

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



Power transformers –

Part 19-1: Rules for the determination of uncertainties in the measurement of the losses of power transformers

Transformateurs de puissance –

Partie 19-1: Règles pour la détermination des incertitudes de mesure des pertes des transformateurs de puissance

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 29.180

ISBN 978-2-8322-7024-0

**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.**

CONTENTS

FOREWORD.....	5
INTRODUCTION.....	7
1 Scope.....	9
2 Normative references	9
3 Terms and definitions	9
4 Symbols	11
4.1 General symbols.....	11
4.2 Symbols for uncertainty	12
4.2.1 General designations.....	12
4.2.2 Specific designations.....	12
5 Power measurement, systematic deviation and uncertainty	12
5.1 General.....	12
5.2 Traceability	13
5.3 Model function	13
5.4 Measuring systems	13
6 Procedures for no-load loss measurement.....	13
6.1 General.....	13
6.2 Model function for no-load losses at reference conditions	14
6.3 Uncertainty budget for no-load loss.....	15
7 Procedures for load loss measurement.....	16
7.1 General.....	16
7.2 Model function for load loss measurement at rated current	16
7.3 Model function for load loss at rated current and reference temperature	17
7.4 Uncertainty budget for the measured power P_2 recalculated to rated current	18
7.4.1 General	18
7.4.2 Uncertainties of measured load loss power P_2 at ambient temperature θ_2	18
7.5 Uncertainty budget for reported load loss at reference temperature	18
8 Three-phase power calculations	19
9 Reporting.....	20
10 Estimate of corrections and uncertainty contributions	20
10.1 Instrument transformers	20
10.1.1 General	20
10.1.2 Ratio error of instrument transformers	21
10.1.3 Phase displacement of instrument transformers.....	22
10.2 Voltage and current measurements.....	24
10.3 Power meter	25
10.4 Advanced system with specified system uncertainty.....	25
10.5 Correction to sinusoidal waveform	26
10.6 Winding resistance measurement	26
10.7 Winding temperature at load loss measurement.....	27
10.7.1 General	27
10.7.2 R_2 and θ_2 determined from temperature measurement	27
10.7.3 R_2 and θ_2 determined by resistance measurement	28
Annex A (informative) Example of no-load loss uncertainty evaluation – Advanced measuring system.....	30

A.1	General (intent of example).....	30
A.2	Transformer specification.....	30
A.3	Measuring system.....	30
A.4	Measurements	31
A.5	Correction of measured values.....	31
A.6	Calculation of uncertainty.....	31
A.7	Reported loss and uncertainty estimate	32
Annex B (informative)	Example of no-load loss uncertainty evaluation – Calibration based procedure	33
B.1	General.....	33
B.2	Transformer specification.....	33
B.3	Measuring system.....	33
B.4	Measurements	34
B.5	Correction of measured values.....	35
B.6	Uncertainty calculation.....	35
B.7	Reported loss and uncertainty estimate	36
Annex C (informative)	Example of load loss uncertainty evaluation class index procedure	37
C.1	General.....	37
C.2	Transformer specification.....	37
C.3	Measuring system.....	37
C.4	Measurements	38
C.5	Calculation in accordance with IEC 60076-1	39
C.6	Uncertainty calculation.....	39
C.7	Reported loss and uncertainty estimate	41
Annex D (informative)	Determination of exponent n in expression for no-load loss	42
Annex E (informative)	Measurement uncertainty and test results	44
E.1	General.....	44
E.2	Test results, guarantees, tolerances, uncertainty limits	44
E.3	Traceability as tool for quality assurance	44
E.4	Means and methods to prove uncertainty claims and traceability	45
E.4.1	Calibration	45
E.4.2	Calibration certificate.....	46
E.4.3	Guidance on scope of a calibration	47
Annex F (normative)	Calculation of uncertainty of losses with different reference temperatures and/or winding material	48
Bibliography	49
Figure D.1	– Evaluation of exponent n from data in Table D.1	43
Table 1	– Measured no-load loss uncertainties	16
Table 2	– Measured load loss uncertainties at ambient temperature	18
Table 3	– Absolute uncertainty of load losses P_{LL} reported at reference temperature θ_r	19
Table 4	– Measured no-load loss uncertainties, advanced system	25
Table 5	– Measured load loss uncertainties at ambient temperature, advanced system	26
Table A.1	– Three-phase transformer oil immersed transformer	30
Table A.2	– Uncertainty specification of the power measuring system.....	30

