

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC
76-2**

Deuxième édition
Second edition
1993-04

Transformateurs de puissance

Partie 2:
Echauffement

Power transformers

Part 2:
Temperature rise



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 76-2: 1993

AVA Documents
Document Sharing Hub

Numéros des publications

Depuis le 1er janvier 1997, les publications de la CEI sont numérotées à partir de 60000.

Publications consolidées

Les versions consolidées de certaines publications de la CEI incorporant les amendements sont disponibles. Par exemple, les numéros d'édition 1.0, 1.1 et 1.2 indiquent respectivement la publication de base, la publication de base incorporant l'amendement 1, et la publication de base incorporant les amendements 1 et 2.

Validité de la présente publication

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

Des renseignements relatifs à la date de reconfirmation de la publication sont disponibles dans le Catalogue de la CEI.

Les renseignements relatifs à des questions à l'étude et des travaux en cours entrepris par le comité technique qui a établi cette publication, ainsi que la liste des publications établies, se trouvent dans les documents ci-dessous:

- «Site web» de la CEI*
- **Catalogue des publications de la CEI**
Publié annuellement et mis à jour régulièrement
(Catalogue en ligne)*
- **Bulletin de la CEI**
Disponible à la fois au «site web» de la CEI* et comme périodique imprimé

Terminologie, symboles graphiques et littéraux

En ce qui concerne la terminologie générale, le lecteur se reportera à la CEI 60050: *Vocabulaire Electrotechnique International* (VEI).

Pour les symboles graphiques, les symboles littéraux et les signes d'usage général approuvés par la CEI, le lecteur consultera la CEI 60027: *Symboles littéraux à utiliser en électrotechnique*, la CEI 60417: *Symboles graphiques utilisables sur le matériel. Index, relevé et compilation des feuilles individuelles*, et la CEI 60617: *Symboles graphiques pour schémas*.

* Voir adresse «site web» sur la page de titre.

Numbering

As from 1 January 1997 all IEC publications are issued with a designation in the 60000 series.

Consolidated publications

Consolidated versions of some IEC publications including amendments are available. For example, edition numbers 1.0, 1.1 and 1.2 refer, respectively, to the base publication, the base publication incorporating amendment 1 and the base publication incorporating amendments 1 and 2.

Validity 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 relating to the date of the reconfirmation of the publication is available in the IEC catalogue.

Information on the subjects under consideration and work in progress undertaken by the technical committee which has prepared this publication, as well as the list of publications issued, is to be found at the following IEC sources:

- **IEC web site***
- **Catalogue of IEC publications**
Published yearly with regular updates
(On-line catalogue)*
- **IEC Bulletin**
Available both at the IEC web site* and as a printed periodical

Terminology, graphical and letter symbols

For general terminology, readers are referred to IEC 60050: *International Electrotechnical Vocabulary* (IEV).

For graphical symbols, and letter symbols and signs approved by the IEC for general use, readers are referred to publications IEC 60027: *Letter symbols to be used in electrical technology*, IEC 60417: *Graphical symbols for use on equipment. Index, survey and compilation of the single sheets* and IEC 60617: *Graphical symbols for diagrams*.

* See web site address on title page.

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC
76-2**

Deuxième édition
Second edition
1993-04

Transformateurs de puissance

**Partie 2:
Echauffement**

Power transformers

**Part 2:
Temperature rise**

© CEI 1993 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 3, rue de Varembe Genève, Suisse



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

U

*Pour prix, voir catalogue en vigueur
For price, see current catalogue*

AVA Documents
Document Sharing Hub

CORRIGENDUM 1

Page 10

Article 4.1:

*Dans le cinquième alinéa, commençant par
« La température du fluide... », à la troisième
ligne, au lieu de*

...voir 2.1 de la CEI 76-1...

lire

*...voir **1.2** de la CEI 76-1...*

Page 11

Clause 4.1:

*In the third paragraph, beginning with
“The cooling medium temperature...”,
third line, instead of*

