

INTERNATIONALE

IEC

**INTERNATIONAL
STANDARD**

60076-10-1

Première édition
First edition
2005-10

Transformateurs de puissance –

**Partie 10-1:
Détermination des niveaux de bruit –
Guide d'application**

Power transformers –

**Part 10-1:
Determination of sound levels –
Application guide**

© IEC 2005 Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'éditeur.

No part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from the publisher.

International Electrotechnical Commission, 3, rue de Varembé, PO Box 131, CH-1211 Geneva 20, Switzerland
Telephone: +41 22 919 02 11 Telefax: +41 22 919 03 00 E-mail: inmail@iec.ch Web: www.iec.ch



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

X

*Pour prix, voir catalogue en vigueur
For price, see current catalogue*

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS.....	6
1 Domaine d'application	10
2 Références normatives.....	10
3 Physiques de base du bruit sonore	10
3.1 Pression acoustique, p	10
3.2 Vitesse de particules, u	12
3.3 Intensité acoustique, I	12
3.4 Puissance acoustique, W	12
3.5 Champs acoustiques	14
4 Sources et caractéristiques du son acoustique du transformateur et de la bobine d'inductance	16
4.1 Généralités.....	16
4.2 Sources.....	16
4.3 Transmission de vibration.....	26
4.4 Rayonnement acoustique	28
5 Principes de mesure.....	28
5.1 Généralités.....	28
5.2 Mesure du niveau pression acoustique.....	30
5.3 Mesures d'intensité acoustique.....	30
5.4 Guide sur les mesures à bande étroite	32
6 Comparaison des méthodes de mesure	38
6.1 Généralités.....	38
6.2 Sensibilité de la méthode de pression acoustique à l'environnement d'essai	40
6.3 Sensibilité de la méthode d'intensité acoustique à l'environnement d'essai	42
6.4 Guide sur le choix de méthode	46
7 Aspects pratiques des mesures du son acoustique.....	46
7.1 Généralités.....	46
7.2 Orientation de l'objet d'essai	46
7.3 Nombre de points de mesure sur une surface de mesure	46
7.4 Choix de l'espacement du microphone pour les mesures d'intensité acoustique.....	48
7.5 Impact du bruit de fond sur les mesures d'intensité acoustique	50
7.6 Mesures en présence d'écrans d'insonorisation.....	52
8 Différence entre les essais d'usine et les mesures du niveau acoustique de champ.....	52
8.1 Généralités.....	52
8.2 Facteur de puissance de charge.....	52
8.3 Courant de charge.....	54
8.4 Tension de fonctionnement	54
8.5 Température de fonctionnement	54
8.6 Les harmoniques dans le courant et la tension de charge.....	56
8.7 Aimantation par courant continu	56
8.8 Effet de flux rémanent	56
8.9 Formation de niveau sonore due aux réflexions.....	56
8.10 Influence de la distance lorsqu'on fait des mesures sur le site.....	58
8.11 Transformateurs de convertisseur avec bobines d'inductance et/ou transformateurs d'interphase à noyau saturable	58

CONTENTS

FOREWORD.....	7
1 Scope.....	11
2 Normative references	11
3 Basic physics of sound.....	11
3.1 Sound pressure, p	11
3.2 Particle velocity, u	13
3.3 Sound intensity, I	13
3.4 Sound power, W	13
3.5 Sound fields	15
4 Sources and characteristics of transformer and reactor sound.....	17
4.1 General.....	17
4.2 Sources.....	17
4.3 Vibration transmission.....	27
4.4 Sound radiation.....	29
5 Measuring principles	29
5.1 General.....	29
5.2 Sound pressure level measurement.....	31
5.3 Sound intensity measurements.....	31
5.4 Guidance on narrow-band measurements.....	33
6 Comparison of measuring methods.....	39
6.1 General.....	39
6.2 Sensitivity of the sound pressure method to the test environment.....	41
6.3 Sensitivity of the sound intensity method to test environment.....	43
6.4 Guidance on method selection	47
7 Practical aspects of making sound measurements.....	47
7.1 General.....	47
7.2 Orientation of the test object	47
7.3 Number of measurement points on a measuring surface.....	47
7.4 Choice of microphone spacer for sound intensity measurements.....	49
7.5 Impact of background noise on sound intensity measurements.....	51
7.6 Measurements in the presence of sound-proofing screens	53
8 Difference between factory tests and field sound level measurements.....	53
8.1 General.....	53
8.2 Load power factor	53
8.3 Load current.....	55
8.4 Operating voltage.....	55
8.5 Operating temperature	55
8.6 Harmonics in the load current and voltage.....	57
8.7 DC magnetization.....	57
8.8 Effect of remanent flux	57
8.9 Sound level build-up due to reflections	57
8.10 Influence of distance when making on-site measurements.....	59
8.11 Converter transformers with saturable reactors and/or interphase transformers.....	59

