IEC 60076-2

Edition 3.0 2011-02

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

colour inside

Power transformers –
Part 2: Temperature rise for liquid-immersed transformers

Transformateurs de puissance –
Partie 2: Echauffement des transformateurs immergés dans le liquide

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX

X

ICS 29.180

ISBN 978-2-88912-346-9

® Registered trademark of the International Electrotechnical Commission
Marque déposée de la Commission Electrotechnique Internationale

CONTENTS

FOREWORD 4
1 Scope 6
2 Normative references 6
3 Terms and definitions 6
4 Cooling methods 8
4.1 Identification symbols 8
4.2 Transformers with alternative cooling methods 9
5 Normal cooling conditions 9
5.1 Air-cooled transformers 9
5.2 Water-cooled transformers 10
6 Temperature rise limits 10
6.1 General 10
6.2 Temperature rise limits at rated power 10
6.3 Modified requirements for special cooling conditions 12
6.3.1 General 12
6.3.2 Air-cooled transformers 12
6.3.3 Water-cooled transformers 13
6.4 Temperature rise during a specified load cycle 13
7 Temperature rise tests 13
7.1 General 13
7.2 Temperature of the cooling media 13
7.2.1 Ambient temperature 13
7.2.2 Water temperature 14
7.3 Test methods for temperature rise determination 14
7.3.1 General 14
7.3.2 Test by short-circuit method for two winding transformers 14
7.3.3 Test modification for particular transformers 15
7.4 Determination of liquid temperatures 16
7.4.1 Top-liquid temperature 16
7.4.2 Bottom and average liquid temperatures 17
7.5 Determination of top, average and bottom liquid temperature rises 18
7.6 Determination of average winding temperature 18
7.7 Determination of winding resistance at the instant of shutdown 19
7.8 Determination of average winding temperature rise at the instant of shutdown 19
7.9 Determination of the average winding to liquid temperature gradient 19
7.10 Determination of the hot-spot winding temperature rise 20
7.10.1 General 20
7.10.2 Determination by calculation 20
7.10.3 Direct measurement during the temperature rise test 20
7.11 Uncertainties affecting the results of the temperature rise test 21
7.12 Dissolved gas-in-oil analysis 21
7.13 Corrections 21
Annex A (informative) Hot-spot winding temperature rise determination for OFAF and OFWF cooled transformers based on the top-liquid temperature in tank 23
Annex B (informative) Methods to estimate the hot-spot winding temperature rises 25

Annex C (informative) Techniques used in temperature rise testing of liquid-immersed transformers 30
Annex D (informative) Dissolved gases analysis for the detection of local overheating 39
Annex E (informative) Application of optical fibre sensors for winding hot-spot measurements 43
Bibliography 47

Figure B.1 – Temperature rise distribution model for ON cooling methods 26
Figure B.2 – Value of factor Q as a function of rated power and strand height (W) 27
Figure B.3 – Typical liquid flow paths in a disk winding with diverting washers 28
Figure C.1 – Recommended circuit for transformers with a low resistance winding using two separate direct current sources, one for each winding 32
Figure C.2 – Alternative recommended circuit using only one direct current source for both windings 32
Figure C.3 – Average winding temperature variation after shutdown 33
Figure C.4 – Extrapolation of the cooling down curve, using the fitting curve $\theta_{\mathrm{w}}(t) = A_0 - kt + Be^{-t/T_{\mathrm{w}}}$ 38
Figure E.1 – Optical fibre sensor application for a disk winding of core type transformer 45
Figure E.2 – Optical fibre sensor application for a transposed cable of core type transformer 45
Figure E.3 – Modality of optical fibre sensor application in the winding spacer of core type transformer 46
Figure E.4 – Optical fibre sensor application for high voltage winding of shell type transformer 46

Table 1 – Temperature rise limits 11
Table 2 – Recommended values of temperature rise corrections in case of special service conditions 12
Table 3 – Exponents for the corrections of temperature rise test results 22
Table A.1 – Hot-spot winding temperature rises for some specific transformers determined from conventional heat run test data combined with calculated hot-spot winding temperature rise, and from direct fibre-optic measurements 24
Table C.1 – Example of cooling down curve calculation spreadsheet 37
Table D.1 – Minimum detectable value S_{D} of gases in oil 40
Table D.2 – Admissible limits for gas rate increases 41
Table E.1 – Minimum recommended number of sensors for three-phase transformers 43
Table E.2 – Minimum recommended number of sensors for single-phase transformers 43

