieure à celle pour laquelle il convient

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

** Des échauffements supérieurs à 150 °C peuvent être acceptés avec certains matériaux isolants après accord entre le constructeur et l'acheteur

For example, an oil-immersed transformer with forced-directed oil circulation and forced air circulation would be designated ODAF

For oil-immersed transformers in which the alternatives of natural or forced cooling with non-directed oil flow are possible, typical designations are

ONAN/ONAF

ONAN/OFAF

The cooling method of a dry-type transformer without a protective enclosure or with a ventilated enclosure and with natural air cooling is designated by:

AN

For a dry-type transformer in a non-ventilated protective enclosure with natural air cooling inside and outside the enclosure, the designation is

ANAN

2 Temperature-rise limits

2.1 Normal temperature-rise limits

The temperature rises of the windings, cores and oil of transformers designed for operation at altitudes not exceeding those given in Sub-clause 2.1 of IEC Publication 76-1, Part 1. General, and with cooling medium temperatures as described in Sub-clause 2.1 of Publication 76-1 shall not exceed the limits specified in Tables III and IV when tested in accordance with Clause 3

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

TABLE III

Temperature-rise limits for dry-type transformers

1	2	3	4
Part	Cooling method	Temperature class of insulation *	Maximum temperature rise °C
Windings (temperature rise measured by the resistance method)	Air, natural or forced	A E B F H	60 75 80 100 125 150 **
Cores and other parts	All	—	a) Same values as for windings
a) Adjacent to windings			b) The temperature shall, in no case, reach a value that will damage the core itself, other parts or adjacent materials
b) Not adjacent to windings			

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

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

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

TABEAU IV

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

1	2
Partie	Echauffement maximal °C
Enroulements: classe de température de l'isolation A (échauffement mesuré par la méthode de variation de résistance)	65, lorsque la circulation d'huile est naturelle ou forcée non dirigée 70, lorsque la circulation d'huile est forcée et dirigée
Huile à la partie supérieure (échauffe- ment mesuré par thermomètre)	60, lorsque le transformateur est muni d'un con- servateur ou est étanche à l'air 55, lorsque le transformateur n'est ni muni d'un conservateur ni étanche à l'air
Circuits magnétiques, parties métalliques et autres matériaux adjacents	La température ne doit atteindre, en aucun cas, une valeur susceptible d'endommager le circuit magnétique même ou d'autres parties ou les matériaux adjacents

Note — Les limites d'échauffement des enroulements (mesuré par la méthode de variation de résistance) sont choisies de manière à donner le même échauffement du point chaud avec différents modes de circulation d'huile. L'échauffement du point chaud ne peut normalement pas être mesuré directement. Dans les transformateurs à circulation forcée et dirigée de l'huile, la différence entre l'échauffement du point chaud et l'échauffement moyen dans les enroulements est plus petite que celle qui apparaît dans les transformateurs à circulation naturelle de l'huile, ou dans ceux à circulation forcée mais non dirigée de l'huile. C'est pour cette raison que l'on peut admettre pour les enroulements des transformateurs à circulation forcée et dirigée de l'huile des limites d'échauffement (mesuré par la méthode de variation de résistance) supérieures de 5 °C à celles des autres transformateurs.

La méthode de vérification de la circulation forcée et dirigée de l'huile fera l'objet d'un accord entre le constructeur et l'acheteur normalement au moment de la proposition.

Les limites d'échauffement des transformateurs immergés dans des liquides isolants synthétiques non inflammables et utilisant des isolants dont la classe de température est différente de la classe A peuvent être majorées d'une quantité à convenir entre le constructeur et l'acheteur.

Dans certains types de transformateurs à enroulements concentriques dont les axes du noyau magnétique et des enroulements sont verticaux, deux ou plusieurs enroulements peuvent être disposés les uns au-dessus des autres. Si ces enroulements sont identiques, la valeur de la moyenne arithmétique de leurs échauffements ne doit pas dépasser les échauffements permis aux tableaux III et IV. Si ces enroulements ne sont pas identiques, les valeurs de leur échauffement doivent faire l'objet d'un accord entre le constructeur et l'acheteur. Dans ce cas, les dimensions axiales de chaque enroulement doivent être prises en considération.