...see 2.1 of IEC 76-1...

read

*...see **1.2** of IEC 76-1...*

Page 14

Article 4.3.1:

Dans la deuxième ligne, au lieu de

...en 2.1 de la CEI 76-1...

lire

*...en **1.2** de la CEI 76-1...*

Page 15

Article 4.3.1:

In the second line, instead of

...in 2.1 of IEC 76-1...

read

*...in **1.2** of IEC 76-1...*

Withdrawn

SOMMAIRE

	Pages
AVANT-PROPOS	4
Articles	
1 Domaine d'application	6
2 Références normatives	6
3 Symboles de désignation selon le mode de refroidissement	6
4 Limites d'échauffement	10
4.1 Généralités	10
4.2 Limites normales d'échauffement à puissance assignée en régime permanent	10
4.3 Spécifications modifiées du fait de conditions de service anormales	14
4.4 Echauffement durant un cycle de charge spécifié	16
5 Essai d'échauffement	16
5.1 Généralités	16
5.2 Méthodes d'essais pour la détermination des échauffements	18
5.3 Détermination des températures d'huile	24
5.4 Détermination de la température moyenne des enroulements	26
5.5 Détermination de la température de l'enroulement avant coupure de l'alimentation	28
5.6 Corrections	28
Annexes	
A Note sur la température de l'huile dans les transformateurs à circulation forcée d'huile	30
B Charge transitoire – Modèle mathématique et essais	34
C Techniques utilisées dans un essai d'échauffement des transformateurs immergés dans l'huile	42

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
Clause	
1 Scope	7
2 Normative references	7
3 Identification symbols according to cooling method	7
4 Temperature-rise limits	11
4.1 General	11
4.2 Normal temperature-rise limits at continuous rated power	11
4.3 Modified requirements because of unusual service conditions	15
4.4 Temperature rise during a specified load cycle	17
5 Test of temperature rise	17
5.1 General	17
5.2 Test methods for temperature-rise determination	19
5.3 Determination of oil temperatures	25
5.4 Determination of average winding temperature	27
5.5 Determination of winding temperature before shutdown	29
5.6 Corrections	29
Annexes	
A Note on oil temperature in transformers with forced oil circulation	31
B Transient loading – Mathematical model and testing	35
C Techniques used in temperature-rise testing of oil-immersed transformers	43

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

TRANSFORMATEURS DE PUISSANCE

Partie 2: Echauffement

AVANT-PROPOS

- 1) La CEI (Commission Electrotechnique Internationale) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, la CEI, entre autres activités, publie des Normes internationales. Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec la CEI, participent également aux travaux. La CEI collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de la CEI en ce qui concerne les questions techniques, préparés par les comités d'études 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.
- 3) Ces décisions constituent des recommandations internationales publiées sous forme de normes, de rapports techniques ou de guides et agréées comme telles par les Comités nationaux.
- 4) Dans le but d'encourager l'unification internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent à appliquer de façon transparente, dans toute la mesure possible, les Normes internationales de la CEI dans leurs normes nationales et régionales. Toute divergence entre la norme de la CEI et la norme nationale ou régionale correspondante doit être indiquée en termes clairs dans cette dernière.

La présente partie de la Norme internationale CEI 76 a été établie par le comité d'études 14 de la CEI: Transformateurs de puissance

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition parue en 1976.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

Règle de Six Mois	Rapport de vote
14(BC)76	14(BC)78

Le rapport de vote indiqué dans le tableau ci-dessus donne toute information sur le vote ayant abouti à l'approbation de cette norme.

La CEI 76 comprend les parties suivantes, présentées sous le titre général: Transformateurs de puissance.

Partie 1: 1993, Généralités.

Partie 2: 1993, Echauffement.

Partie 3: 1980, Niveaux d'isolement et essais diélectriques.

Partie 5: 1976, Tenue au court-circuit.