Table A.3 – Measured data	31
Table A.4 – Corrected values	31
Table A.5 – Uncertainty of no-load loss (according to Table 1).....	32
Table B.1 – Three-phase transformer oil immersed transformer	33
Table B.2 – Uncertainties of measuring system current and voltage transducers.....	34
Table B.3 – Uncertainties of power meter	34
Table B.4 – Measured data	34
Table B.5 – Corrected values	35
Table B.6 – Uncertainty of no-load loss (according to Table 1).....	35
Table C.1 – Three-phase transformer dry type transformer	37
Table C.2 – Uncertainties of measuring system current and voltage transducers	38
Table C.3 – Measured data	38
Table C.4 – Results based on measured data	39
Table C.5 – Derivation of standard uncertainty contributions	39
Table C.6 – Uncertainty budget for measured load loss at ambient temperature (Table 2)	40
Table C.7 – Uncertainty budget for absolute uncertainty of load loss reported at reference temperature (Table 3)	40
Table D.1 – Example of measured no-load loss versus applied voltage.....	42

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

POWER TRANSFORMERS –

Part 19-1: Rules for the determination of uncertainties in the measurement of the losses of 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 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.

IEC 60076-19-1 has been prepared by IEC technical committee 14: Power transformers. It is an International Standard.

The text of this International Standard is based on the following documents:

Draft	Report on voting
14/1105/FDIS	14/1107/RVD

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

The language used for the development of this International Standard is English.

This document was drafted in accordance with ISO/IEC Directives, Part 2, and developed in accordance with ISO/IEC Directives, Part 1 and ISO/IEC Directives, IEC Supplement, available at www.iec.ch/members_experts/refdocs. The main document types developed by IEC are described in greater detail at www.iec.ch/standardsdev/publications.

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 document will remain unchanged until the stability date indicated on the IEC website under webstore.iec.ch in the data related to the specific document. At this date, the document will be

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

IMPORTANT – The "colour inside" logo on the cover page of this document 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.

INTRODUCTION

The losses of power transformers (no-load and load losses) are the object of guarantee and penalty in many contracts and play an important role in the evaluation of the total (service) costs and therefore in the investments involved. Furthermore, regional regulations, such as the Ecodesign Directive of the European Union (Directive 2009/125/EC), can also pose requirements on the establishment of reliable values for losses.

According to ISO/IEC 17025 and ISO/IEC Guide 98-3, the result of any measurement should be qualified with the evaluation of its uncertainty. A further requirement of those documents is that known corrections shall have been applied before evaluation of uncertainty. These provisions have been applied in this document.

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

This document deals with the measurement of the losses, which 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 procedures can also be applied to loss measurements of power transformers:

- as evaluation of the achievable performance of a test facility in the course of prequalification processes,
- as estimations of achievable uncertainty in the enquiry stage of an order or prior to beginning final testing at the manufacturer's premises; and for
- evaluations of market surveillance measurements.

Evaluation of uncertainty in testing is often characterized as "top-down" or "bottom-up", where the first one relies on inter-laboratory comparisons on a circulated test object to estimate the dispersion and hence the uncertainty. The latter method instead relies on the formulation of a model function, where the test result y is expressed as a function of input quantities. This function is often the formula used for the calculation of the result. The "bottom-up" method is applied in this document.

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 procedures developed in this document for evaluation of measurement uncertainty are provided as a tool to assess the soundness of results of loss measurements. Uncertainty is understood as a "parameter, associated with the result of a measurement, that characterizes the dispersion of the values that could reasonably be attributed to the measurand" [SOURCE: IEC 311-01-02].

In cases where the losses are required to conform to stated tolerance limits, it is recommended that measurement systems are of such quality that their estimated uncertainty is less than the tolerance limit. (As an example, a measurement with a 5 % uncertainty on a test where the tolerance limit is 5 % is acceptable if the measured value lies within the tolerance limit.) This situation can occur for example in market surveillance activities. It can be noted that an uncertainty 3 % is regarded as state-of-the-art for uncertainty of loss.