2.2 Réduction des échauffements dans le cas de transformateurs prévus pour une température élevée de l'agent de refroidissement ou pour des conditions spéciales de refroidissement par air

Si le transformateur est prévu pour un fonctionnement avec une température de l'air de refroidissement dépassant l'une des valeurs maximales indiquées dans la Publication 76-1, paragraphe 2.1, d'une valeur au plus égale à 10 °C, les échauffements admissibles pour les enroulements, le circuit magnétique et l'huile seront réduits.

Si la puissance nominale est égale ou supérieure à 10 MVA, la réduction correspond au dépassement de température. Pour les puissances nominales inférieures, les échauffements admissibles seront réduits :

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

Si, pour un transformateur à refroidissement par air, ce dépassement est supérieur à 10 °C ou si, pour les transformateurs à refroidissement par eau, la température de l'eau de refroidissement dépasse 25 °C, les échauffements admissibles devront faire l'objet d'un accord entre le constructeur et l'acheteur.

TABLE IV

Temperature-rise limits for oil-immersed type transformers

1	2
Part	Maximum temperature rise °C
Windings: temperature class of insulation A (temperature rise measured by the resistance method)	65, when the oil circulation is natural or forced non-directed 70, when the oil circulation is forced and directed
Top oil (temperature rise measured by thermometer)	60, when the transformer is equipped with a conservator or sealed 55, when the transformer is neither equipped with a conservator nor sealed
Cores, metallic parts and adjacent materials	The temperature shall, in no case, reach a value that will damage the core itself, other parts or adjacent materials

Note — The temperature-rise limits of the windings (measured by the resistance method) are chosen to give the same hot-spot temperature rise with different types of oil circulation. The hot-spot temperature rise cannot normally be measured directly. Transformers with forced-directed oil flow have a difference between the hot-spot and the average temperature rise in the windings which is smaller than that in transformers with natural or forced but not directed oil flow. For this reason, the windings of transformers with forced-directed oil flow can have temperature-rise limits (measured by the resistance method) which are 5 °C higher than in other transformers.

The method of verification of the forced-directed oil flow is subject to agreement between the manufacturer and the purchaser, normally at the time of tender.

The temperature rises of transformers immersed in non-flammable synthetic insulating liquids and using insulating materials whose temperature classes are different from A can be raised by an amount to be agreed by the manufacturer and the purchaser.

In certain types of transformers with concentric windings and vertical axes of core and windings, two or more windings can be arranged one above the other. If these windings are identical, the arithmetic mean value of their temperature rises should not exceed the permissible temperature rises given in Tables III and IV. If the windings are not identical, their temperature rises shall be subject to an agreement between the manufacturer and the purchaser. In this case, the axial dimensions of each winding are to be considered.

2.2 *Reduced temperature rises for transformers designed for high cooling medium temperatures or special air cooling conditions*

If the transformer is designed for service where the temperature of the cooling air exceeds one of the maximum values shown in Publication 76-1, Sub-clause 2.1, by no more than 10 °C, the allowable temperature rises for the windings, core and oil shall be reduced.

If the rated power is 10 MVA or greater, the reduction corresponds to the excess temperature. For smaller rated powers, the allowable temperature rises shall be reduced:

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

Where for air-cooled transformers the excess temperature above exceeds 10 °C, or for water-cooled transformers the temperature of the cooling water exceeds 25 °C, the allowable temperature rises require an agreement between the manufacturer and the purchaser.

Toutes conditions du lieu d'installation susceptibles soit d'imposer des restrictions sur l'air de refroidissement, soit de produire des températures élevées de l'air ambiant, devront être spécifiées par l'acheteur

2.3 Réduction des échauffements pour des transformateurs prévus pour des altitudes élevées

Sauf accord contraire entre le constructeur et l'acheteur, pour des transformateurs à refroidissement par air destinés à fonctionner à des altitudes supérieures à 1 000 m, mais essayés à des altitudes normales, les limites d'échauffement données aux tableaux III et IV sont réduites des quantités suivantes pour chaque tranche de 500 m au-dessus de 1 000 m