Les annexes A, B et C sont données uniquement à titre d'information.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

POWER TRANSFORMERS

Part 2: Temperature rise

FOREWORD

- 1) The IEC (International Electrotechnical Commission) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of the IEC is to promote international cooperation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, the IEC publishes International Standards. Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. The IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) 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.
- 3) They have the form of recommendations for international use published in the form of standards, technical reports or guides and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 4) In order to promote international unification, IEC National Committees undertake to apply IEC International Standards transparently to the maximum extent possible in their national and regional standards. Any divergence between the IEC Standard and the corresponding national or regional standard shall be clearly indicated in the latter.

This part of International Standard IEC 76 has been prepared by IEC technical committee 14: Power transformers.

This second edition cancels and replaces the first edition published in 1976.

The text of this standard is based on the following documents:

Six Months' Rule	Report on Voting
14(CO)76	14(CO)78

Full information on the voting for the approval of this standard can be found in the report on voting indicated in the above table.

IEC 76 consists of the following parts, under the general title: Power transformers.

Part 1: 1993, General.

Part 2: 1993, Temperature rise.

Part 3: 1980, Insulation levels and dielectric tests.

Part 5: 1976, Ability to withstand short circuit.

Annexes A, B and C are for information only.

TRANSFORMATEURS DE PUISSANCE

Partie 2: Echauffement

1 Domaine d'application

La présente partie de la Norme internationale CEI 76 identifie les transformateurs en fonction de leurs modes de refroidissement, définit les limites d'échauffement et présente en détail les méthodes d'essais pour les mesures des échauffements. Elle s'applique aux transformateurs définis par le domaine d'application de la CEI 76-1.

2 Références normatives

Les documents normatifs suivants contiennent des dispositions qui, par suite de la référence qui y est faite, constituent des dispositions valables pour la présente partie de la CEI 76. Au moment de la publication, les éditions indiquées étaient en vigueur. Tout document normatif est sujet à révision et les parties prenantes aux accords fondés sur la présente partie de la CEI 76 sont invitées à rechercher la possibilité d'appliquer les éditions les plus récentes des documents normatifs indiqués ci-après. Les membres de la CEI et de l'ISO possèdent le registre des Normes internationales en vigueur.

CEI 76-1: 1993, *Transformateurs de puissance – Partie 1: Généralités*

CEI 85: 1984, *Evaluation et classification thermiques de l'isolation électrique*

CEI 279: 1969, *Mesure de la résistance des enroulements d'une machine à courant alternatif en fonctionnement sous tension alternative*

CEI 354: 1991, *Guide de charge pour transformateurs de puissance immergés dans l'huile*

CEI 606: 1978, *Guide d'application pour les transformateurs de puissance*

CEI 726: 1982, *Transformateurs de puissance de type sec*

CEI 905: 1987, *Guide de charge pour transformateurs de puissance du type sec*

ISO 2592: 1973, *Produits pétroliers – Détermination des points d'éclair et de feu – Méthode Cleveland en vase ouvert*

3 Symboles de désignation selon le mode de refroidissement

Les transformateurs doivent être désignés selon le mode de refroidissement utilisé. Pour les transformateurs immergés dans l'huile, cette désignation est réalisée par un code à quatre lettres défini ci-dessous. Les codes correspondants pour les transformateurs du type sec sont donnés dans la CEI 726.

POWER TRANSFORMERS

Part 2: Temperature rise

1 Scope

This part of International Standard IEC 76 identifies transformers according to their cooling methods, defines temperature-rise limits and details the methods of test for temperature-rise measurements. It applies to transformers as defined in the scope of IEC 76-1.

2 Normative references

The following normative documents contain provisions which, through reference in this text, constitute provisions of this part of IEC 76. At the time of publication, the editions indicated were valid. All normative documents are subject to revision, and parties to agreements based on this part of IEC 76 are encouraged to investigate the possibility of applying the most recent edition of the normative documents indicated below. Members of IEC and ISO maintain registers of currently valid International Standards.

