



IEC 60076-7

Edition 1.0 2005-12

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

**Power transformers –
Part 7: Loading guide for oil-immersed power transformers**

**Transformateurs de puissance –
Partie 7: Guide de charge pour transformateurs immergés dans l'huile**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX

XA

CONTENTS

FOREWORD.....	4
INTRODUCTION.....	6
1 Scope.....	7
2 Normative references	7
3 Definitions	7
4 Symbols and abbreviations.....	9
5 Effect of loading beyond nameplate rating	11
5.1 Introduction	11
5.2 General consequences.....	12
5.3 Effects and hazards of short-time emergency loading	12
5.4 Effects of long-time emergency loading	13
5.5 Transformer size	14
5.6 Non-thermally and thermally upgraded insulation paper	14
6 Relative ageing rate and transformer insulation life	16
6.1 General.....	16
6.2 Relative ageing rate	16
6.3 Loss-of-life calculation.....	17
6.4 Insulation life.....	17
7 Limitations.....	17
7.1 Current and temperature limitations.....	17
7.2 Specific limitations for distribution transformers.....	18
7.3 Specific limitations for medium-power transformers	19
7.4 Specific limitations for large power transformers.....	20
8 Determination of temperatures	21
8.1 Hot-spot temperature rise in steady state	21
8.2 Top-oil and hot-spot temperatures at varying ambient temperature and load conditions.....	27
8.3 Ambient temperature	32
9 Influence of tap changers	33
9.1 General	33
9.2 Short-circuit losses.....	34
9.3 Ratio of losses	34
9.4 Load factor	34
Annex A (informative) Calculation of winding and oil time constant	35
Annex B (informative) Practical example of the exponential equations method.....	37
Annex C (informative) Illustration of the differential equations solution method	42
Annex D (informative) Flowchart, based on the example in annex B	51
Annex E (informative) Example of calculating and presenting overload data	53
Bibliography.....	57

Figure 1 – Sealed tube accelerated ageing in mineral oil at 150 °C	15
Figure 2 – Thermal diagram	22
Figure 3 – Local temperature rises above air temperature in a 120 kV winding at a load factor of 1,6	23
Figure 4 – Local temperature rises above air temperature in a 410 kV winding at a load factor of 1,6	24
Figure 5 – Two fibre optic sensors installed in a spacer before the spacer was installed in the 120 kV winding	24
Figure 6 – Zigzag-cooled winding where the distance between all sections is the same and the flow-directing washer is installed in the space between sections	26
Figure 7 – Top view section of a rectangular winding with "collapsed cooling duct arrangement" under the yokes	26
Figure 8 – Temperature responses to step changes in the load current	28
Figure 9 – The function $f_2(t)$ generated by the values given in Table 5	30
Figure 10 – Block diagram representation of the differential equations	31
Figure 11 – Principle of losses as a function of the tap position	34
Figure B.1 – Hot-spot temperature response to step changes in the load current	40
Figure B.2 – Top-oil temperature response to step changes in the load current	40
Figure C.1 – Plotted input data for the example	47
Figure C.2 – Plotted output data for the example	50
Figure E.1 – OF large power transformers: permissible duties for normal loss of life	56
Table 1 – Life of paper under various conditions	15
Table 2 – Relative ageing rates due to hot-spot temperature	16
Table 3 – Normal insulation life of a well-dried, oxygen-free thermally upgraded insulation system at the reference temperature of 110 °C	17
Table 4 – Current and temperature limits applicable to loading beyond nameplate rating	18
Table 5 – Recommended thermal characteristics for exponential equations	30
Table 6 – Correction for increase in ambient temperature due to enclosure	33
Table B.1 – Load steps of the 250 MVA transformer	37
Table B.2 – Temperatures at the end of each load step	41
Table C.1 – Input data for example	46
Table C.2 – Output data for the example	49
Table E.1 – Example characteristics related to the loadability of transformers	53
Table E.2 – An example table with the permissible duties and corresponding daily loss of life (in "normal" days), and maximum hot-spot temperature rise during the load cycle	55

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

POWER TRANSFORMERS –

Part 7: Loading guide for oil-immersed 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 60076-7 has been prepared by IEC technical committee 14: Power transformers.