Treatment of measurement results is defined as follows in IEC 60076-8:1997, 10.1: "The submitted test result shall contain the most correct estimate that is possible, based on the measurements that have been carried out. This value shall be accepted as it stands. The uncertainty margin shall not be involved in the judgement of compliance for guarantees with no positive tolerance or tolerance ranges for performance data of the test object."

In Annex A to Annex C of this document, examples of uncertainty calculations are reported for no-load and load loss measurements on large power and distribution transformers. Annex D provides information on determination of the exponent for applied voltage in no-load loss measurement. Annex E provides information on uncertainty in measurement. Annex F provides information on calculation of uncertainty of losses with different reference temperatures and/or winding material.

International Standards, Technical Reports and Guides which are mentioned in the text of this document, but which are not indispensable to its application, are listed in the Bibliography at the end of this document.

Loss of reactors is not within the scope of this document. A separate part of IEC IEC60076-19 to handle loss of reactors is under consideration.

A problem with symbols has been rectified, where the symbol for voltage has been changed from U to V to avoid confusion with expanded uncertainty. The new symbol is accepted in IEC 60050-121:2002, 121-11-27 for the case when the corresponding electric field is irrotational.

POWER TRANSFORMERS –

Part 19-1: Rules for the determination of uncertainties in the measurement of the losses of power transformers

1 Scope

This part of IEC 60076 defines the procedures that are applied to evaluate the uncertainty affecting the measurements of no-load and load losses during the routine tests on power transformers.

This document centres on measuring systems utilizing digital instruments, although the procedures can be adapted to evaluation of systems with analogue instruments where further uncertainty sources have to be taken into account.

This document specifies how to determine measurement uncertainty and how to apply corrections for known errors in the measurement chain. Information vis-à-vis judgement and traceability are given in IEC 60076-8:1997, 10.1 and 10.2.

2 Normative references

The following documents are referred to in the text in such a way that some or all of their content constitutes requirements 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 60076-2, *Power transformers – Part 2: Temperature rise for liquid-immersed transformers*

IEC 60076-11:2018, *Power transformers – Part 11: Dry-type transformers*

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	53
INTRODUCTION.....	55
1 Domaine d'application	57
2 Références normatives	57
3 Termes et définitions	57
4 Symboles	59
4.1 Symboles généraux	59
4.2 Symboles pour l'incertitude	60
4.2.1 Désignations générales	60
4.2.2 Désignations spécifiques	60
5 Mesure de la puissance, écart et incertitude systématiques	60
5.1 Généralités	60
5.2 Traçabilité.....	61
5.3 Fonction modèle	61
5.4 Systèmes de mesure	61
6 Méthodes de mesure des pertes à vide.....	62
6.1 Généralités	62
6.2 Fonction modèle pour les pertes à vide aux conditions de référence	62
6.3 Bilan des incertitudes de mesure des pertes à vide.....	63
7 Méthodes de mesure des pertes dues à la charge	64
7.1 Généralités	64
7.2 Fonction modèle pour la mesure des pertes dues à la charge au courant assigné	64
7.3 Fonction modèle pour les pertes dues à la charge au courant assigné et à la température de référence.....	65
7.4 Bilan des incertitudes de la puissance mesurée P_2 recalculée au courant assigné.....	66
7.4.1 Généralités.....	66
7.4.2 Incertitudes de la puissance mesurée des pertes dues à la charge P_2 à la température ambiante θ_2	66
7.5 Bilan des incertitudes pour les pertes dues à la charge rapportées à la température de référence.....	66
8 Calculs de puissance triphasée	67
9 Rapport	68
10 Estimation des corrections et contributions à l'incertitude	68
10.1 Transformateurs de mesure	68
10.1.1 Généralités.....	68
10.1.2 Erreur de rapport des transformateurs de mesure.....	69
10.1.3 Déphasage des transformateurs de mesure.....	70
10.2 Mesures de tension et de courant	72
10.3 Wattmètre	73
10.4 Système de technologie avancée avec incertitude du système spécifiée.....	73
10.5 Correction de la forme d'onde sinusoïdale	74
10.6 Mesure de la résistance d'enroulement.....	75
10.7 Température des enroulements pendant le mesurage des pertes dues à la charge	75

