IEC/TS 60076-19

Edition 1.0 2013-03

TECHNICAL SPECIFICATION

SPÉCIFICATION TECHNIQUE

Power transformers –
Part 19: Rules for the determination of uncertainties in the measurement of the losses on power transformers and reactors

Transformateurs de puissance –
Partie 19: Règles pour la détermination des incertitudes de mesure des pertes des transformateurs de puissance et bobines d'inductance

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX

W

ICS 29.180

ISBN 978-2-83220-693-5

Warning! Make sure that you obtained this publication from an authorized distributor.
Attention! Veuillez vous assurer que vous avez obtenu cette publication via un distributeur agréé.

® 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 Symbols 8
4.1 General symbols 8
4.2 Symbols for uncertainty 9
5 Power measurement, systematic deviation and uncertainty 10
5.1 General 10
5.2 Model function 10
5.3 Measuring systems 10
6 Procedures for no-load loss measurement 11
6.1 General 11
6.2 Model function for no-load losses at reference conditions 11
6.3 Uncertainty budget for no-load loss 12
7 Procedures for load loss measurement 13
7.1 General 13
7.2 Model function for load loss measurement at rated current 13
7.3 Reporting to rated current and reference temperature 14
7.4 Uncertainty budget for the measured power P_2 reported to rated current 14
7.4.1 General 14
7.4.2 Uncertainties of measured load loss power P_2 at ambient temperature θ_2 14
7.5 Uncertainty budget for reported load loss at reference temperature 15
8 Three-phase calculations 16
8.1 Power measurement 16
8.2 Reference voltage 17
8.3 Reference current 17
9 Reporting 17
9.1 Uncertainty declaration 17
9.2 Traceability 17
10 Estimate of corrections and uncertainty contributions 18
10.1 Instrument transformers 18
10.2 Uncertainty contributions of ratio error of instrument transformers 18
10.3 Uncertainty contribution of phase displacement of instrument transformers 19
10.3.1 General 19
10.3.2 Complete reference procedure 19
10.3.3 Class index procedure 20
10.4 Voltage and current measurements 21
10.5 Power meter 21
10.6 Correction to sinusoidal waveform 22
10.7 Winding temperature at load loss measurement 23
10.8 Winding resistance measurement 23
Annex A (informative) Example of load loss uncertainty evaluation for a large power transformer 25

Annex B (Informative) Example of load loss uncertainty evaluation for a distribution transformer 33
Bibliography 37

Table 1 – Measured no-load loss uncertainties 12
Table 2 – Measured load loss uncertainties at ambient temperature 15
Table 3 – Absolute uncertainty of the additional losses at temperature θ_2 15
Table 4 – Absolute uncertainty of load losses P_{LL} reported at reference temperature 16
Table 5 – Procedures for the determination of phase displacement uncertainties 19
Table A.1 – Transformer ratings 25
Table A.2 – Loss measurement results (one phase) 27
Table A.3 – Calibration of voltage and current transformers 27
Table A.4 – Uncertainty contributions 29
Table B.1 – Transformer ratings 33
Table B.2 – Measured quantities 34
Table B.3 – Calibration of the current transformers 35
Table B.4 – Uncertainty contribution 36

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

_____

POWER TRANSFORMERS –

Part 19: Rules for the determination of uncertainties in the measurement of the losses on power transformers and reactors

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.

The main task of IEC technical committees is to prepare International Standards. In exceptional circumstances, a technical committee may propose the publication of a technical specification when

- the required support cannot be obtained for the publication of an International Standard, despite repeated efforts, or
- the subject is still under technical development or where, for any other reason, there is the future but no immediate possibility of an agreement on an International Standard.

Technical specifications are subject to review within three years of publication to decide whether they can be transformed into International Standards.

IEC 60076-19, which is a technical specification, has been prepared by IEC technical committee 14: Power transformers.

The text of this technical specification is based on the following documents:

Enquiry draft	Report on voting
14/726/DTS	14/736A/RVC

Full information on the voting for the approval of this technical specification 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 in the IEC 60076 series, published 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 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

- transformed into an International Standard,
- reconfirmed,
- withdrawn,
- replaced by a revised edition, or
- amended.

INTRODUCTION

The losses of the transformers (no- load and load losses) are object of guaranty and penalty in the majority of the contracts and play an important role in the evaluation of the total (service) costs and therefore in the investments involved.

According to ISO/IEC 17025 the result of any measurement should be qualified with the evaluation of its uncertainty. A further requirement is that known corrections shall have been applied before evaluation of uncertainty.