IEC 76-1: 1993, *Power transformers – Part 1. General*

IEC 85: 1984, *Thermal evaluation and classification of electrical insulation*

IEC 279: 1969, *Measurement of the winding resistance of an a.c. machine during operation at alternating voltage*

IEC 354: 1991, *Loading guide for oil-immersed power transformers*

IEC 606: 1978, *Application guide for power transformers*

IEC 726: 1982, *Dry-type power transformers*

IEC 905: 1987, *Loading guide for dry-type power transformers*

ISO 2592: 1973, *Petroleum products – Determination of flash and fire points – Cleveland open-cup method*

3 Identification symbols according to cooling method

Transformers shall be identified according to the cooling method employed. For oil-immersed transformers this identification is expressed by a four-letter code as described below. Corresponding codes for dry-type transformers are given in IEC 726.

Première lettre: Fluide de refroidissement interne en contact avec les enroulements:

- O huile minérale ou liquide isolant de synthèse de point de feu* $\leq 300\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- K liquide isolant avec point de feu* $> 300\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- L liquide isolant à point de feu non mesurable.

Deuxième lettre: Mode de circulation du fluide de refroidissement interne:

- N circulation *naturelle* par thermosiphon à travers le système de refroidissement et les enroulements;
- F circulation *forcée* à travers le système de refroidissement, circulation par thermosiphon dans les enroulements;
- D circulation forcée à travers le système de refroidissement et dirigée du système de refroidissement jusqu'aux enroulements principaux au moins.

Troisième lettre: Fluide de refroidissement externe:

- A air;
- W eau.

Quatrième lettre: Mode de circulation du fluide de refroidissement externe:

- N convection naturelle;
- F circulation forcée (ventilateurs, pompes).

NOTE - Dans un transformateur désigné comme ayant une circulation d'huile forcée et dirigée (deuxième lettre du code D), le débit d'huile à travers les enroulements principaux est déterminé par les pompes et n'est, en principe, pas déterminé par la charge. Une faible partie du flux d'huile venant du dispositif de refroidissement peut être dirigée en dérivation contrôlée pour assurer le refroidissement du circuit magnétique et des autres éléments extérieurs aux enroulements principaux. Les enroulements de réglage et/ou les autres enroulements ayant une puissance relativement faible peuvent aussi avoir une circulation non dirigée d'huile en dérivation.

Dans un transformateur avec refroidissement forcé non dirigé, au contraire (deuxième lettre du code F), le débit d'huile à travers tous les enroulements est variable avec la charge et n'est pas directement lié au débit traversant la pompe de l'équipement de refroidissement.

Un transformateur peut être spécifié avec des variantes de modes de refroidissement. La spécification et la plaque signalétique doivent alors comporter l'information sur les niveaux de puissance pour lesquels le transformateur respecte les limitations d'échauffement lorsque chaque variante de refroidissement est utilisée, voir 7.1 m) de la CEI 76-1. Le niveau de puissance dans la variante ayant la plus grande capacité de refroidissement est la puissance assignée du transformateur (ou d'un enroulement individuel d'un transformateur à enroulements multiples, voir 4.1 de la CEI 76-1). Les variantes sont par convention énumérées par ordre croissant de capacité de refroidissement.

* Méthode d'essai «coupe ouverte Cleveland» selon l'ISO 2592.

First letter: Internal cooling medium in contact with the windings:

- O mineral oil or synthetic insulating liquid with fire point* $\leq 300\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- K insulating liquid with fire point* $> 300\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- L insulating liquid with no measurable fire point.

Second letter: Circulation mechanism for internal cooling medium:

- N *natural* thermosiphon flow through cooling equipment and in windings;
- F *forced* circulation through cooling equipment, thermosiphon flow in windings;
- D forced circulation through cooling equipment, *directed* from the cooling equipment into at least the main windings.

Third letter: External cooling medium:

- A air;
- W water.

