

**NORME  
INTERNATIONALE  
INTERNATIONAL  
STANDARD**

**CEI  
IEC**

**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**



Numéro de référence  
Reference number  
CEI/IEC 60076-10-1:2005

## Numérotation des publications

Depuis le 1er janvier 1997, les publications de la CEI sont numérotées à partir de 60000. Ainsi, la CEI 34-1 devient la CEI 60034-1.

## Editions consolidées

Les versions consolidées de certaines publications de la CEI incorporant les amendements sont disponibles. Par exemple, les numéros d'édition 1.0, 1.1 et 1.2 indiquent respectivement la publication de base, la publication de base incorporant l'amendement 1, et la publication de base incorporant les amendements 1 et 2.

## Informations supplémentaires sur les publications de la CEI

Le contenu technique des publications de la CEI est constamment revu par la CEI afin qu'il reflète l'état actuel de la technique. Des renseignements relatifs à cette publication, y compris sa validité, sont disponibles dans le Catalogue des publications de la CEI (voir ci-dessous) en plus des nouvelles éditions, amendements et corrigenda. Des informations sur les sujets à l'étude et l'avancement des travaux entrepris par le comité d'études qui a élaboré cette publication, ainsi que la liste des publications parues, sont également disponibles par l'intermédiaire de:

- **Site web de la CEI** ([www.iec.ch](http://www.iec.ch))
- **Catalogue des publications de la CEI**

Le catalogue en ligne sur le site web de la CEI ([www.iec.ch/searchpub](http://www.iec.ch/searchpub)) vous permet de faire des recherches en utilisant de nombreux critères, comprenant des recherches textuelles, par comité d'études ou date de publication. Des informations en ligne sont également disponibles sur les nouvelles publications, les publications remplacées ou retirées, ainsi que sur les corrigenda.

- **IEC Just Published**

Ce résumé des dernières publications parues ([www.iec.ch/online\\_news/justpub](http://www.iec.ch/online_news/justpub)) est aussi disponible par courrier électronique. Veuillez prendre contact avec le Service client (voir ci-dessous) pour plus d'informations.

- **Service clients**

Si vous avez des questions au sujet de cette publication ou avez besoin de renseignements supplémentaires, prenez contact avec le Service clients:

Email: [custserv@iec.ch](mailto:custserv@iec.ch)  
Tél: +41 22 919 02 11  
Fax: +41 22 919 03 00

## Publication numbering

As from 1 January 1997 all IEC publications are issued with a designation in the 60000 series. For example, IEC 34-1 is now referred to as IEC 60034-1.

## Consolidated editions

The IEC is now publishing consolidated versions of its publications. For example, edition numbers 1.0, 1.1 and 1.2 refer, respectively, to the base publication, the base publication incorporating amendment 1 and the base publication incorporating amendments 1 and 2.

## Further information on IEC publications

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC, thus ensuring that the content reflects current technology. Information relating to this publication, including its validity, is available in the IEC Catalogue of publications (see below) in addition to new editions, amendments and corrigenda. Information on the subjects under consideration and work in progress undertaken by the technical committee which has prepared this publication, as well as the list of publications issued, is also available from the following:

- **IEC Web Site** ([www.iec.ch](http://www.iec.ch))
- **Catalogue of IEC publications**

The on-line catalogue on the IEC web site ([www.iec.ch/searchpub](http://www.iec.ch/searchpub)) enables you to search by a variety of criteria including text searches, technical committees and date of publication. On-line information is also available on recently issued publications, withdrawn and replaced publications, as well as corrigenda.

- **IEC Just Published**

This summary of recently issued publications ([www.iec.ch/online\\_news/justpub](http://www.iec.ch/online_news/justpub)) is also available by email. Please contact the Customer Service Centre (see below) for further information.

- **Customer Service Centre**

If you have any questions regarding this publication or need further assistance, please contact the Customer Service Centre:

Email: [custserv@iec.ch](mailto:custserv@iec.ch)  
Tel: +41 22 919 02 11  
Fax: +41 22 919 03 00

**NORME  
INTERNATIONALE  
INTERNATIONAL  
STANDARD**

**CEI  
IEC**

**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 ÉLECTROTECHNIQUE 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.

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  $\mu$ 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  $\mu$ 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.

L'échelle dB est «logarithmique» et utilise un niveau de référence,  $p_0$ , de 20  $\mu\text{Pa}$ , qui correspond alors à 0 dB. Le niveau de pression acoustique  $L_p$  est défini dans l'équation 1 suivante:

$$L_p = 10 \lg \frac{p^2}{p_0^2} \quad (1)$$

où  $p$  est la pression acoustique mesurée par un microphone. La pression acoustique est une grandeur scalaire, ce qui signifie qu'elle possède l'amplitude seulement.

Un aspect utile de l'échelle décibel est qu'elle donne une meilleure approximation de la perception humaine du volume relatif en comparaison de l'échelle linéaire en pascal. Cela s'explique par le fait que l'oreille répond au son acoustique de manière logarithmique. Cependant, l'oreille humaine ne répond pas par la même quantité pour chaque fréquence, par conséquent un filtre approprié est exigé pour s'assurer que les mesures de microphone reflètent vraiment le son acoustique perçu par l'oreille. Un filtre normalisé internationalement, nommé «pondération A», compose cette exigence.

### 3.2 Vitesse de particules, $u$

Cette quantité décrit la vitesse d'oscillation des particules du milieu dans lequel les ondes acoustiques se propagent. Elle est mesurée en mètres par seconde,  $\text{ms}^{-1}$ .

### 3.3 Intensité acoustique, $I$

L'intensité acoustique est une grandeur vectorielle décrivant l'amplitude et le sens du flux total d'énergie acoustique dans une position donnée. C'est le produit moyen temporel de la pression acoustique et de la vitesse de particules à un point donné.

$$I = \overline{p \times u} \quad (2)$$

Elle est mesurée en watts par mètre carré,  $\text{Wm}^{-2}$ . Le sens du flux d'énergie est donné par l'angle de phase entre la pression acoustique et la vitesse de particules à l'endroit spécifique. (La pression acoustique peut être considérée comme analogue à la tension tandis que la vitesse de particules est analogue au courant quand on considère le flux de l'énergie électrique). L'intensité acoustique normale est le taux du flux d'énergie acoustique à travers une unité de surface, mesurée dans le sens perpendiculaire (c'est-à-dire à  $90^\circ$ ) par rapport à l'unité de surface spécifiée.

### 3.4 Puissance acoustique, $W$

Une source de bruit rayonne la puissance dans l'air environnant ayant pour résultat un champ de pression acoustique. La puissance acoustique est la cause. La pression acoustique est l'effet. La pression acoustique qui est entendue (ou mesurée avec un microphone) dépend de la distance de la source et de l'environnement acoustique. Par conséquent, la bruyance d'une source ne peut pas être quantifiée en mesurant simplement la pression acoustique seule. Par contre, il est nécessaire de déterminer sa puissance acoustique; celle-ci est indépendante de l'environnement et est un descripteur unique de bruyance d'une source sonore.

La puissance acoustique est le taux auquel l'énergie est rayonnée (énergie par unité de temps) et est mesurée en watts.