This standard cancels and replaces IEC 60354 published in 1991. This first edition constitutes a technical revision of the material given in IEC 60354. Details of the changes are given in the introduction.

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

FDIS	Report on voting
14/512/FDIS	14/520/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.

IEC 60076 consists of the following parts, under the general title *Power transformers*:

- Part 1: General
- Part 2: Temperature rise
- Part 3: Insulation levels, dielectric tests and external clearances in air
- Part 4: Guide to the lightning impulse and switching impulse testing – Power transformers and reactors
- Part 5: Ability to withstand short circuit
- Part 7: Loading guide for oil-immersed power transformers
- Part 8: Application guide
- Part 10: Determination of sound levels
- Part 11: Dry-type transformers

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 power transformers from the point of view of operating temperatures and thermal ageing. It provides recommendations for loading above the nameplate rating and guidance for the planner to choose appropriate rated quantities and loading conditions for new installations.

IEC 60076-2 is the basis for contractual agreements and it contains the requirements and tests relating to temperature-rise figures for oil-immersed transformers during continuous rated loading. It should be noted that IEC 60076-2 refers to the average winding temperature rise while this part of IEC 60076 refers mainly to the hot-spot temperature and the stated values are provided only for guidance.

This part of IEC 60076 gives mathematical models for judging the consequence of different loadings, 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, in turn, used for evaluation of a relative value for the rate of thermal ageing and the percentage of life consumed in a particular time period. The modelling refers to small transformers, here called distribution transformers and to power transformers.

A major change from IEC 60354:1991 is the increased use of fibre optic temperature sensors in transformers. This has radically increased the possibilities of obtaining a proper thermal modelling of power transformers, especially at step changes in the load current. These possibilities have also yielded some differences between the "oil exponent x " and the "winding exponent y " used in this part of IEC 60076 and in IEC 60076-2:1993, for power transformers:

- $x = 0,9$ in IEC 60076-2, and $x = 0,8$ in this part of IEC 60076 at ON cooling.
- $y = 1,6$ in IEC 60076-2, and $y = 1,3$ in this part of IEC 60076 at ON and OF-cooling.

For distribution transformers, the same x and y values are used in this part of IEC 60076 as in IEC 60076-2.

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, normal cyclic undisturbed loading or temporary emergency loading. The recommendations refer to distribution transformers, to medium power transformers and to large power transformers.

Clauses 1 to 7 contain definitions, common background information and specific limitations for the operation of different categories of transformers.

Clause 8 contains the determination of temperatures, presents the mathematical models used to estimate the hot-spot temperature in steady state and transient conditions.

Clause 9 contains a short description of the influence of the tap position.

Application examples are given in Annexes B, C and E.

POWER TRANSFORMERS –

Part 7: Loading guide for oil-immersed power transformers

1 Scope

This part of IEC 60076 is applicable to oil-immersed transformers. It describes the effect of operation under various ambient temperatures and load conditions on transformer life.

NOTE For furnace transformers, the manufacturer should be consulted in view of the peculiar 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 60076-2:1993, *Power transformers – Part 2: Temperature rise*

IEC 60076-4:2002, *Power transformers – Part 4: Guide to the lightning impulse and switching impulse testing – Power transformers and reactors*

IEC 60076-5:2000, *Power transformers – Part 5: Ability to withstand short circuit*

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	60
INTRODUCTION.....	62
1 Domaine d'application	63
2 Références normatives.....	63
3 Définitions	63
4 Symboles et abréviations.....	65
5 Effet d'un régime de charge au-delà des caractéristiques de la plaque signalétique	67
5.1 Introduction	67
5.2 Conséquences générales	68
5.3 Effets et risques d'un régime de charge de secours de courte durée	68
5.4 Effets du chargement d'urgence de longue durée	69
5.5 Taille du transformateur	70
5.6 Papier d'isolation à performances thermiques améliorées ou non	70
6 Vitesse de vieillissement relatif et durée de vie de l'isolation du transformateur	72
6.1 Généralités.....	72
6.2 Vitesse de vieillissement relatif	72
6.3 Calcul de perte de la vie.....	73
6.4 Durée de vie de l'isolation	73
7 Limites	73
7.1 Limitations de courant et de température.....	73
7.2 Limitations spécifiques pour les transformateurs de distribution	74
7.3 Limitations spécifiques pour les transformateurs de moyenne puissance.....	75
7.4 Limitations spécifiques pour les transformateurs de grande puissance	76
8 Détermination des températures.....	77
8.1 Echauffement du point-chaud en régime permanent	77
8.2 Températures de l'huile à la partie supérieure et température du point-chaud pour des conditions variables de température ambiante et de régime de charge....	83
8.3 Température ambiante	88
9 Influence des changeurs de prises	89
9.1 Généralités.....	89
9.2 Pertes en charge.....	90
9.3 Rapport des pertes.....	90
9.4 Facteur de charge	90
Annexe A (informative) Calcul de la constante de temps de l'huile et de l'enroulement	91
Annexe B (informative) Exemple pratique de la méthode d'équations exponentielle	93
Annexe C (informative) Illustration de la méthode de solution des équations différentielles	98
Annexe D (informative) Organigramme, fondé sur l'exemple de l'annexe B	107
Annexe E (informative) Exemple de calcul et de présentation des données de surcharge ..	109
Bibliographie.....	113