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

POWER TRANSFORMERS –

Part 2: Temperature rise for liquid-immersed transformers

FOREWORD

1) The International Electrotechnical Commission (IEC) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, IEC publishes International Standards, Technical Specifications, Technical Reports, Publicly Available Specifications (PAS) and Guides (hereafter referred to as "IEC Publication(s)"). 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. 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 IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested IEC National Committees.
3) IEC Publications have the form of recommendations for international use and are accepted by IEC National Committees in that sense. While all reasonable efforts are made to ensure that the technical content of IEC Publications is accurate, IEC cannot be held responsible for the way in which they are used or for any misinterpretation by any end user.
4) In order to promote international uniformity, IEC National Committees undertake to apply IEC Publications transparently to the maximum extent possible in their national and regional publications. Any divergence between any IEC Publication and the corresponding national or regional publication shall be clearly indicated in the latter.
5) IEC itself does not provide any attestation of conformity. Independent certification bodies provide conformity assessment services and, in some areas, access to IEC marks of conformity. IEC is not responsible for any services carried out by independent certification bodies.
6) All users should ensure that they have the latest edition of this publication.
7) No liability shall attach to IEC or its directors, employees, servants or agents including individual experts and members of its technical committees and IEC National Committees for any personal injury, property damage or other damage of any nature whatsoever, whether direct or indirect, or for costs (including legal fees) and expenses arising out of the publication, use of, or reliance upon, this IEC Publication or any other IEC Publications.
8) Attention is drawn to the Normative references cited in this publication. Use of the referenced publications is indispensable for the correct application of this publication.
9) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this IEC Publication may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 60076-2 has been prepared by IEC technical committee 14: Power transformers.

This third edition cancels and replaces the second edition published in 1993. It is a technical revision.

This edition includes the following significant technical changes with respect to the previous edition:

a) the standard is applicable only to liquid immersed transformers;
b) the winding hot-spot temperature rise limit was introduced among the prescriptions;
c) the modalities for the temperature rise test were improved in relation to the new thermal requirements;
d) five informative annexes were added in order to facilitate the standard application.

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

FDIS	Report on voting
14/669/FDIS	14/676/RVD

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

This publication has been drafted in accordance with the ISO/IEC Directives, Part 2.

A list of all parts of the IEC 60076 series can be found, under the general title *Power transformers*, on the IEC website.

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until the stability date indicated on the IEC web site under "http://webstore.iec.ch" in the data related to the specific publication. At this date, the publication will be

- reconfirmed,
- withdrawn,
- replaced by a revised edition, or
- amended.

IMPORTANT – The 'colour inside' logo on the cover page of this publication indicates that it contains colours which are considered to be useful for the correct understanding of its contents. Users should therefore print this document using a colour printer.

POWER TRANSFORMERS –

Part 2: Temperature rise for liquid-immersed transformers

1 Scope

This part of IEC 60076 applies to liquid-immersed transformers, identifies power transformers according to their cooling methods, defines temperature rise limits and gives the methods for temperature rise tests.

2 Normative references

The following referenced documents are indispensable for the application of this document. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

IEC 60076-1, *Power transformers – Part 1: General*

IEC 60076-8:1997, *Power transformers – Part 8: Application guide*

IEC 60085:2007, *Electrical insulation – Thermal evaluation and designation*

IEC 61181:2007, *Mineral oil-filled electrical equipment – Application of dissolved gas analysis (DGA) to factory tests on electrical equipment*

IEC Guide 115:2007, *Application of uncertainty of measurement to conformity assessment activities in the electrotechnical sector*