— Transformateurs immergés dans l'huile, à refroidissement naturel par air	2,0%
— Transformateurs du type sec, à refroidissement naturel par air	2,5%
— Transformateurs immergés dans l'huile, à ventilation forcée	3,0%
— Transformateurs du type sec, à ventilation forcée	5,0%

Notes 1 — Si des transformateurs à refroidissement par air destinés à fonctionner au-dessous de 1 000 m sont essayés à des altitudes supérieures à 1 000 m, les échauffements mesurés seront réduits des quantités mentionnées ci-dessus pour chaque tranche de 500 m au-dessus de 1 000 m

2 — Ces réductions des limites d'échauffement et des échauffements mesurés ne s'appliquent pas aux transformateurs à refroidissement par eau

3 Essai d'échauffement (essai de type)

3.1 Mesure de la température de l'air de refroidissement

3.1.1 Généralités

La température de l'air de refroidissement doit être mesurée au moyen de plusieurs thermomètres disposés suivant les paragraphes 3.1.2 et 3.1.3. Ils doivent être protégés contre les courants d'air et contre tout rayonnement anormal de chaleur

Pour éviter des erreurs résultant de la lenteur avec laquelle la température du transformateur suit la température de l'air de refroidissement, les thermomètres peuvent être disposés dans des récipients remplis de liquide et possédant une constante de temps d'environ 2 h

On adopte comme valeur de la température de l'air de refroidissement pendant un essai la valeur moyenne des lectures faites sur ces thermomètres à intervalles de temps égaux pendant le dernier quart de la durée de l'essai

La température de l'air de refroidissement devra être aussi constante que possible pendant la durée de l'essai et spécialement durant le dernier quart

3.1.2 Refroidissement par circulation naturelle de l'air

Les thermomètres (au moins trois) doivent être placés en différents points autour du transformateur à mi-hauteur environ de la surface de refroidissement et à une distance de 1 m à 2 m de cette surface de refroidissement

3.1.3 Refroidissement par ventilation forcée

S'il y a un flux d'air bien défini allant de l'extérieur vers l'admission d'air des réfrigérants, sans recyclage important d'air chaud, les thermomètres devront être placés à l'admission de l'air. Ils devront être assez loin des surfaces de la cuve et du réfrigérant pour éviter des perturbations dues au rayonnement thermique (distance de 1 m à 2 m)

Si ces conditions ne peuvent pas être remplies, les températures doivent être mesurées autour du transformateur complet, en dehors des courants d'air recyclés, de préférence sur un côté sans réfrigérant s'il y en a un

3.2 Mesure de la température de l'eau de refroidissement

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

Any site conditions which may either impose restrictions on the air cooling or produce high ambient air temperatures should be specified by the purchaser

2.3 *Reduced temperature rises for transformers designed for high altitudes*

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

— Oil-immersed, natural-air-cooled transformers	2.0 %
— Dry-type, natural-air-cooled transformers	2.5 %
— Oil-immersed, forced-air-cooled transformers	3.0 %
— Dry-type, forced-air-cooled transformers	5.0 %

Notes 1 — If air-cooled transformers which are designed for operation below 1 000 m (3 300 ft) are tested at altitudes above 1 000 m (3 300 ft), the measured temperature rises are to be reduced by the above-mentioned amounts for each 500 m (1 650 ft) by which the test altitude exceeds 1 000 m (3 300 ft)

2 — These reductions in temperature-rise limits or in measured temperature rises are not applicable to water-cooled transformers

3 **Test of temperature rise (type test)**

3.1 *Measurement of the temperature of cooling air*

3.1.1 *General*

The cooling-air temperature shall be measured by means of several thermometers arranged according to Sub-clauses 3.1.2 and 3.1.3. They shall be protected from draught and abnormal heat radiation.

To avoid errors due to the time lag between variations in the temperature of the transformer and that of the cooling air, the thermometers may be inserted in cups filled with liquid, having a time constant of about 2 h.

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

The temperature of the cooling air should be as constant as possible during the test period, especially during the last quarter.

3.1.2 *Natural air cooling*

The thermometers (at least three) shall be placed at different points around the transformer, at a level approximately half-way up the cooling surface, at a distance of 1 m to 2 m from the cooling surface.

