IEC 60076-19-1

Edition 1.0 2023-05

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

colour inside

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.

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

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: IEV 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*