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS 51
1 Domaine d'application 53
2 Références normatives 53
3 Termes et définitions 53
4 Méthodes de refroidissement 55
4.1 Symboles de désignation 55
4.2 Transformateurs à modes de refroidissement multiples 56
5 Conditions de refroidissement normales 57
5.1 Transformateurs à refroidissement par air 57
5.2 Transformateurs à refroidissement par eau 57
6 Limites d'échauffement 57
6.1 Généralités 57
6.2 Limites d'échauffement à puissance assignée 58
6.3 Exigences modifiées du fait de conditions de refroidissement spéciales 59
6.3.1 Généralités 59
6.3.2 Transformateurs à refroidissement par air 59
6.3.3 Transformateurs à refroidissement par eau 60
6.4 Echauffement durant un cycle de charge spécifié 61
7 Essais d'échauffement 61
7.1 Généralités 61
7.2 Température du milieu de refroidissement 61
7.2.1 Température ambiante 61
7.2.2 Température de l'eau 62
7.3 Méthodes d'essais pour la détermination des échauffements 62
7.3.1 Généralités 62
7.3.2 Essai par méthode de court-circuit pour des transformateurs à deux enroulements 62
7.3.3 Variantes d'essais pour transformateurs spéciaux 63
7.4 Détermination des températures du liquide 65
7.4.1 Température du liquide au sommet 65
7.4.2 Température du liquide inférieur et du liquide moyen 65
7.5 Détermination des échauffements du liquide au sommet, du liquide moyen et du liquide inférieur 66
7.6 Détermination de la température moyenne des enroulements 66
7.7 Détermination de la résistance de l'enroulement à l'instant de la coupure 67
7.8 Détermination de l'échauffement moyen de l'enroulement à l'instant de la coupure 67
7.9 Détermination du gradient entre la température moyenne des enroulements et la température moyenne du liquide 68
7.10 Détermination de l'échauffement du point chaud des enroulements 68
7.10.1 Généralités 68
7.10.2 Détermination par calcul 68
7.10.3 Mesure directe au cours de l'essai d'échauffement 69
7.11 Incertitudes affectant les résultats de l'essai d'échauffement 69
7.12 Analyse des gaz dissous dans l'huile 69
7.13 Corrections 70

Annexe A (informative) Détermination de l'échauffement du point chaud des enroulements pour les transformateurs OFAF et OFWF sur la base de la température du liquide en sommet de cuve 71

Annexe B (informative) Méthodes d'estimation des échauffements des points chauds des enroulements 73

Annexe C (informative) Techniques utilisées dans l'essai d'échauffement des transformateurs immergés dans du liquide 78

Annexe D (informative) Analyse des gaz dissous pour la détection d'un point chaud localisé 87

Annexe E (informative) Application de capteurs à fibre optique pour la mesure du point chaud d'enroulements 91

Bibliographie 95

Figure B.1 – Modèle de distribution d'échauffement pour les méthodes de refroidissement ON 74

Figure B.2 – Valeur du facteur Q en fonction de la puissance assignée et de la hauteur des brins (W) 75

Figure B.3 – Circulation typique du liquide dans un enroulement en galettes muni de chicanes 76

Figure C.1 – Circuit recommandé pour les transformateurs munis d'un enroulement de faible résistance utilisant deux sources de courant continu distinctes, une pour chaque enroulement 80

Figure C.2 – Autre circuit recommandé utilisant une seule source de courant continu pour les deux enroulements 80

Figure C.3 – Variation de la température moyenne de l'enroulement après la coupure 81

Figure C.4 – Extrapolation de la courbe de refroidissement, en utilisant la courbe d'ajustement $\theta_w(t) = A_0 - kt + Be^{-t/T_w}$ 86

Figure E.1 – Application d'un capteur à fibre optique pour un enroulement en galettes de transformateur en colonne 93

Figure E.2 – Application d'un capteur à fibre optique pour un câble transposé de transformateur en colonne 93

Figure E.3 – Modalité d'application d'un capteur à fibre optique dans une cale d'enroulement d'un transformateur en colonne 94

Figure E.4 – Application d'un capteur à fibre optique pour un enroulement à haute tension de transformateur cuirassé 94

Tableau 1 – Limites d'échauffement 58

Tableau 2 – Valeurs recommandées pour les corrections d'échauffement en cas de conditions de service spéciales 60

Tableau 3 – Exposants destinés aux corrections des résultats des essais d'échauffement 70

Tableau A.1 – Echauffement des points chauds des enroulements de certains transformateurs déterminés à partir d'essais thermiques conventionnels présentés avec les valeurs calculées d'échauffement de point chaud des enroulements, et mesurées directement par fibre optique 72

Tableau C.1 – Exemple de feuille de calcul de courbe de refroidissement 85

Tableau D.1 – Valeurs minimales détectable S_D des gaz dans l'huile 88

Tableau D.2 – Limites admissibles de production de gaz 89

Tableau E.1 – Nombre minimum recommandé de capteurs pour les transformateurs triphasés 91
Tableau E.2 – Nombre minimum recommandé de capteurs pour les transformateurs monophasés 92