3.1.3 *Forced air cooling*

If there is a well-defined flow of air from the surroundings towards the intakes of the coolers, without much recirculation of warm air, the thermometers should be placed in this intake stream. They should be far enough away from the tank and cooler surfaces to prevent disturbance by radiant heating (distance of 1 m to 2 m).

If these conditions cannot be fulfilled, the temperatures shall be measured around the complete transformer, outside the recirculation streams, preferably on a side without cooler, if any.

3.2 *Measurement of the temperature of cooling water*

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

3 3 Détermination de la température des enroulements

On doit déterminer en principe la température des enroulements par la méthode de variation de résistance

La température d'un enroulement (θ_2) à la fin d'un essai se calcule à partir de sa résistance (R_2) mesurée à cette température et de sa résistance (R_1) mesurée à une autre température (θ_1) suivant la formule

$$\theta_2 = \frac{R_2}{R_1} (235 + \theta_1) - 235 \quad \text{pour le cuivre}$$

$$\theta_2 = \frac{R_2}{R_1} (225 + \theta_1) - 225 \quad \text{pour l'aluminium}$$

où θ_1 et θ_2 sont mesurées en degrés Celsius

La résistance (R_1) est généralement la résistance à froid mesurée conformément au paragraphe 8 2 de la Publication 76-1 La résistance (R_2) se mesure soit après coupure de l'alimentation, compte tenu des corrections indiquées au paragraphe 3 9, ou sans interrompre l'alimentation, par la méthode de superposition qui consiste à injecter dans l'enroulement un courant continu de mesure de faible intensité se superposant au courant de charge (L'utilisation du courant continu superposé pour la mesure des résistances des enroulements de machines à courant alternatif est décrite dans la Publication 279 de la CEI Mesure de la résistance des enroulements d'une machine à courant alternatif en fonctionnement sous tension alternative)

Dans le cas de transformateurs à enroulements concentriques dont les axes du noyau magnétique et des enroulements sont verticaux, et dont deux ou plusieurs enroulements identiques sont disposés les uns au-dessus des autres, ces enroulements identiques peuvent être reliés en série pour l'essai d'échauffement L'échauffement mesuré de ces enroulements reliés en série ne doit pas dépasser la valeur appropriée indiquée aux tableaux III et IV

Si la méthode de variation de résistance n'est pas applicable (par exemple dans le cas d'enroulement à faible résistance où la résistance des contacts et des connexions constitue une part considérable de la résistance totale), la température moyenne de l'enroulement est déterminée, dans la mesure du possible, après accord entre le constructeur et l'acheteur, à l'aide de thermocouples placés en contact avec la face externe des enroulements et on conserve la limite d'échauffement indiquée au tableau

On ne doit utiliser qu'une seule méthode pour la détermination de la température des enroulements

3 4 Mesure de la température de l'huile à la partie supérieure

La température de l'huile à la partie supérieure doit se mesurer à l'aide d'un thermomètre placé dans un doigt de gant rempli d'huile situé sur le couvercle ou dans la tuyauterie d'admission au réfrigérant Mais dans le cas de réfrigérants séparés, ce doigt de gant doit être placé dans la tuyauterie de sortie d'huile près du transformateur Si la cuve n'est pas complètement remplie d'huile, le doigt de gant doit être suffisamment long, ou placé dans une position appropriée sur la cuve, de façon à assurer une mesure correcte de la température de l'huile à la partie supérieure, une autre solution est de prévoir une ouverture permettant l'introduction du thermomètre L'échauffement ainsi déterminé ne doit pas dépasser la valeur limite indiquée pour l'huile au tableau IV

3 5 Durée de l'essai d'échauffement

L'essai doit être poursuivi jusqu'à ce que les conditions de l'une des deux méthodes suivantes soient remplies La méthode doit être choisie par le constructeur

3 5 1 Méthode a

On doit obtenir la certitude que l'échauffement le plus élevé ne dépassera pas la valeur indiquée au tableau III ou au tableau IV, suivant le cas, même si l'essai devait se poursuivre jusqu'à l'obtention de l'équilibre thermique On doit relever les températures où cela est possible au cours du fonctionnement ainsi qu'après la coupure de l'alimentation du transformateur On ne pourra admettre l'essai comme terminé que lorsque l'augmentation d'échauffement sera inférieure à 3 °C en 1 h