Figure 1 – Vieillessement accéléré en tube scellé dans de l'huile minérale à 150°C.....	71
Figure 2 – Diagramme thermique	78
Figure 3 – Echauffement local au-dessus de la température de l'air dans un enroulement de 120 kV avec un facteur de charge de 1,6	79
Figure 4 – Echauffement local au-dessus de la température de l'air dans un enroulement de 410 kV avec un facteur de charge de 1,6	80
Figure 5 – Deux sondes à fibres optiques installées dans une cale avant que la cale ait été installée dans l'enroulement de 120 kV	80
Figure 6 – Enroulement refroidi par une circulation en zigzag où la distance entre toutes les sections est la même et l'écran de circulation du fluide est installé dans l'espace entre sections	82
Figure 7 – Vue de dessus de la section d'un enroulement rectangulaire avec "disposition de canaux de refroidissement réduits" sous les culasses.	82
Figure 8 – Réponses en température aux variations en échelons du courant de charge	84
Figure 9 – La fonction $f_2(t)$ associée aux valeurs données au tableau 5	86
Figure 10 – Représentation du schéma bloc fonctionnel des équations différentielles	87
Figure 11 – Principe des pertes en fonction de la position de prise	90
Figure B.1 – Courbes comparatives des réponses en température du point chaud aux variations en échelons du courant de charge	96
Figure B.2 – Courbes comparatives des réponses en température de l'huile supérieure aux variations en échelons du courant de charge.....	96
Figure C.1 – Exemple de données d'entrée tracées	103
Figure C.2 – Données de sortie tracées pour l'exemple	106
Figure E.1 – Gros transformateurs de puissance OF: charges admissibles pour une perte de la vie normale	112
Tableau 1 – Durée de vie du papier sous diverses conditions	71
Tableau 2 – Vitesse de vieillissement relatif due à la température du point-chaud	72
Tableau 3 – Durée de vie normale d'un système d'isolation à performance thermique améliorée exempte d'oxygène et bien sec à la température de référence de 110 °C	73
Tableau 4 – Limites de courant et de température applicables aux charges au-delà des caractéristiques de la plaque signalétique	74
Tableau 5 – Caractéristiques thermiques recommandées pour les équations exponentielles.....	86
Tableau 6 – Correction concernant l'augmentation de la température ambiante due à l'enceinte	89
Tableau B.1 – Périodes de charge du transformateur de 250 MVA.....	93
Tableau B.2 – Températures à la fin de chaque étape de charge	97
Tableau C.1 – Exemple de données d'entrée	102
Tableau C.2 – Exemple de données de sortie	105
Tableau E.1 – Caractéristiques d'exemple liées à la possibilité de charge des transformateurs	109
Tableau E.2 – Exemple de tableau présentant les charges admissibles et la perte de la vie quotidienne correspondante (en jours "normaux"), et l'échauffement maximal du point-chaud au cours du cycle de charge	111

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

TRANSFORMATEURS DE PUISSANCE –

Partie 7: Guide de charge pour transformateurs immergés dans l'huile

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 60076-7 a été établie par le comité d'études 14 de la CEI: Transformateurs de puissance.

Cette norme annule et remplace la CEI 60354 publiée en 1991. Cette première édition constitue une révision technique du contenu de la CEI 60354. Les détails des changements techniques sont donnés dans l'introduction.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
14/512/FDIS	14/520/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.