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

TRANSFORMATEURS DE PUISSANCE –

Partie 2: Echauffement des transformateurs immergés dans le liquide

AVANT-PROPOS

1) La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) 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, des Spécifications techniques, des Rapports techniques, des Spécifications accessibles au public (PAS) et des Guides (ci-après dénommés "Publication(s) de la CEI"). 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 concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de la CEI intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
3) Les Publications de la CEI se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de la CEI. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que la CEI s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; la CEI ne peut pas être tenue responsable de l'éventuelle mauvaise utilisation ou interprétation qui en est faite par un quelconque utilisateur final.
4) Dans le but d'encourager l'uniformité internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de la CEI dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de la CEI et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
5) La CEI elle-même ne fournit aucune attestation de conformité. Des organismes de certification indépendants fournissent des services d'évaluation de conformité et, dans certains secteurs, accèdent aux marques de conformité de la CEI. La CEI n'est responsable d'aucun des services effectués par les organismes de certification indépendants.
6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.
7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à la CEI, à ses administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris ses experts particuliers et les membres de ses comités d'études et des Comités nationaux de la CEI, pour tout préjudice causé en cas de dommages corporels et matériels, ou de tout autre dommage de quelque nature que ce soit, directe ou indirecte, ou pour supporter les coûts (y compris les frais de justice) et les dépenses découlant de la publication ou de l'utilisation de cette Publication de la CEI ou de toute autre Publication de la CEI, ou au crédit qui lui est accordé.
8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.
9) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Publication de la CEI peuvent faire l'objet de droits de brevet. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de brevets et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme Internationale CEI 60076-2 a été établie par le comité d'études 14 de la CEI: Transformateurs de puissance.

Cette troisième édition annule et remplace la deuxième édition parue en 1993. Elle constitue une révision technique.

Cette édition inclut les modifications techniques majeures suivantes par rapport à l'édition précédente :

a) cette norme n'est applicable qu'aux transformateurs immergés;
b) parmi les prescriptions, une limite d'échauffement du point chaud des enroulements a été ajoutée;
c) les modalités de réalisation des essais d'échauffement ont été améliorées de façon à tenir compte des nouvelles exigences de performances thermiques;

d) cinq nouvelles annexes informatives ont été introduites pour faciliter l'application de cette norme.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
14/669/FDIS	14/676/RVD

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

Cette publication a été rédigée selon les Directives ISO/CEI, Partie 2.

Une liste de toutes les parties de la série CEI 60076, présentées sous le titre général *Transformateurs de puissance,* peut être consultée sur le site web de la CEI.

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site web de la CEI sous "http://webstore.iec.ch" dans les données relatives à la publication recherchée. A cette date, la publication sera

- reconduite,
- supprimée,
- remplacée par une édition révisée, ou
- amendée.

IMPORTANT – Le logo "colour inside" qui se trouve sur la page de couverture de cette publication indique qu'elle contient des couleurs qui sont considérées comme utiles à une bonne compréhension de son contenu. Les utilisateurs devraient, par conséquent, imprimer cette publication en utilisant une imprimante couleur.

TRANSFORMATEURS DE PUISSANCE –

Partie 2: Echauffement des transformateurs immergés dans le liquide

1 Domaine d'application

La présente partie de la CEI 60076 s'applique aux transformateurs immergés dans un liquide, identifie les transformateurs de puissance selon leurs méthodes de refroidissement, définit les limites d'échauffement et présente les méthodes d'essais d'échauffement.

2 Références normatives

Les documents de référence suivants sont indispensables pour l'application du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

CEI 60076-1, *Transformateurs de puissance – Partie 1: Généralités*

CEI 60076-8:1997, *Transformateurs de puissance – Partie 8: Guide d'application*

CEI 60085:2007, *Isolation électrique – Evaluation et désignation thermiques*

CEI 61181:2007, *Matériels électriques imprégnés d'huile minérale – Application de l'analyse des gaz dissous (AGD) lors d'essais en usine de matériels électriques*

Guide CEI 115:2007, *Application de l'incertitude de mesure aux activités d'évaluation de la conformité dans le secteur électrotechnique*