Fourth letter: Circulation mechanism for external cooling medium:

- N natural convection;
- F forced circulation (fans, pumps).

NOTE - In a transformer designated as having forced directed oil circulation (second code letter D), the rate of oil flow through the main windings is determined by the pumps and is not, in principle, determined by the loading. A minor fraction of the flow of oil through the cooling equipment may be directed as a controlled bypass to provide cooling for core and other parts outside the main windings. Regulating windings and/or other windings having relatively low power may also have non-directed circulation of bypass oil.

In a transformer with forced, non-directed cooling, on the other hand (second code letter F), the rates of flow of oil through all the windings are variable with the loading, and not directly related to the pumped flow through the cooling equipment.

A transformer may be specified with alternative cooling methods. The specification and the nameplate shall then carry information about the power figures at which the transformer fulfils the temperature-rise limitations when these alternatives apply, see 7.1 m) of IEC 76-1. The power figure for the alternative with the highest cooling capacity is the rated power of the transformer (or of an individual winding of a multi-winding transformer, see 4.1 of IEC 76-1). The alternatives are conventionally listed in rising order of cooling capacity.

* "Cleveland open-cup" test method, see ISO 2592.

Exemple:

ONAN/ONAF. Le transformateur a un jeu de ventilateurs qui peuvent être mis en service comme désiré à charge élevée. La circulation de l'huile n'est assurée que par effet de thermosiphon dans les deux cas.

ONAN/OFAF. Le transformateur a un dispositif de refroidissement avec pompes et ventilateurs mais est aussi spécifié avec une capacité de puissance réduite en refroidissement naturel (par exemple, en cas de manque de puissance auxiliaire).

4 Limites d'échauffement

4.1 Généralités

Les valeurs limites d'échauffement des transformateurs sont spécifiées selon des options différentes.

- Un jeu de spécifications s'applique qui se réfère à la puissance assignée en régime permanent. Ces spécifications sont données en 4.2.
- Lorsque cela est explicitement spécifié, un jeu de spécifications additionnel est imposé, qui se réfère à un cycle de charge prescrit. Cette procédure est décrite en 4.4. Elle s'applique essentiellement aux transformateurs de grande puissance pour lesquels les possibilités de charge en secours méritent une attention particulière, et ne devrait pas être normalement applicable pour les transformateurs normalisés de petite et moyenne puissance.

Il est admis dans cette partie de la CEI 76 que les températures de service des différentes parties du transformateur peuvent chacune être définies comme la somme d'une température du fluide de refroidissement (air ambiant ou eau de refroidissement) et d'un échauffement de cette partie du transformateur.

La température du fluide de refroidissement et l'altitude (c'est-à-dire la masse volumique de l'air de refroidissement) sont caractéristiques du site de l'installation. Lorsque les conditions normales de service sur ces aspects prédominent, voir 2-1 de la CEI 76-1, alors les valeurs normales d'échauffement du transformateur déterminent les températures admissibles en service.

Les valeurs d'échauffement sont caractéristiques du transformateur et font l'objet des garanties et des essais aux conditions spécifiées. Les limites d'échauffement normales s'appliquent, à moins que l'appel d'offre et le contrat n'indiquent «conditions spéciales de service». Dans ces cas les limites d'échauffement doivent être modifiées comme cela est indiqué en 4.3.

Aucune tolérance positive n'est admise sur les limites d'échauffement.

4.2 Limites normales d'échauffement à puissance assignée en régime permanent

Quand un transformateur a un enroulement avec des prises de réglage, ayant une plage de réglage excédant $\pm 5\%$, alors les limites d'échauffement doivent s'appliquer pour chaque prise à la puissance de prise, à la tension de prise et au courant de prise appropriée, voir 5.6 de la CEI 76-1. Les pertes dues à la charge sont différentes pour des prises différentes et parfois il en est de même pour les pertes à vide, à savoir dans une plage de réglage où un réglage à flux variable est spécifié.