Corrections and uncertainties are also considered in IEC 60076-8 were some general indications are given for their determination.

This Technical Specification deals with the measurement of the losses that from a measuring point of view consist of the estimate of a measurand and the evaluation of the uncertainty that affects the measurand itself.

The uncertainty range depends on the quality of the test installation and measuring system, on the skill of the staff and on the intrinsic measurement difficulties presented by the tested objects.

The submitted test results are to be considered the most correct estimate and therefore this value has to be accepted as it stands.

In the annexes to this document, two examples of uncertainty calculations are reported for load loss measurements on large power and distribution transformers.

Standards, technical reports and guides mentioned in the text are listed at the end of the document.

It is stated that guaranty and penalty calculations should refer to the best estimated values of the losses without considering the measurement uncertainties.

POWER TRANSFORMERS –

Part 19: Rules for the determination of uncertainties in the measurement of the losses on power transformers and reactors

1 Scope

This part of IEC 60076, which is a Technical Specification, illustrates the procedures that should be applied to evaluate the uncertainty affecting the measurements of no-load and load losses during the routine tests on power transformers.

Even if the attention is especially paid to the transformers, when applicable the specification can be also used for the measurements of reactor losses, except large reactors with very low power factor.

2 Normative references

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

IEC 60076-1:2011, *Power transformers – Part 1: General*

IEC 60076-2:2011, *Power transformers – Part 2: Temperature rise for liquid-immersed transformers*

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS 40
INTRODUCTION 42
1 Domaine d'application 43
2 Références normatives 43
3 Termes et définitions 43
4 Symboles 44
4.1 Symboles généraux 44
4.2 Symboles pour l'incertitude 45
5 Mesure de la puissance, écart et incertitude systématiques 46
5.1 Généralités 46
5.2 Fonction modèle 46
5.3 Systèmes de mesure 46
6 Méthodes de mesure des pertes à vide 47
6.1 Généralités 47
6.2 Fonction modèle pour les pertes à vide aux conditions de référence 47
6.3 Bilan des incertitudes de mesure des pertes à vide 48
7 Méthodes de mesure des pertes dues à la charge 49
7.1 Généralités 49
7.2 Fonction modèle pour la mesure des pertes dues à la charge au courant assigné 49
7.3 Mesure rapportée au courant assigné et à la température de référence 50
7.4 Bilan des incertitudes de la puissance mesurée P_2 rapportée au courant assigné 51
7.4.1 Généralités 51
7.4.2 Incertitudes de la puissance mesurée des pertes dues à la charge P_2 à la température ambiante θ_2 51
7.5 Bilan des incertitudes pour les pertes dues à la charge rapportées à la température de référence 51
8 Calculs triphasés 53
8.1 Mesure de la puissance 53
8.2 Tension de référence 53
8.3 Courant de référence 54
9 Rapport 54
9.1 Déclaration de l'incertitude 54
9.2 Traçabilité 54
10 Estimation des corrections et contributions à l'incertitude 54
10.1 Transformateurs de mesure 54
10.2 Contributions à l'incertitude: erreur de rapport des transformateurs de mesure 55
10.3 Contribution à l'incertitude: déphasage des transformateurs de mesure 55
10.3.1 Généralités 55
10.3.2 Méthode de référence complète 55
10.3.3 Méthode de l'indice de classe 57
10.4 Mesures de tension et de courant 57
10.5 Wattmètre 58
10.6 Correction de la forme d'onde sinusoïdale 59

10.7 Température des enroulements pendant la mesure des pertes dues à la charge....59
10.8 Mesure de la résistance d'enroulement....60
Annexe A (informative) Exemple d'évaluation de l'incertitude des pertes dues à la charge pour un grand transformateur de puissance....62
Annexe B (informative) Exemple d'évaluation de l'incertitude des pertes dues à la charge pour un transformateur de distribution....70
Bibliographie....75

Tableau 1 – Incertitudes des pertes à vide mesurées....49
Tableau 2 – Incertitudes des pertes dues à la charge mesurées à la température ambiante....51
Tableau 3 – Incertitude absolue des pertes supplémentaires à la température θ_2....52
Tableau 4 – Incertitude absolue des pertes dues à la charge P_{LL} rapportées à la température de référence....52
Tableau 5 – Méthodes de détermination des incertitudes de déphasage....55
Tableau A.1 – Caractéristiques assignées du transformateur....62
Tableau A.2 – Résultats de mesure des pertes (une phase)....64
Tableau A.3 – Étalonnage des transformateurs de tension et de courant....65
Tableau A.4 – Contributions à l'incertitude....67
Tableau B.1 – Caractéristiques assignées du transformateur....70
Tableau B.2 – Grandeurs mesurées....71
Tableau B.3 – Étalonnage des transformateurs de courant....72
Tableau B.4 – Contribution à l'incertitude....73