9	Spécification des niveaux acoustiques de transformateur et de bobine d'inductance	60
9.1	Généralités.....	60
9.2	Niveaux acoustiques de garantie.....	60
9.3	Choix de la méthode d'essai.....	62
9.4	Conditions de charge	64
9.5	Appareil de refroidissement auxiliaire	66
9.6	Régulation de tension.....	66
9.7	Conditions de fonctionnement sur site	66
9.8	Exemple de spécification de bruit pour transformateur de puissance et auxiliaires de refroidissement (voir Annexe A).....	66
9.9	Exemple de spécification de bruit pour un transformateur de distribution (voir Annexe B)	68

Annexe A (informative)	Exemple traité: Transformateur de puissance avec auxiliaires de refroidissement montés sur une structure séparée > 3 m de la surface de rayonnement principale du transformateur – Niveau de puissance acoustique déterminé par l'intermédiaire de la méthode de pression acoustique.....	70
------------------------	---	----

Annexe B (informative)	Exemple traité: Transformateur de distribution, puissance acoustique déterminée par la méthode d'intensité acoustique synchrone	90
------------------------	---	----

Figure 1 – Exemple de courbes montrant le changement relatif de la longueur pour un type de tôles du noyau pendant les cycles complets de l'application d'une induction de courant alternatif de 50 Hz pour différentes densités maximales de flux $B_{max} = 1,2 T - 1,9 T$	18
--	----

Figure 2 – Induction (ligne continue) et changement relatif de la longueur d'une tôle magnétique (ligne pointillée) en fonction du temps pour une induction maximale c.a. 1,8 Tesla, 50 Hz – pas de polarisation en courant continu	20
---	----

Figure 3 – Exemple de courbe montrant le changement relatif de la longueur de tôle pendant un cycle complet d'induction appliqué en courant alternatif avec une petite polarisation en courant continu: 1,8 T, 50 Hz et 0,1 T, 0 Hz	20
---	----

Figure 4 – Induction (ligne continue) et changement relatif de la longueur de tôle (pointillée) en fonction du temps dus à l'application de l'induction à courant alternatif avec une petite polarisation en courant continu: 1,8 T, 50 Hz et 0,1 T, 0 Hz	22
---	----

Figure 5 – Augmentation du niveau acoustique avec le courant en polarisation continue dans les enroulements.....	22
--	----

Figure 6 – Spectre acoustique du courant de charge typique mesuré dans des conditions de court-circuit	24
--	----

Figure 7 – Disposition de microphone	32
--	----

Figure 8 – Environnement d'essai	40
--	----

Figure 9 – Distribution des perturbations à la pression acoustique dans l'environnement d'essai.....	42
--	----

Figure 10 – Croquis du transformateur de type sec montrant les points de mesure	48
---	----

Figure 11 – Illustration du bruit d'ambiance traversant la zone d'essai et le son acoustique rayonné de l'objet d'essai. Positions de paire de microphones indiquées par les cercles ouverts (microphone A) et fermés (microphone B).....	50
---	----