La méthode représentée à la figure 1, page 24, doit être appliquée pour la détermination de l'échauffement final

3 3 Determination of the winding temperature

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

The temperature of a winding (θ_2) at the end of a test period shall be calculated from its measured resistance (R_2) at that temperature and its measured resistance (R_1) at some other temperature (θ_1) using the formula

$$\theta_2 = \frac{R_2}{R_1} (235 + \theta_1) - 235 \quad \text{for copper}$$

$$\theta_2 = \frac{R_2}{R_1} (225 + \theta_1) - 225 \quad \text{for aluminium}$$

where θ_1 and θ_2 are measured in degrees Celsius

The resistance (R_1) is generally the cold resistance measured in accordance with Sub-clause 8.2 of Publication 76-1. The resistance (R_2) is measured either after switching off the supply, having regard to the corrections indicated in Sub-clause 3.9, or without interruption of the supply by means of the superposition method, which consists of injecting into the winding a d.c. measuring current of low value superposed on the load current. (The use of a superposed d.c. current for the measurement of the winding resistances of a.c. machines is described in IEC Publication 279, Measurement of the Winding Resistance of an A.C. Machine During Operation at Alternating Voltage.)

In the case of transformers with concentric windings and vertical axes of core and windings where two or more identical windings are arranged one above the other, all these windings can be connected in series for the test of temperature rise. The measured temperature rise of these series-connected windings shall not exceed the appropriate value given in Tables III and IV.

If the resistance method is not applicable (for example in the case of a low-resistance winding where the resistance of the joints and connections constitutes a considerable part of the total resistance), as far as possible and subject to agreement between the manufacturer and the purchaser, the average winding temperature is determined by the use of thermocouples placed in contact with the external face of the windings and the temperature-rise limit in the table is retained.

One method only shall be used for the determination of the winding temperatures.

3 4 Measurement of the top oil temperature

The temperature of the top oil shall be measured by a thermometer placed in an oil-filled thermometer pocket on the cover or in the outlet pipe to the cooler, but, in the case of separate coolers, it shall be located in the outlet pipe near to the transformer. Should the tank be not completely filled with oil, the pocket shall be long enough, or placed in an appropriate position on the tank, to ensure true measurement of the top oil temperature, alternatively, an opening shall be provided through which the thermometer can be inserted. The temperature rise so determined shall not exceed the limiting value for oil given in Table IV.

3 5 Duration of the test of temperature rise

The test shall be continued until the requirements of one of the following methods have been met. The method shall be chosen by the manufacturer.

3 5 1 Method a

Evidence shall be obtained that the highest temperature rise will not exceed the value given in Table III or in Table IV, as appropriate, even if the test were continued until thermal equilibrium is reached. Temperatures shall be taken where possible during operation, as well as when the supply to the transformer is switched off. The test shall not be regarded as completed until the temperature-rise increment is less than 3 °C in 1 h.

The method shown in Figure 1, page 24, shall be employed for the determination of the final temperature rise.

3 5 2 Méthode b

On doit vérifier que l'échauffement de l'huile à la partie supérieure ne varie pas plus de 1 °C par heure pendant 4 h consécutives. Si l'essai est commencé avec un refroidissement réduit ou sans que le système de refroidissement soit en service, on doit le poursuivre pendant un temps suffisant avec plein refroidissement afin d'éviter des erreurs dans la mesure de l'échauffement final de l'huile.

3 6 Méthode d'essai pour les transformateurs du type sec *

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

L'échauffement des enroulements par rapport à la température de l'air de refroidissement pour les conditions de charge nominale $\Delta\theta_N$ se calcule par la formule

$$\Delta\theta_N = \Delta\theta_t \left[\frac{I_N}{I_t} \right]^q$$

On prend pour q la valeur suivante

transformateurs AN 1,6,

transformateurs AF 1,8

Note — Pour les méthodes de mise en charge, voir le paragraphe 3 8

3 7 Méthode d'essai pour les transformateurs immergés dans l'huile *

Les essais d'échauffement des transformateurs immergés dans l'huile comprennent la détermination de l'échauffement de l'huile à la partie supérieure et des échauffements des enroulements.