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

_____

TRANSFORMATEURS DE PUISSANCE –

Partie 19: Règles pour la détermination des incertitudes de mesure des pertes des transformateurs de puissance et bobines d'inductance

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 tâche principale des comités d'études de la CEI est l'élaboration des Normes internationales. Exceptionnellement, un comité d'études peut proposer la publication d'une spécification technique

- lorsqu'en dépit de maints efforts, l'accord requis ne peut être réalisé en faveur de la publication d'une Norme internationale, ou
- lorsque le sujet en question est encore en cours de développement technique ou quand, pour une raison quelconque, la possibilité d'un accord pour la publication d'une Norme internationale peut être envisagée pour l'avenir mais pas dans l'immédiat.

Les spécifications techniques font l'objet d'un nouvel examen trois ans au plus tard après leur publication afin de décider éventuellement de leur transformation en Normes internationales.

La CEI 60076-19, qui est une spécification technique, a été établie par le comité d'études 14 de la CEI: Transformateurs de puissance.

Le texte de cette spécification technique est issu des documents suivants:

Projet d'enquête	Rapport de vote
14/726/DTS	14/736A/RVC

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

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

Une liste de toutes les parties de la série CEI 60076, publiées 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

- transformée en Norme internationale,
- reconduite,
- supprimée,
- remplacée par une édition révisée, ou
- amendée.

INTRODUCTION

Dans la plupart des contrats, les pertes des transformateurs (pertes à vide et pertes dues à la charge) font l'objet de clauses de garantie et de pénalités; elles jouent en effet un rôle important dans l'évaluation des coûts totaux (d'exploitation) et par conséquent en ce qui concerne l'estimation des investissements consentis.

Selon l'ISO/CEI 17025, il convient que les résultats de toutes les mesures soient quantifiés avec l'évaluation de l'incertitude correspondante. Une autre exigence stipule également que les éventuelles corrections connues doivent avoir été appliquées avant l'évaluation de l'incertitude.

Les corrections et les incertitudes sont également prises en compte dans la CEI 60076-8 qui fournit certaines indications à caractère général pour leur détermination.

La présente Spécification Technique traite de la mesure des pertes; du point de vue méthodologique cette mesure consiste à estimer un mesurande et à évaluer l'incertitude qui affecte ledit mesurande.

La plage d'incertitude est fonction de la qualité de l'installation d'essai et du système de mesure, de l'expertise du personnel et des difficultés intrinsèques des mesures induites par les objets soumis à l'essai.

Les résultats d'essai présentés sont considérés comme l'estimation la plus correcte et ces valeurs sont par conséquent acceptées en l'état.

Les Annexes au présent document présentent deux exemples de calcul de l'incertitude de mesure des pertes dues à la charge portant sur de grands transformateurs de puissance et de distribution.

Les normes, rapports techniques et guides cités dans le texte sont répertoriés à la fin du document.

Il est indiqué qu'il convient que les calculs de garantie et de pénalité fassent référence aux valeurs conventionnellement vraies des pertes, sans tenir compte des incertitudes de mesure.

TRANSFORMATEURS DE PUISSANCE –

Partie 19: Règles pour la détermination des incertitudes de mesure des pertes des transformateurs de puissance et bobines d'inductance

1 Domaine d'application

La présente partie de la CEI 60076, qui est une Spécification Technique, présente les procédures qu'il convient d'appliquer pour évaluer l'incertitude qui affecte les mesures des pertes à vide et des pertes dues à la charge lors d'essais individuels de série de transformateurs de puissance.

Même si la présente spécification prête une attention particulière aux transformateurs, elle peut être également utilisée, le cas échéant, pour les mesures des pertes des bobines d'inductance, à l'exception des grandes bobines d'inductance à très faible facteur de puissance.

2 Références normatives

Les documents suivants sont cités en référence de manière normative, en intégralité ou en partie, dans le présent document et sont indispensables pour son application. 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 60076-1:2011, *Transformateurs de puissance – Partie 1: Généralités*

CEI 60076-2:2011, *Transformateurs de puissance – Partie 2: Échauffement des transformateurs immergés dans le liquide*