Tableau 1 – Valeurs de pondération A en fonction de la fréquence	36
--	----

9	Specifying transformer and reactor sound levels.....	61
9.1	General.....	61
9.2	Guarantee sound levels.....	61
9.3	Choice of test method.....	63
9.4	Load conditions.....	65
9.5	Auxiliary cooling equipment.....	67
9.6	Voltage regulation.....	67
9.7	On-site operating conditions.....	67
9.8	Example noise specification for power transformer and cooling auxiliaries (see Annex A).....	67
9.9	Example noise specification for a distribution transformer (see Annex B).....	69
	Annex A (informative) Worked example: Power transformer with cooling auxiliaries mounted on a separate structure >3 m from the principal radiating surface of the transformer – Sound power level determined via sound pressure method.....	71
	Annex B (informative) Worked example: Distribution transformer, sound power determined via time-synchronous sound intensity method.....	91
	Figure 1 – Example curves showing relative change in length for one type of core lamination during complete cycles of applied 50 Hz a.c. induction up to different peak flux densities $B_{max} = 1,2\text{ T} - 1,9\text{ T}$	19
	Figure 2 – Induction (smooth line) and relative change in lamination length (dotted) as a function of time due to applied a.c. induction: 1,8 T, 50 Hz – no d.c. bias.....	21
	Figure 3 – Example curve showing relative change in lamination length during one complete cycle of applied a.c. induction with a small d.c. bias: 1,8 T, 50 Hz and 0,1 T, 0 Hz.....	21
	Figure 4 – Induction (smooth line) and relative change in lamination length (dotted) as a function of time due to applied a.c. induction with a small d.c. bias: 1,8 T, 50 Hz and 0,1 T, 0 Hz.....	23
	Figure 5 – Sound level increase with d.c. current in the windings.....	23
	Figure 6 – Typical load current sound spectrum measured under short-circuit conditions.....	25
	Figure 7 – Microphone arrangement.....	33
	Figure 8 – Test environment.....	41
	Figure 9 – Distribution of disturbances to sound pressure in the test environment.....	43
	Figure 10 – Sketch of dry-type transformer showing measurement points.....	49
	Figure 11 – Illustration of background sound passing through test area and sound radiated from the test object. Microphone pair positions indicated by open (microphone A) and full (microphone B) circles.....	51
	Table 1 – Values of A-weighting as a function of frequency.....	37

COMMISSION ELECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

TRANSFORMATEURS DE PUISSANCE –

**Partie 10-1: Détermination des niveaux de bruit –
Guide d'application**

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, la CEI – entre autres activités – publie des Normes internationales, des Spécifications techniques, des Rapports techniques, des Spécifications accessibles au public (PAS) et des Guides (ci-après dénommés "Publication(s) de la CEI"). Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec la CEI, participent également aux travaux. La CEI collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de la CEI concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de la CEI intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de la CEI se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de la CEI. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que la CEI s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; la CEI ne peut pas être tenue responsable de l'éventuelle mauvaise utilisation ou interprétation qui en est faite par un quelconque utilisateur final.
- 4) Dans le but d'encourager l'uniformité internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de la CEI dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de la CEI et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) La CEI n'a prévu aucune procédure de marquage valant indication d'approbation et n'engage pas sa responsabilité pour les équipements déclarés conformes à une de ses Publications.
- 6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.
- 7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à la CEI, à ses administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris ses experts particuliers et les membres de ses comités d'études et des Comités nationaux de la CEI, pour tout préjudice causé en cas de dommages corporels et matériels, ou de tout autre dommage de quelque nature que ce soit, directe ou indirecte, ou pour supporter les coûts (y compris les frais de justice) et les dépenses découlant de la publication ou de l'utilisation de cette Publication de la CEI ou de toute autre Publication de la CEI, ou au crédit qui lui est accordé.
- 8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.
- 9) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Publication de la CEI peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale CEI 60076-10-1 a été établie par le comité d'études 14 de la CEI: Transformateurs de puissance.

La présente norme doit être lue conjointement avec la CEI 60076-10.

Le texte de la présente norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
14/505/FDIS	14/513/RVD

Le rapport de vote indiqué dans le tableau ci-dessus donne toute information sur le vote ayant abouti à l'approbation de la présente norme.