Notes 1 — Pendant l'essai, on peut mesurer la puissance nécessaire aux moteurs des pompes et des ventilateurs

2 — Pour les méthodes de mise en charge, voir le paragraphe 3 8

3 7 1 Échauffement de l'huile à la partie supérieure

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

Si l'on ne peut réaliser la valeur exacte des pertes totales (somme des pertes dues à la charge mesurées et ramenées à la température de référence, conformément aux paragraphes 8 1 et 8 4 de la Publication 76-1, et des pertes à vide mesurées), l'essai peut être effectué pour une valeur différente des pertes aussi voisine que possible de la valeur totale mentionnée ci-dessus, mais en aucun cas inférieure à 80 % de cette valeur, on doit alors appliquer à la valeur ainsi déterminée de l'échauffement de l'huile à la partie supérieure le facteur de correction suivant

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

La valeur de x est :

pour la ventilation naturelle 0,8,

pour la ventilation forcée et le refroidissement par eau 1,0

3 7 2 Échauffements des enroulements

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

* Le texte des paragraphes 3 6, 3 7 et 3 8 suppose que le transformateur n'a pas de prises, ou, s'il en a, que l'essai est fait sur la prise principale. Si l'essai est fait sur une autre prise, il y a lieu de remplacer dans ce texte les mots « tension nominale » et « courant nominal » par « tension de prise appropriée » et « courant de prise approprié ».

3 5 2 Method b

It shall be demonstrated that the top oil temperature rise does not vary more than 1 °C per hour during four consecutive hourly readings. If the test is performed initially with reduced cooling or without any cooling, it shall be continued for sufficient time with full cooling to prevent errors in the measurement of the final oil temperature rise.

3 6 Test method for dry-type transformers *

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

The temperature rise of the windings above the temperature of the cooling air for rated load conditions, $\Delta\theta_N$, is calculated from the formula

$$\Delta\theta_N = \Delta\theta_t \left[\frac{I_N}{I_t} \right]^q$$

The value of q shall be taken as

AN transformers 1.6,

AF transformers 1.8

Note — For loading methods see Sub-clause 3.8.

3 7 Test method for oil-immersed type transformers *

Temperature-rise tests on oil-immersed type transformers include the determination of top oil temperature rise and of winding temperature rises.

Notes 1 — During the test, the power required for the pump and fan motors may be measured.

2 — For loading methods see Sub-clause 3.8.

3 7 1 Top oil temperature rise

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

If the total losses (taken as the sum of the measured load losses, corrected to the reference temperature in accordance with Sub-clauses 8.1 and 8.4 of Publication 76-1, and the measured no-load losses) cannot be obtained, different losses, as near as possible to the above losses, but in any case not less than 80 %, shall be supplied and the following correction factor applied to the top oil temperature rise so determined

$$\left(\frac{\text{total losses}}{\text{test losses}} \right)^x$$

The value of x is

for natural air circulation 0.8,

for forced air circulation and water cooling 1.0

3 7 2 Winding temperature rises

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

* The text of Sub-clauses 3.6, 3.7 and 3.8 assumes that the transformer has no tapplings, or, if it has, that the test is made on the principal tapping. If the test is made on another tapping it is necessary to replace in this text the words "rated voltage" and "rated current" by "appropriate tapping voltage" and "appropriate tapping current".

Si l'on ne peut réaliser exactement les valeurs nominales des courants, les essais peuvent être effectués avec une valeur de courant qui ne soit pas inférieure à 90 % de la valeur du courant nominal

En variante, on peut utiliser une valeur de courant fournissant les pertes totales. Dans les deux cas, on doit appliquer à l'échauffement déterminé des enroulements au-dessus de la température moyenne de l'huile le facteur de correction suivant