Examples:

ONAN/ONAF. The transformer has a set of fans which may be put in service as desired at high loading. The oil circulation is by thermosiphon effect only – in both cases.

ONAN/OFAF. The transformer has cooling equipment with pumps and fans but is also specified with a reduced power-carrying capacity under natural cooling (for example, in case of failure of auxiliary power).

4 Temperature-rise limits

4.1 General

Temperature-rise limitations for transformers are specified according to different options.

- A set of requirements apply which refer to continuous rated power. These requirements are given in 4.2.
- When explicitly specified, an additional set of requirements is imposed which is related to a specified loading cycle. This procedure is described in 4.4. It is applicable mainly to large system transformers for which emergency loading conditions deserve particular attention, and should not be regularly used for small and medium-size standardized transformers.

It is assumed throughout this part of IEC 76 that the service temperatures of different parts of a transformer can each be described as the sum of a cooling medium temperature (ambient air or cooling water) and a temperature rise of the transformer part.

The cooling medium temperature and the altitude (with regard to cooling air density) are characteristic of the installation site. When normal service conditions in these respects prevail, see 2.1 of IEC 76-1, then normal values of temperature rise for the transformer will result in allowable service temperatures.

The values of temperature rise are characteristics of the transformer which are subject to guarantees and to tests under specified conditions. Normal temperature-rise limits apply unless the enquiry and contract indicate 'unusual service conditions'. In such cases the limits of temperature rise shall be modified as indicated in 4.3.

No plus tolerance is permitted on temperature-rise limits.

4.2 Normal temperature-rise limits at continuous rated power

When a transformer has a tapped winding with a tapping range exceeding $\pm 5\%$ then the temperature-rise limits shall apply to every tapping at the appropriate tapping power, tapping voltage and tapping current, see 5.6 of IEC 76-1. The load losses are different for different tappings and sometimes also the no-load losses, namely within tapping ranges where variable flux voltage variation is specified.

Si un essai d'échauffement est à faire sur un tel transformateur, il sera fait sur «la prise ayant le plus fort courant», sauf spécification contraire, voir 5.3 dans la CEI 76-1.

NOTE - Dans un transformateur à enroulements séparés, la prise avec le courant le plus élevé est, normalement, la prise qui a les pertes dues à la charge les plus élevées.

Dans un autotransformateur avec prises, le choix de la prise pour l'essai d'échauffement dépendra de la façon selon laquelle ces prises sont disposées.

Pour un transformateur a plus de deux enroulements, les spécifications d'échauffement s'appliquent à la puissance assignée dans chaque enroulement simultanément si la puissance assignée d'un enroulement est égale à la somme des puissances assignées des autres enroulements. Si ce n'est pas le cas, une ou plusieurs combinaisons particulières de charge devront être choisies et spécifiées pour l'essai d'échauffement, voir 5.2.3.

Dans les transformateurs avec disposition concentrique des enroulements, deux enroulements distincts ou plus peuvent être disposés les uns au-dessus des autres. Dans ce cas la température limite d'enroulement doit s'appliquer à la moyenne des mesures des enroulements superposés s'ils sont de même dimension et de même puissance. S'ils ne le sont pas, le mode d'évaluation doit faire l'objet d'un accord.

Les limites d'échauffement données ci-dessous sont valables pour les transformateurs à isolation solide définie comme «Classe A» selon la CEI 85 et immergés dans l'huile minérale ou un liquide synthétique dont le point de feu n'est pas supérieur à 300 °C (première lettre du code: O).

Les limites d'échauffement des transformateurs qui ont un système d'isolation plus résistant à la température et/ou qui sont immergés dans un liquide moins inflammable (lettre du code K ou L) doivent faire l'objet d'un accord.

Les limites d'échauffement pour les transformateurs du type sec avec divers types d'isolation sont données dans la norme CEI 726.