La CEI 60076 comprend les parties suivantes, sous le titre général *Transformateurs de puissance*:

- Partie 1: Généralités
- Partie 2: Echauffement
- Partie 3: Niveaux d'isolement, essais diélectriques et distances d'isolement dans l'air
- Partie 4: Guide pour les essais au choc de foudre et au choc de manœuvre – Transformateurs de puissance et bobines d'inductance
- Partie 5: Tenue au court-circuit
- Partie 7: Guide de charge pour transformateurs immergés dans l'huile
- Partie 8: Guide d'application
- Partie 10: Détermination des niveaux de bruit
- Partie 11: Transformateurs de type sec

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 fournit des conseils pour les spécifications et les régimes de charge des transformateurs de puissance du point de vue des températures de fonctionnement et du vieillissement thermique. Elle fournit des recommandations pour le fonctionnement à des régimes de charge supérieurs à la valeur assignée et un guide pour le planificateur afin de choisir les grandeurs assignées et les conditions de charge appropriées pour de nouvelles installations.

La CEI 60076-2 constitue la base pour des ententes contractuelles et elle contient les exigences et les essais concernant les valeurs d'échauffement des transformateurs immergés dans l'huile dans le cas de régime permanent aux grandeurs assignées. Il convient de noter que la CEI 60076-2 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 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. 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 du point chaud est utilisée à son tour pour évaluer une valeur relative de la vitesse de vieillissement thermique et le pourcentage de la vie consommée dans une période de temps particulière. La modélisation fait référence aux petits transformateurs, ici appelés transformateurs de distribution, et aux transformateurs de puissance.

Un changement important par rapport à la CEI 60354:1991 est l'utilisation croissante des capteurs de température à fibres optiques dans les transformateurs. Cet usage a radicalement accru les possibilités d'obtenir une modélisation thermique correcte des transformateurs de puissance, en particulier à chaque changement de palier du courant de charge. Ces possibilités ont également mis en évidence des différences entre "l'exposant d'huile x " et "l'exposant d'enroulement y " utilisés dans la présente partie de la CEI 60076 et dans la CEI 60076-2:1993, pour les transformateurs de puissance:

- $x = 0,9$ dans la CEI 60076-2, et $x = 0,8$ dans la présente partie de la CEI 60076 avec un mode de refroidissement ON.
- $y = 1,6$ dans la CEI 60076-2, et $y = 1,3$ dans la présente partie de la CEI 60076 avec les modes de refroidissement ON et OF.

Pour les transformateurs de distribution les mêmes valeurs de x et de y sont utilisées dans la présente partie de la CEI 60076 et dans la CEI 60076-2.

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 cyclique non perturbé ou régime temporaire de secours. Les recommandations se rapportent aux transformateurs de distribution, aux transformateurs de moyenne puissance et aux transformateurs de grande puissance.

Les articles de 1 à 7 contiennent les définitions, les informations communes générales et les limitations spécifiques pour le fonctionnement des différentes catégories de transformateurs.

L'article 8 contient la détermination des températures, et présente les modèles mathématiques utilisés pour estimer la température du point chaud en régimes permanents et transitoires.

L'article 9 contient une courte description de l'influence de la position de prise.

Des exemples d'application sont donnés en Annexes B, C et E.

TRANSFORMATEURS DE PUISSANCE –

Partie 7: Guide de charge pour transformateurs immergés dans l'huile

1 Domaine d'application

La présente partie de la CEI 60076 est applicable aux transformateurs immergés dans l'huile. Elle décrit l'effet du fonctionnement pour diverses températures ambiantes et conditions de charge durant la vie du transformateur.

NOTE Pour les transformateurs de four, il convient de consulter le fabricant compte tenu du profil particulier de charge.

2 Références normatives

Les documents référencés ci-après 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 60076-2:1993, *Transformateurs de puissance – Partie 2: Echauffement*

CEI 60076-4:2002, *Transformateurs de puissance – Partie 4: Guide pour les essais au choc de foudre et au choc de manœuvre – Transformateurs de puissance et bobines d'inductance*

CEI 60076-5:2000, *Transformateurs de puissance – Partie 5: Tenue au court-circuit*