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

La valeur de y est

pour la circulation naturelle de l'huile et pour la circulation de l'huile forcée non dirigée 1,6,

pour la circulation forcée et dirigée de l'huile 2,0

On peut appliquer l'une des méthodes suivantes pour déterminer la température moyenne de l'huile

a) Pour tous les modes de refroidissement, la température moyenne de l'huile au voisinage des différents enroulements est calculée d'après la figure 2, page 25, à partir de la résistance R' , à l'intersection de la ligne droite L et de l'axe des ordonnées. Les résistances des enroulements se déterminent après coupure de l'alimentation selon le paragraphe 3.9

b) Dans les transformateurs à refroidissement ON, OF et OD, la température moyenne de l'huile est déterminée en déduisant de la température de l'huile à la partie supérieure la moitié de la chute de température dans le réfrigérant

Pour les cuves à tubes ou à radiateurs accolés, la chute de température doit être prise égale à la différence entre les températures en surface relevées au sommet et au bas du tube de refroidissement ou de l'élément de radiateur, l'élément de radiateur ou le tube choisi étant aussi près que possible du milieu d'un côté de la cuve

Dans le cas d'un réfrigérant séparé, la chute de température doit être la différence des lectures des thermomètres disposés dans des doigts de gant placés dans les tuyaux d'admission et de refoulement du réfrigérant et à proximité de la cuve principale

c) Pour les transformateurs de puissances nominales allant jusqu'à 2 500 kVA et à circulation naturelle de l'huile, équipés soit de cuves lisses, soit de cuves à ondes, soit de cuves à tubes, soit de cuves avec radiateurs accolés, on prend comme échauffement moyen de l'huile 0,8 fois l'échauffement de l'huile à la partie supérieure

On devra corriger, au besoin, les variations de la température moyenne de l'huile pendant les essais comme il est expliqué en détail au paragraphe 3.8.3

On admettra que l'échauffement moyen de l'huile varie en fonction des pertes selon la loi indiquée au paragraphe 3.7.1 pour l'échauffement de l'huile à la partie supérieure

3.8 Méthodes de mise en charge *

Pour la mise en charge des transformateurs à deux enroulements, on peut appliquer, au choix du constructeur, l'une des méthodes décrites aux paragraphes 3.8.1 à 3.8.3 dans le cas de transformateurs immergés dans l'huile, et aux paragraphes 3.8.1 et 3.8.2 dans le cas de transformateurs du type sec

3.8.1 Méthode de mise en charge directe

Un enroulement du transformateur est alimenté sous sa tension nominale tandis que l'autre est connecté à une charge appropriée telle que les deux enroulements soient parcourus par leurs courants nominaux. Aucune correction de la température moyenne de l'huile ne s'applique à l'échauffement des enroulements de transformateurs immergés dans l'huile

3.8.2 Méthode d'opposition

Deux transformateurs, dont le transformateur en essai, sont connectés en parallèle et alimentés sous la tension nominale du transformateur en essai. En utilisant des rapports de transformation différents ou une tension injectée,

* Le texte des paragraphes 3.6, 3.7 et 3.8 suppose que le transformateur n'a pas de prises, ou, s'il en a, que l'essai est fait sur la prise principale. Si l'essai est fait sur une autre prise, il y a lieu de remplacer dans ce texte les mots « tension nominale » et « courant nominal » par « tension de prise appropriée » et « courant de prise approprié »

If the rated current cannot be supplied, the tests may be performed with a current not less than 90 % of the rated current

Alternatively, a current providing the total losses may be supplied. In either case, the following correction factor shall be applied to the determined temperature rise of the windings above average oil temperature:

$$\left(\frac{\text{rated current}}{\text{test current}} \right)^y$$

The value of y is:

for natural and forced-non-directed oil circulation 1.6,

for forced-directed oil circulation 2.0

The average oil temperature may be determined by one of the following methods

a) For all cooling methods, the average oil temperature in the surroundings of the different windings is calculated according to Figure 2, page 25, from the resistance R' where the straight line L cuts the ordinate. The winding resistances are determined after switching off the supply according to Sub-clause 3.9.

b) In transformers with ON, OF and OD cooling, the average oil temperature is determined as the difference between the top oil temperature and half the temperature drop in the cooling equipment

For tanks with tubes or radiators mounted on them, the temperature drop shall be taken as the difference between the surface temperatures at the top and the bottom of a cooling tube or radiator element, the tube or radiator element chosen being as near as practicable to the middle of a side of the tank