Les limites d'échauffement des transformateurs immergés dans l'huile suivantes (lettre du code O) se réfèrent à un régime établi à la puissance assignée en régime permanent. Elles ne sont valables que lorsque les conditions normales de service en ce qui concerne le refroidissement s'appliquent, voir 4.3.1 ci-dessous.

- Echauffement de l'huile au sommet, voir 5.3.1 60 K

Echauffement moyen des enroulements (mesuré par variation de résistance – voir 5.4)

- Pour transformateurs désignés en tant que ON . . . ou OF . . . 65 K
- Pour transformateurs désignés en tant que OD . . . 70 K

Aucune limite en valeur numérique n'est spécifiée pour l'échauffement du noyau magnétique, des connexions électriques extérieures à l'enroulement ou de pièces structurales à l'intérieur de la cuve. Cependant c'est une évidence que de telles pièces ne doivent pas atteindre des températures susceptibles d'endommager les pièces adjacentes ou de provoquer un vieillissement anormal de l'huile. Pour les transformateurs de grande puissance, cela peut être démontré par un essai spécial, voir l'annexe B.

If a temperature-rise type test is to be made on such a transformer it will, unless otherwise specified, be carried out on the 'maximum current tapping', see 5.3 of IEC 76-1.

NOTE - In a separate-winding transformer, the maximum current tapping is normally the tapping with the highest load loss.

In an auto-transformer with tapings, the choice of tapping for the temperature-rise test will be dependent on how the tapings are arranged.

For a multi-winding transformer, the temperature-rise requirements refer to rated power in all windings simultaneously if the rated power of one winding is equal to the sum of the rated powers of the other windings. If this is not the case, one or more particular loading combinations have to be selected and specified for the temperature-rise test, see 5.2.3.

In transformers with concentric winding arrangement, two or more separate windings may be situated one above the other. In this case, the winding temperature limit shall apply to the average of the readings for the stacked windings, if they are of equal size and rating. If they are not, the evaluation shall be subject to agreement.

The temperature-rise limits given below are valid for transformers with solid insulation designated as 'Class A' according to IEC 85, and immersed in mineral oil or synthetic liquid with fire point not above 300 °C (first code letter: O).

Temperature-rise limits of transformers which have a more temperature-resistant insulation system and/or are immersed in a less flammable liquid (code letter K or L) are subject to agreement.

Temperature-rise limits for dry-type transformers with different insulation systems are given in IEC 726.

The following limits for temperature rise in oil-immersed transformers (code letter O) are referred to steady state under continuous rated power. They are valid only when normal service conditions with regard to cooling apply, see 4.3.1 below.

- Top oil temperature rise, see 5.3.1 60 K

Average winding temperature rise (by resistance measurement, see 5.4)

- For transformers identified as ON . . or OF . . 65 K
- For transformers identified as OD . . 70 K

No numerical limits are specified for the temperature rise of the core, of electrical connections outside the windings or of structural parts in the tank. It is a self-evident requirement, however, that such parts shall not reach temperatures which will cause damage to adjacent parts or undue ageing of the oil. For large transformers this may be investigated by special testing, see annex B.

4.3 *Spécifications modifiées du fait de conditions de service anormales*

Si les conditions de service sur le site d'installation prévu ne tombent pas dans les limites des «conditions normales de service», alors les limites d'échauffement du transformateur doivent être modifiées en conséquence.

Les règles pour les transformateurs secs sont données en 2.2 de la CEI 726.

4.3.1 *Transformateurs immergés dans l'huile à refroidissement par air*

Les limites normales de température ambiante (-25 °C à $+40\text{ °C}$) pour transformateurs de puissance sont données en 2.1 de la CEI 76-1. En ce qui concerne le refroidissement de transformateurs à refroidissement par air, il convient que les conditions de température sur le site d'installation prévu n'excèdent jamais, ni:

- + 30 °C en moyenne mensuelle du mois le plus chaud;
- + 20 °C en moyenne annuelle.

