IEC 60076-12

Edition 1.0 2008-11

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

Power transformers –
Part 12: Loading guide for dry-type power transformers

Transformateurs de puissance –
Partie 12: Guide de charge pour transformateurs de puissance de type sec

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX

V

ICS 29.180

ISBN 978-2-88910-041-5

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

CONTENTS

FOREWORD 4
INTRODUCTION 6
1 Scope 7
2 Normative references 7
3 Terms and definitions 7
4 Effect of loading beyond nameplate rating 8
4.1 General 8
4.2 General consequences 8
4.3 Effects and hazards of short-time emergency loading 8
4.4 Effects of long-time emergency loading 9
5 Ageing and transformer insulation lifetime 9
5.1 General 9
5.2 Lifetime 9
5.3 Relation between constant continuous load and temperature 10
5.4 Ageing rate 11
5.5 Lifetime consumption 11
5.6 Hot-spot temperature in steady state 11
5.7 Assumed hot-spot factor 12
5.8 Hot-spot temperature rises at varying ambient temperature and load conditions 12
5.9 Loading equations 12
5.9.1 Continuous loading 12
5.9.2 Transient loading 13
5.10 Determination of winding time constant 14
5.10.1 General 14
5.10.2 Time constant calculation method 14
5.10.3 Time constant test method 15
5.11 Determination of winding time constant according to empirical constant 15
5.12 Calculation of loading capability 15
6 Limitations 17
6.1 Current and temperature limitations 17
6.2 Other limitations 17
6.2.1 Magnetic leakage field in structural metallic parts 17
6.2.2 Accessories and other considerations 17
6.2.3 Transformers in an enclosure 18
6.2.4 Outdoor ambient conditions 18
Annex A (informative) Ageing rate 19
Annex B (informative) Examples of lifetime consumptions for 3 load regimes 24
Annex C (informative) List of symbols 33
Bibliography 35

Figure A.1 – Molecule structure of an epoxy 19
Figure A.2 – Thermal endurance graph 22
Figure B.1 – Step change loading curve 25
Figure B.2 – Hot-spot temperature rise and life consumption 27

Figure B.3 – Load current and winding hot-spot temperature rise 30
Figure B.4 – Ageing rate versus time 30

Table 1 – Constants for lifetime equation 10
Table 2 – Maximum hot-spot winding temperature 16
Table 3 – Current and temperature limits applicable to loading beyond nameplate rating 17
Table B.1 – Lifetime consumption calculations 26
Table B.2 – Life consumption calculations for varying load 29
Table B.3 – Life consumption calculation 31

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

POWER TRANSFORMERS –

Part 12: Loading guide for dry-type power 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 provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with an IEC Publication.
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 60076-12 has been prepared by IEC technical committee 14: Power transformers.

This standards cancels and replaces IEC 60905 (1987). This first edition constitutes a technical revision.

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

FDIS	Report on voting
14/584/FDIS	14/590/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 IEC 60076 series, under the general title *Power transformers,* can be found on the IEC website.

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until the maintenance result 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.

INTRODUCTION

This part of IEC 60076 provides guidance for the specification and loading of dry type power transformers from the point of view of operating temperatures and thermal ageing. It provides the consequence of loading above the nameplate rating and guidance for the planner to choose appropriate rated quantities and loading conditions for new installations.

IEC 60076-11 is the basis for contractual agreements and it contains the requirements and tests relating to temperature-rise figures for dry type power transformers during continuous rated loading. It should be noted that IEC 60076-11 refers to the average winding temperature rise while this part of IEC 60076 refers mainly to the hot-spot temperature and the latter stated values are provided only for guidance.

This part of IEC 60076 gives mathematical models for judging the consequence of different loading, with different temperatures of the cooling medium, and with transient or cyclical variation with time. The models provide for the calculation of operating temperatures in the transformer, particularly the temperature of the hottest part of the winding. This hot-spot temperature is used for estimation of the number of hours of life time consumed during a particular time period.

This part of IEC 60076 further presents recommendations for limitations of permissible loading according to the results of temperature calculations or measurements. These recommendations refer to different types of loading duty – continuous loading, short-time and long time emergency loading. An explanation of ageing fundamentals is given in Annex A.

POWER TRANSFORMERS –

Part 12: Loading guide for dry-type power transformers

1 Scope

This part of IEC 60076 is applicable to dry-type transformers according to the scope of IEC 60076-11. It provides the means to estimate ageing rate and consumption of lifetime of the transformer insulation as a function of the operating temperature, time and the loading of the transformer.

NOTE For special applications such as wind turbine application transformers, furnace transformers, welding machine transformers, and others, the manufacturer should be consulted regarding the particular loading profile.

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 60076-11, *Power transformers – Part 11: Dry-type transformers*

IEC 60216-1, *Electrical insulating materials – Properties of thermal endurance – Part 1: Ageing procedures and evaluation of test results*

IEC 61378-1:1997, *Convertor transformers – Part 1: Transformers for industrial applications*