10.7.1	Généralités	75
10.7.2	Détermination de R_2 et de θ_2 à partir de la mesure de la température	76
10.7.3	Détermination de R_2 et de θ_2 par mesurage de la résistance	77
Annexe A (informative) Exemple d'évaluation de l'incertitude des pertes à vide – Système de mesure de technologie avancée		78
A.1	Généralités (objet de l'exemple).....	78
A.2	Spécification du transformateur.....	78
A.3	Système de mesure	78
A.4	Mesures	79
A.5	Correction des valeurs mesurées	79
A.6	Calcul de l'incertitude.....	79
A.7	Pertes rapportées et estimation de l'incertitude.....	80
Annexe B (informative) Exemple d'évaluation de l'incertitude des pertes à vide – Méthode par étalonnage		81
B.1	Généralités	81
B.2	Spécification du transformateur.....	81
B.3	Système de mesure	81
B.4	Mesures	82
B.5	Correction des valeurs mesurées	83
B.6	Calcul de l'incertitude.....	83
B.7	Pertes rapportées et estimation de l'incertitude.....	84
Annexe C (informative) Exemple d'évaluation de l'incertitude des pertes à vide Méthode de l'indice de classe		85
C.1	Généralités	85
C.2	Spécification du transformateur.....	85
C.3	Système de mesure	85
C.4	Mesures	86
C.5	Calcul selon l'IEC 60076-1	87
C.6	Calcul de l'incertitude.....	87
C.7	Pertes rapportées et estimation de l'incertitude.....	89
Annexe D (informative) Détermination de l'exposant n dans l'expression des pertes à vide 90		
Annexe E (informative) Incertitude de mesure et résultats d'essai.....		92
E.1	Généralités	92
E.2	Résultats d'essai, garanties, tolérances, limites d'incertitude	92
E.3	Traçabilité comme outil d'assurance qualité	92
E.4	Moyens et méthodes pour prouver les déclarations d'incertitude et la traçabilité.....	93
E.4.1	Étalonnage	93
E.4.2	Certificat d'étalonnage	94
E.4.3	Recommandations relatives au domaine d'application d'un étalonnage.....	95
Annexe F (normative) Calcul de l'incertitude des pertes à différentes températures de référence et/ou avec différents matériaux d'enroulement		96
Bibliographie.....		97
Figure D.1 – Évaluation de l'exposant n à partir des données du Tableau D.1.....		91
Tableau 1 – Incertitudes des pertes à vide mesurées.....		64

Tableau 2 – Incertitudes des pertes dues à la charge mesurées à la température ambiante.....	66
Tableau 3 – Incertitude absolue des pertes dues à la charge P_{LL} rapportées à la température de référence θ_r	67
Tableau 4 – Incertitudes des pertes à vide mesurées, système de technologie avancée	74
Tableau 5 – Incertitudes des pertes dues à la charge mesurées à la température ambiante, système de technologie avancée	74
Tableau A.1 – Transformateur triphasé immergé dans l'huile	78
Tableau A.2 – Spécification de l'incertitude du système de mesure de la puissance.....	78
Tableau A.3 – Données mesurées	79
Tableau A.4 – Valeurs corrigées	79
Tableau A.5 – Incertitude des pertes à vide (selon le Tableau 1)	80
Tableau B.1 – Transformateur triphasé immergé dans l'huile	81
Tableau B.2 – Incertitudes des transducteurs de courant et de tension du système de mesure	82
Tableau B.3 – Incertitudes du wattmètre	82
Tableau B.4 – Données mesurées	83
Tableau B.5 – Valeurs corrigées	83
Tableau B.6 – Incertitude des pertes à vide (selon le Tableau 1)	84
Tableau C.1 – Transformateur triphasé de type sec	85
Tableau C.2 – Incertitudes des transducteurs de courant et de tension du système de mesure	86
Tableau C.3 – Données mesurées	86
Tableau C.4 – Résultats fondés sur les données mesurées	87
Tableau C.5 – Déduction des contributions à l'incertitude type.....	87
Tableau C.6 – Bilan des incertitudes pour les pertes dues à la charge mesurées à la température ambiante (Tableau 2)	88
Tableau C.7 – Bilan des incertitudes pour l'incertitude absolue des pertes dues à la charge rapportées à la température de référence (Tableau 3).....	88
Tableau D.1 – Exemple de pertes à vide mesurées en fonction de la tension appliquée.....	90