Si les conditions de température sur le site dépassent une de ces limites, les limites spécifiées d'échauffement du transformateur doivent toutes être réduites de la même valeur que le dépassement. Les valeurs doivent être arrondies au nombre entier de degrés le plus proche.

NOTE - Les températures moyennes sont à déduire des données météorologiques comme suit (définition 3.12 de la CEI 76-1).

Température moyenne mensuelle:

demi-somme de la moyenne des maxima journaliers et des minima journaliers pour un mois particulier sur plusieurs années;

Température moyenne annuelle:

un douzième de la somme des températures moyennes mensuelles.

Si le site d'installation est situé à plus de 1 000 m au-dessus du niveau de la mer, mais que l'usine de production ne l'est pas, alors l'échauffement limite durant les essais en usine doit être réduit comme suit.

Pour un transformateur à refroidissement naturel (. . AN) la limite d'échauffement moyen des enroulements doit être réduite de 1 K pour chaque intervalle de 400 m par lesquels l'altitude de l'installation dépasse 1 000 m.

Pour un transformateur à refroidissement forcé (. . AF) la réduction doit être de 1 K tous les 250 m.

La correction inverse correspondante pourra être appliquée dans les cas où l'altitude de l'usine est supérieure à 1 000 m et l'altitude de l'installation est inférieure à 1 000 m.

Toute correction d'altitude doit être arrondie au nombre entier de degré le plus proche.

Quand les limites d'échauffement spécifiées d'un transformateur ont été réduites, soit à cause d'une température élevée du fluide de refroidissement externe, ou à cause de l'altitude élevée d'installation, ceci sera indiqué sur la plaque signalétique, voir 7.2 dans la CEI 76-1.

NOTE - Quand des transformateurs normalisés doivent être utilisés à des altitudes élevées, une valeur de puissance réduite peut être calculée, qui du point de vue du refroidissement et de l'échauffement correspond au service à la puissance assignée dans les conditions normales ambiantes.

4.3 *Modified requirements because of unusual service conditions*

If the service conditions at the intended installation site do not fall within the limits of 'normal service conditions', then the limits of temperature rise for the transformer shall be modified accordingly.

Rules for dry-type transformers are given in 2.2 of IEC 726.

4.3.1 *Oil-immersed, air-cooled transformers*

Normal ambient temperature limits ($-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ and $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$) for power transformers are given in 2.1 of IEC 76-1. With regard to cooling of air-cooled transformers the temperature conditions at the intended installation site should neither exceed:

- + $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ monthly average, of the hottest month; nor
- + $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ yearly average.

If the temperature conditions at site exceed one of these limits, the specified temperature-rise limits for the transformer shall all be reduced by the same amount as the excess. The figures shall be rounded to nearest whole numbers of degrees.

NOTE - The average temperatures are to be derived from meteorological data as follows (IEC 76-1, definition 3.12).

Monthly average temperature:

half the sum of the average of the daily maxima and the average of the daily minima during a particular month, over many years;

Yearly average temperature:

one-twelfth of the sum of the monthly average temperatures.

If the installation site is more than 1 000 m above sea-level but the factory is not, then the allowable temperature rise during the test in the factory shall be reduced as follows.

For a naturally cooled transformer (. . AN), the limit of average winding temperature rise shall be reduced by 1 K for every interval of 400 m by which the installation's altitude exceeds 1 000 m.

For a forced-cooled transformer (. . AF), the reduction shall be 1 K for every 250 m.

A corresponding reverse correction may be applied in cases where altitude of the factory is above 1 000 m and the altitude of the installation site is below 1 000 m.

Any altitude correction shall be rounded to the nearest whole number of degree.

When the specified temperature-rise limits of a transformer have been reduced, either because of high cooling medium temperature or because of high-altitude installation, this shall be indicated on the rating plate, see 7.2 of IEC 76-1.

NOTE - When standardized transformers are to be applied at high altitudes, a reduced figure of power may be calculated, which from the point of view of cooling and temperature rise corresponds to service with rated power under normal ambient conditions.