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

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

POWER TRANSFORMERS –

Part 10-1: Determination of sound levels – Application guide

FOREWORD

- 1) The International Electrotechnical Commission (IEC) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, IEC publishes International Standards, Technical Specifications, Technical Reports, Publicly Available Specifications (PAS) and Guides (hereafter referred to as "IEC Publication(s)"). Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested IEC National Committees.
- 3) IEC Publications have the form of recommendations for international use and are accepted by IEC National Committees in that sense. While all reasonable efforts are made to ensure that the technical content of IEC Publications is accurate, IEC cannot be held responsible for the way in which they are used or for any misinterpretation by any end user.
- 4) In order to promote international uniformity, IEC National Committees undertake to apply IEC Publications transparently to the maximum extent possible in their national and regional publications. Any divergence between any IEC Publication and the corresponding national or regional publication shall be clearly indicated in the latter.
- 5) IEC provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with an IEC Publication.
- 6) All users should ensure that they have the latest edition of this publication.
- 7) No liability shall attach to IEC or its directors, employees, servants or agents including individual experts and members of its technical committees and IEC National Committees for any personal injury, property damage or other damage of any nature whatsoever, whether direct or indirect, or for costs (including legal fees) and expenses arising out of the publication, use of, or reliance upon, this IEC Publication or any other IEC Publications.
- 8) Attention is drawn to the Normative references cited in this publication. Use of the referenced publications is indispensable for the correct application of this publication.
- 9) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this IEC Publication may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 60076-10-1 has been prepared by technical committee 14: Power transformers.

This standard is to be read in conjunction with IEC 60076-10.

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

FDIS	Report on voting
14/505/FDIS	14/513/RVD

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

This publication has been drafted in accordance with the ISO/IEC Directives, Part 2.

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

- Partie 1: Généralités
- Partie 2: Echauffement
- Partie 3: Niveaux d'isolement, essais diélectriques et distances d'isolement dans l'air
- Partie 4: Guide pour les essais au choc de foudre et au choc de manoeuvre – Transformateurs de puissance et bobines d'inductance
- Partie 5: Tenue au court-circuit
- Partie 6: Réacteurs (à l'étude)
- Partie 7: Guide de charge pour transformateurs de puissance immergés dans l'huile
- Partie 8: Guide d'application
- Partie 10: Détermination des niveaux de bruit
- Partie 10-1: Détermination des niveaux de bruit – Guide d'application
- Partie 11: Transformateurs de type sec
- Partie 12: Guide de charge pour transformateurs de puissance du type sec (à l'étude)
- Partie 13: Transformateurs auto-protégés à remplissage liquide
- Partie 14: Conception et application des transformateurs de puissance immergés dans du liquide utilisant des matériaux isolants haute température
- Partie 15: Gas-filled-type power transformers (titre français non disponible, à l'étude)

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant la date de maintenance indiquée sur le site web de la CEI sous «<http://webstore.iec.ch>» dans les données relatives à la publication recherchée. A cette date, la publication sera

- reconduite;
- supprimée;
- remplacée par une édition révisée, ou
- amendée.

This is a preview of "IEC 60076-10-1 Ed. 1...". [Click here to purchase the full version from the ANSI store.](#)

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

- Part 1: General
- Part 2: Temperature rise
- Part 3: Insulation levels, dielectric tests and external clearances in air
- Part 4: Guide to the lightning impulse and switching impulse testing – Power transformers and reactors
- Part 5: Ability to withstand short circuit
- Part 6: Reactors (under consideration)
- Part 7: Loading guide for oil-immersed power transformers
- Part 8: Application guide
- Part 10: Determination of sound levels
- Part 10-1: Determination of sound levels – Application guide
- Part 11: Dry-type transformers
- Part 12: Loading guide for dry-type power transformers (under consideration)
- Part 13: Self-protected liquid filled transformers
- Part 14: Design and application of liquid-immersed power transformers using high-temperature insulation materials
- Part 15: Gas-filled-type power transformers (under consideration).