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

TRANSFORMATEURS DE PUISSANCE –

Partie 19-1: Règles pour la détermination des incertitudes de mesure des pertes des transformateurs de puissance

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Électrotechnique Internationale (IEC) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de l'IEC). L'IEC a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. À cet effet, l'IEC – 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 l'IEC"). 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 l'IEC, participent également aux travaux. L'IEC 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 l'IEC concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de l'IEC intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de l'IEC se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de l'IEC. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que l'IEC s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; l'IEC 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 l'IEC s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de l'IEC dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de l'IEC et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) L'IEC 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 l'IEC. L'IEC 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 l'IEC, 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 l'IEC, 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 l'IEC ou de toute autre Publication de l'IEC, 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 l'IEC peuvent faire l'objet de droits de brevet. L'IEC ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de brevets.

L'IEC 60076-19-1 a été établie par le comité d'études 14 de l'IEC: Transformateurs de puissance. Il s'agit d'une Norme internationale.

Le texte de cette Norme internationale est issu des documents suivants:

Projet	Rapport de vote
14/1105/FDIS	14/1107/RVD

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

La version française de cette norme n'a pas été soumise au vote.

La langue employée pour l'élaboration de cette Norme internationale est l'anglais.

Le présent document a été rédigé selon les Directives ISO/IEC, Partie 2, il a été développé selon les Directives ISO/IEC, Partie 1 et les Directives ISO/IEC, Supplément IEC, disponibles sous www.iec.ch/members_experts/refdocs. Les principaux types de documents développés par l'IEC sont décrits plus en détail sous www.iec.ch/standardsdev/publications.

Une liste de toutes les parties de la série IEC 60076, publiées sous le titre général *Transformateurs de puissance*, se trouve sur le site web de l'IEC.

Le comité a décidé que le contenu de ce document ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site web de l'IEC sous webstore.iec.ch dans les données relatives au document recherché. À cette date, le document sera

- reconduit,
- supprimé,
- remplacé par une édition révisée, ou
- amendé.

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

INTRODUCTION

Dans de nombreux contrats, les pertes des transformateurs de puissance (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 (d'exploitation) totaux et, par conséquent, en ce qui concerne l'estimation des investissements consentis. En outre, les réglementations régionales, telles que la directive de l'Union européenne concernant l'écoconception (directive 2009/125/EC), peuvent également imposer des exigences sur l'établissement de valeurs fiables pour les pertes.

Selon l'ISO/IEC 17025 et le Guide 98-3 de l'ISO/IEC, il convient de quantifier les résultats de toutes les mesures avec l'évaluation de l'incertitude correspondante. Une autre exigence de ces documents stipule que les éventuelles corrections connues doivent avoir été appliquées avant l'évaluation de l'incertitude. Ces dispositions ont été appliquées dans le présent document.

Les corrections et les incertitudes sont également prises en compte dans l'IEC 60076-8 qui fournit des indications à caractère général pour leur détermination.

Le présent document traite du mesurage des pertes; du point de vue méthodologique, ce mesurage consiste à estimer un mesurande et à évaluer l'incertitude qui concerne ledit mesurande. Les procédures peuvent également être appliquées aux mesures des pertes des transformateurs de puissance:

- comme évaluation des performances réalisables d'une installation d'essai dans le cadre des processus de préqualification;
- comme estimations de l'incertitude réalisable au moment de l'appel d'offres ou avant le début des essais finaux dans les locaux du fabricant; et
- pour l'évaluation des mesures de surveillance du marché.

L'évaluation de l'incertitude dans le cadre d'essais est souvent caractérisée comme "descendante" ou "ascendante". L'évaluation "descendante" repose sur des comparaisons entre laboratoires pour un objet d'essai en circulation, afin d'estimer la dispersion et, par conséquent, l'incertitude. L'évaluation "ascendante" repose sur la formulation d'une fonction modèle, dont le résultat d'essai y est exprimé en fonction de grandeurs d'entrée. Cette fonction correspond souvent à la formule utilisée pour le calcul du résultat. La méthode "ascendante" est appliquée dans le présent document.