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS 38
INTRODUCTION 40
1 Domaine d'application 41
2 Références normatives 41
3 Termes et définitions 41
4 Effet d'un régime de charge au-delà de la puissance assignée de la plaque signalétique 42
4.1 Généralités 42
4.2 Conséquences générales 42
4.3 Effets et dangers d'un régime de charge de secours de courte durée 42
4.4 Effets d'un régime de charge de secours de longue durée 43
5 Vieillissement et durée de vie de l'isolation du transformateur 43
5.1 Généralités 43
5.2 Durée de vie 44
5.3 Relation entre la charge continue constante et la température 45
5.4 Vitesse de vieillissement 45
5.5 Consommation de la durée de vie 46
5.6 Température du point chaud en régime permanent 46
5.7 Facteur de point chaud supposé 46
5.8 Echauffements de point chaud pour des conditions variables de température ambiante et de régime de charge 46
5.9 Equations de charge 47
5.9.1 Charge continue 47
5.9.2 Charge transitoire 48
5.10 Détermination de la constante de temps de l'enroulement 49
5.10.1 Généralités 49
5.10.2 Méthode de calcul de la constante de temps 49
5.10.3 Méthode d'essai de la constante de temps 50
5.11 Détermination de la constante de temps de l'enroulement conformément à la constante empirique 50
5.12 Calcul de la capacité de charge 50
6 Limites 52
6.1 Limites de courant et de température 52
6.2 Autres limites 52
6.2.1 Champ magnétique de fuite dans les parties métalliques de construction 52
6.2.2 Accessoires et autres considérations 52
6.2.3 Transformateurs sous enveloppe 53
6.2.4 Conditions ambiantes extérieures 53
Annexe A (informative) Vitesse de vieillissement 54
Annexe B (informative) Exemples de consommation de durée de vie pour 3 régimes de charge 59
Annexe C (informative) Liste de symboles 68
Bibliographie 70

Figure A.1 – Structure moléculaire d'une résine époxy 54

Figure A.2 – Graphique d'endurance thermique 57
Figure B.1 – Courbe de charge variable par pas 60
Figure B.2 – Echauffement du point chaud et consommation de durée de vie 62
Figure B.3 – Courant de charge et échauffement du point chaud de l'enroulement..... 65
Figure B.4 – Taux de vieillissement en fonction du temps 65

Tableau 1 – Constantes pour équation de durée de vie..... 44
Tableau 2 – Température maximale du point chaud de l'enroulement 51
Tableau 3 – Limites de courant et de température applicables aux charges au-delà des caractéristiques de la plaque signalétique 52
Tableau B.1 – Calculs de consommation de durée de vie 61
Tableau B.2 – Calculs de consommation de vie pour une charge variable..... 64
Tableau B.3 – Calcul de consommation de vie..... 66

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

_____

TRANSFORMATEURS DE PUISSANCE –

Partie 12: Guide de charge pour transformateurs de puissance de type sec

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 n'a prévu aucune procédure de marquage valant indication d'approbation et n'engage pas sa responsabilité pour les équipements déclarés conformes à une de ses Publications.
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 propriété intellectuelle ou de droits analogues. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale CEI 60076-12 a été établie par le comité d'études 14 de la CEI: Transformateurs de puissance.

La présente norme annule et remplace la CEI 60905 (1987). Cette première édition constitue une révision technique.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
14/584/FDIS	14/590/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 maintenance 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.

INTRODUCTION

La présente partie de la CEI 60076 donne des lignes directrices pour la spécification et la charge des transformateurs de puissance de type sec, du point de vue des températures de fonctionnement et du vieillissement thermique. Elle indique les conséquences d'un fonctionnement à des régimes de charge supérieurs à la valeur assignée et fournit un guide pour le planificateur afin de choisir les grandeurs assignées et les conditions de charge appropriées pour de nouvelles installations.

La CEI 60076-11 constitue la base pour des ententes contractuelles et elle contient les exigences et les essais concernant les valeurs d'échauffement des transformateurs de puissance de type sec au cours d'une charge assignée continue. Il convient de noter que la CEI 60076-11 fait référence à l'échauffement moyen des enroulements, tandis que la présente partie de la CEI 60076 se réfère principalement à la température de point chaud, et les dernières valeurs indiquées sont données seulement à titre indicatif.

La présente partie de la CEI 60076 donne des modèles mathématiques pour juger la conséquence de différents régimes de charge, transitoires ou cycliques, pour différentes températures du fluide de refroidissement, et pour des variations transitoires ou cycliques au cours du temps. Les modèles donnent le calcul des températures de fonctionnement dans le transformateur, en particulier la température de la partie la plus chaude de l'enroulement. Cette température de point chaud est utilisée pour l'estimation du nombre d'heures de la durée de vie consommée au cours d'une période de temps particulière.

La présente partie de la CEI 60076 présente des recommandations supplémentaires concernant les limites de charge admissible selon les résultats des calculs ou des mesures de la température. Ces recommandations se réfèrent à différents types de régimes de charge – régime de charge continu, régime de charge de secours de courte durée et de longue durée. Une explication des principes essentiels du vieillissement est donnée en Annexe A.

TRANSFORMATEURS DE PUISSANCE –

Partie 12: Guide de charge pour transformateurs de puissance de type sec

1 Domaine d'application

La présente partie de la CEI 60076 s'applique aux transformateurs de type sec, conformément au domaine d'application de la CEI 60076-11. Elle fournit les moyens pour estimer la vitesse de vieillissement et la consommation de la durée de vie de l'isolation du transformateur en fonction de la température de fonctionnement, de la durée et de la charge du transformateur.

NOTE Pour les applications particulières telles que les transformateurs pour application dans les éoliennes, les transformateurs de fours, les transformateurs des machines à souder, et d'autres transformateurs, il convient de consulter le constructeur concernant le profil de charge particulier.

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 60076-11, *Transformateurs de puissance – Partie 11: Transformateurs de type sec*

CEI 60216-1, *Matériaux isolants électriques – Propriétés d'endurance thermique – Partie 1: Méthodes de vieillissement et évaluation des résultats d'essai*

CEI 61378-1:1997, *Transformateurs de conversion – Partie 1: Transformateurs pour applications industrielles*