In the case of a separate cooler, the temperature drop shall be taken as the difference in readings of thermometers in thermometer pockets adjacent to the main tank in the inlet and outlet pipes to and from the cooler

c) For transformers having rated powers up to 2 500 kVA with natural oil circulation and plain or corrugated tanks or with tubes or radiators mounted on the tanks, the average oil temperature rise is taken approximately as 0.8 times the top oil temperature rise

Allowances shall be made for variations in the average oil temperature during tests, if needed, as explained in detail in Sub-clause 3.8.3

It shall be accepted that the average oil temperature rise may vary with the losses according to the law given in Sub-clause 3.7.1 for the top oil temperature rise

3.8 Loading methods*

At the choice of the manufacturer, for two-winding transformers any one of the loading methods according to Sub-clauses 3.8.1 to 3.8.3 may be applied for oil-immersed type transformers, and either of the loading methods according to Sub-clauses 3.8.1 and 3.8.2 for dry-type transformers

3.8.1 Direct loading method

One winding of the transformer is excited at rated voltage with the other connected to a suitable load such that rated currents flow in both windings. No correction for average oil temperature need be applied to the winding temperature rise of oil-immersed type transformers

3.8.2 Back-to-back method

Two transformers, one of which is the transformer under test, are connected in parallel and excited at the rated voltage of the transformer under test. By means of different voltage ratios or an injected voltage, the rated current is

* The text of Sub-clauses 3.6, 3.7 and 3.8 assumes that the transformer has no tapplings, or if it has, that the test is made on the principal tapping. If the test is made on another tapping, it is necessary to replace in this text the words "rated voltage" and "rated current" by "appropriate tapping voltage" and "appropriate tapping current"

on fait circuler le courant nominal dans le transformateur en essai. Aucune correction de la température moyenne de l'huile ne s'applique à l'échauffement des enroulements de transformateurs immergés dans l'huile.

3 8 3 *Méthode de court-circuit*

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

On réduit alors la tension d'alimentation à une valeur permettant d'obtenir les courants nominaux à fréquence nominale dans les enroulements et on doit maintenir cette valeur pendant environ 1 h. La température des enroulements se détermine alors par la méthode de variation de résistance. Lors du calcul de l'échauffement des enroulements au-dessus de la température moyenne de l'huile, il faut tenir compte de l'abaissement de la température moyenne de l'huile pendant cette heure.

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

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

3 8 4 *Mise en charge de transformateurs à plusieurs enroulements*

Dans le cas de transformateurs à plusieurs enroulements, dans lesquels plus de deux enroulements peuvent être chargés simultanément, les essais d'échauffement devront normalement être réalisés en effectuant des essais séparés des enroulements deux à deux.

Dans certains cas, les puissances nominales de chaque enroulement peuvent ne pas permettre de faire l'essai du transformateur avec les pertes totales.

Dans de tels cas, la correction de l'échauffement de l'huile à la partie supérieure pour des transformateurs immergés dans l'huile devra être faite comme indiqué au paragraphe 3 7 1.

On doit calculer les corrections suivant le paragraphe 3 7 2, lorsqu'elles apparaissent nécessaires, pour déterminer l'échauffement de chaque enroulement pour la combinaison de charges spécifiées la plus sévère pour l'enroulement considéré. Dans ces calculs, le constructeur peut tenir compte des pertes par courants de Foucault et des pertes supplémentaires pour cette combinaison de charges.

3 9 *Correction de température pour tenir compte du refroidissement des transformateurs après coupure de l'alimentation*

3 9 1 *Généralités*

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

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

Les lectures seront faites aussitôt que possible après la coupure de l'alimentation, en attendant toutefois le temps nécessaire pour permettre la dissipation de l'effet inductif sur le courant de mesure, en tenant compte des indications données par les mesures de résistance à froid (voir la Publication 76-1, paragraphe 8 2 1).

Quand l'alimentation du transformateur est coupée, les ventilateurs ou les pompes de circulation d'eau doivent être arrêtés, mais les pompes de circulation d'huile doivent rester en marche.