La plage d'incertitude dépend de la qualité de l'installation d'essai et du système de mesure, de l'expertise du personnel et des difficultés de mesure intrinsèques que présentent les objets soumis à l'essai.

Les méthodes établies dans le présent document pour évaluer l'incertitude de mesure sont fournies comme outil d'appréciation de la justesse des résultats de mesure des pertes. L'incertitude est interprétée comme un "paramètre, associé à un résultat de mesure, qui caractérise la dispersion des valeurs qui pourraient être raisonnablement attribuées au mesurande" [SOURCE: IEV 311-01-02].

Lorsque les pertes sont exigées pour se conformer aux limites de tolérance indiquées, il est recommandé que les systèmes de mesure soient d'une qualité telle que leur incertitude estimée est inférieure à la limite de tolérance (par exemple, une mesure avec une incertitude de 5 % pour un essai dont la limite de tolérance est de 5 % est acceptable si la valeur mesurée se trouve dans la limite de tolérance). Cette situation peut se produire dans le cadre des activités de surveillance du marché, par exemple. Il peut être noté qu'une incertitude de 3 % est considérée comme l'état de la technique en ce qui concerne l'incertitude des pertes.

Le traitement des résultats de mesure est défini comme suit en 10.1 de l'IEC 60076-8:1997: "Les résultats d'essais soumis doivent contenir les estimations les plus correctes possibles, basées sur les mesures qui ont été effectuées. Ces valeurs doivent être acceptées telles qu'elles sont. La marge d'incertitude ne doit pas être invoquée dans le jugement de la conformité aux valeurs garanties sans tolérance positive ou à l'étendue des tolérances pour les performances de l'objet à l'essai."

Des exemples de calculs de l'incertitude de mesure des pertes à vide et des pertes dues à la charge sur de grands transformateurs de puissance et de distribution sont donnés de l'Annexe A à l'Annexe C du présent document. L'Annexe D fournit des informations sur la détermination de l'exposant pour la tension appliquée dans la mesure des pertes à vide. L'Annexe E fournit des informations sur l'incertitude de mesure. L'Annexe F fournit des informations sur le calcul de l'incertitude des pertes à différentes températures de référence et/ou avec différents matériaux d'enroulement.

Les Normes internationales, les Rapports techniques et les Guides qui sont cités dans le texte du présent document, mais qui ne sont pas indispensables à son application, sont répertoriés dans la Bibliographie à la fin du présent document.

Les pertes des bobines d'inductance ne relèvent pas du domaine d'application du présent document. Une partie distincte de l'IEC 60076-19 qui traite des pertes des bobines d'inductance est à l'étude.

Un problème relatif aux symboles a été corrigé: le symbole de la tension a été modifié en remplaçant U par V afin d'éviter toute confusion avec l'incertitude élargie. Le nouveau symbole est accepté dans l'IEC 60050-121:2002, 121-11-27, lorsque le champ électrique correspondant est irrotationnel.

TRANSFORMATEURS DE PUISSANCE –

Partie 19-1: Règles pour la détermination des incertitudes de mesure des pertes des transformateurs de puissance

1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 60076 définit les procédures qui sont appliquées pour évaluer l'incertitude qui concerne les mesures des pertes à vide et des pertes dues à la charge lors des essais individuels de série des transformateurs de puissance.

Le présent document se concentre sur les systèmes de mesure qui utilisent des instruments numériques, même si les procédures peuvent être adaptées à l'évaluation de systèmes qui utilisent des instruments analogiques, pour lesquels des sources d'incertitude supplémentaires doivent être prises en compte.

Le présent document spécifie comment déterminer l'incertitude de mesure et comment appliquer des corrections pour les erreurs connues dans la chaîne de mesure. Les informations relatives à l'appréciation et à la traçabilité sont données en 10.1 et 10.2 de l'IEC 60076-8:1997.

2 Références normatives

Les documents suivants sont cités dans le texte de sorte qu'ils constituent, pour tout ou partie de leur contenu, des exigences 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).

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

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

IEC 60076-11:2018, *Transformateurs de puissance – Partie 11: Transformateurs de type sec*