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until the maintenance result date indicated on the IEC web site under "<http://webstore.iec.ch>" in the data related to the specific publication. At this date, the publication will be

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

TRANSFORMATEURS DE PUISSANCE –

Partie 10-1: Détermination des niveaux de bruit – Guide d'application

1 Domaine d'application

La présente partie de la CEI 60076 fournit un support d'information pour aider aussi bien les constructeurs que les acheteurs à appliquer les techniques de mesure décrites dans la CEI 60076-10. Les sources et les caractéristiques du bruit du transformateur et de la bobine d'inductance sont décrites. Un guide pratique pour réaliser les mesures est donné, et les facteurs qui peuvent influencer la précision des méthodes sont examinés. Ce guide d'application clarifie également les facteurs dont il convient qu'ils fassent l'objet d'un accord entre fabricant et acheteur lorsque l'on spécifie un transformateur ou une bobine d'inductance, et il indique également pourquoi les valeurs mesurées chez le constructeur peuvent différer de celles mesurées sur site.

Les informations fournies dans ce guide d'application sont applicables aux transformateurs et aux bobines d'inductance ainsi qu'à leurs auxiliaires de refroidissement associés.

2 Références normatives

Les documents de référence suivants sont indispensables pour l'application du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

CEI 60076-10:2005, *Transformateurs de puissance – Partie 10: Détermination des niveaux de bruit*

3 Physiques de base du bruit sonore

3.1 Pression acoustique, p

Le son peut être défini comme toute variation de pression (dans l'air, dans l'eau ou dans d'autres milieux élastiques) que l'oreille humaine peut détecter. Les variations de pression traversent le milieu (pour les besoins du présent document, l'air) de la source du bruit sonore jusqu'aux oreilles de l'utilisateur. Le nombre de variations de pression cycliques par seconde s'appelle la «fréquence» du son, et est mesuré en hertz (Hz). La fréquence d'un son acoustique produit sa propre tonalité distinctive ou pas. Le ronflement d'un transformateur est à faible fréquence, fondamentalement 100 Hz ou 120 Hz, tandis qu'un sifflement est à haute fréquence, typiquement au-dessus de 3 kHz. La gamme normale d'audition pour un jeune en bonne santé s'étend approximativement de 20 Hz à 20 kHz.

Une autre caractéristique utilisée pour décrire un son acoustique est l'amplitude des fluctuations de pression qui est mesurée en pascals (Pa). Le son acoustique le plus faible qu'une oreille humaine saine peut détecter dépend fortement de la fréquence; à 1 kHz, il possède une amplitude de 20 μ Pa. Le seuil de la douleur correspond à une pression acoustique de plus d'un million de fois plus élevée. Par conséquent, pour éviter l'utilisation de grands nombres, l'échelle décibel (dB) est utilisée.

POWER TRANSFORMERS –

Part 10-1: Determination of sound levels – Application guide

1 Scope

This part of IEC 60076 provides supporting information to help both manufacturers and purchasers apply the measurement techniques described in IEC 60076-10. The sources and characteristics of transformer and reactor sound are described. Practical guidance on making measurements is given, and factors that may influence the accuracy of the methods are discussed. This application guide also clarifies those factors which should be agreed between manufacturer and purchaser when specifying a transformer or reactor, and indicates why values measured in the factory may differ from those measured on site.

This application guide is applicable to transformers and reactors together with their associated cooling auxiliaries.

2 Normative references

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

IEC 60076-10:2005, *Power transformers – Part 10: Determination of sound levels*

3 Basic physics of sound

3.1 Sound pressure, p

Sound may be defined as any pressure variation (in air, water or other elastic media) that the human ear can detect. The pressure variations travel through the medium (for the purposes of this document, air) from the source of the sound to the listener's ears. The number of cyclic pressure variations per second is called the 'frequency' of the sound, and is measured in hertz (Hz). The frequency of a sound produces its own distinctive tone or pitch. A transformer 'hum' is low frequency, fundamentally 100 Hz or 120 Hz, while a whistle is high frequency, typically above 3 kHz. The normal range of hearing for a healthy young person extends from approximately 20 Hz to 20 kHz.

A further characteristic used to describe a sound is the amplitude of the pressure fluctuations which is measured in pascals (Pa). The weakest sound that a healthy human ear can detect is strongly dependent on frequency; at 1 kHz it has an amplitude of 20 μ Pa. The threshold of pain corresponds to a sound pressure of more than a million times higher. Therefore, to avoid the use of large numbers, the decibel scale (dB) is used.