

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

**Power transformers –
Part 10: Determination of sound levels**

**Transformateurs de puissance –
Partie 10: Détermination des niveaux de bruit**

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60076-10:2001



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2001 IEC, Geneva, Switzerland

All rights reserved. Unless otherwise specified, 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 either IEC or IEC's member National Committee in the country of the requester.

If you have any questions about IEC copyright or have an enquiry about obtaining additional rights to this publication, please contact the address below or your local IEC member National Committee for further information.

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, 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 la CEI ou du Comité national de la CEI du pays du demandeur.

Si vous avez des questions sur le copyright de la CEI ou si vous désirez obtenir des droits supplémentaires sur cette publication, utilisez les coordonnées ci-après ou contactez le Comité national de la CEI de votre pays de résidence.

IEC Central Office
3, rue de Varembe
CH-1211 Geneva 20
Switzerland
Email: inmail@iec.ch
Web: www.iec.ch

About the IEC

The International Electrotechnical Commission (IEC) is the leading global organization that prepares and publishes International Standards for all electrical, electronic and related technologies.

About IEC publications

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC. Please make sure that you have the latest edition, a corrigenda or an amendment might have been published.

- Catalogue of IEC publications: www.iec.ch/searchpub

The IEC on-line Catalogue enables you to search by a variety of criteria (reference number, text, technical committee,...). It also gives information on projects, withdrawn and replaced publications.

- IEC Just Published: www.iec.ch/online_news/justpub

Stay up to date on all new IEC publications. Just Published details twice a month all new publications released. Available on-line and also by email.

- Electropedia: www.electropedia.org

The world's leading online dictionary of electronic and electrical terms containing more than 20 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary online.

- Customer Service Centre: www.iec.ch/webstore/custserv

If you wish to give us your feedback on this publication or need further assistance, please visit the Customer Service Centre FAQ or contact us:

Email: csc@iec.ch

Tel.: +41 22 919 02 11

Fax: +41 22 919 03 00

A propos de la CEI

La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) est la première organisation mondiale qui élabore et publie des normes internationales pour tout ce qui a trait à l'électricité, à l'électronique et aux technologies apparentées.

A propos des publications CEI

Le contenu technique des publications de la CEI est constamment revu. Veuillez vous assurer que vous possédez l'édition la plus récente, un corrigendum ou amendement peut avoir été publié.

- Catalogue des publications de la CEI: www.iec.ch/searchpub/cur_fut-f.htm

Le Catalogue en-ligne de la CEI vous permet d'effectuer des recherches en utilisant différents critères (numéro de référence, texte, comité d'études,...). Il donne aussi des informations sur les projets et les publications retirées ou remplacées.

- Just Published CEI: www.iec.ch/online_news/justpub

Restez informé sur les nouvelles publications de la CEI. Just Published détaille deux fois par mois les nouvelles publications parues. Disponible en-ligne et aussi par email.

- Electropedia: www.electropedia.org

Le premier dictionnaire en ligne au monde de termes électroniques et électriques. Il contient plus de 20 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans les langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International en ligne.

- Service Clients: www.iec.ch/webstore/custserv/custserv_entry-f.htm

Si vous désirez nous donner des commentaires sur cette publication ou si vous avez des questions, visitez le FAQ du Service clients ou contactez-nous:

Email: csc@iec.ch

Tél.: +41 22 919 02 11

Fax: +41 22 919 03 00

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

**Power transformers –
Part 10: Determination of sound levels**

**Transformateurs de puissance –
Partie 10: Détermination des niveaux de bruit**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX

V

ICS 29.180

ISBN 2-8318-8109-9

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	4
INTRODUCTION	8
1 Domaine d'application	12
2 Références normatives	12
3 Termes et définitions	14
4 Instrumentation et étalonnage	16
5 Choix de la méthode d'essai	16
6 Conditions de charge	18
6.1 Généralités	18
6.2 Courant à vide et tension assignée	18
6.3 Courant assigné et tension de court-circuit	18
6.4 Courant de charge réduite	20
7 Surface de rayonnement principale	20
7.1 Généralités	20
7.2 Transformateurs avec ou sans auxiliaire de refroidissement, transformateurs de type sec dans des enveloppes et transformateurs de type sec avec auxiliaires de refroidissement à l'intérieur de l'enveloppe	20
7.3 Auxiliaires de refroidissement montés sur une structure séparée espacée à une distance ≥ 3 m de la surface de rayonnement principale du transformateur	22
7.4 Transformateurs de type sec sans enveloppes	22
8 Contour prescrit	22
9 Positions de microphone	22
10 Calcul de la zone de la surface de mesure	24
10.1 Mesures effectuées à 0,3 m de la surface de rayonnement principale	24
10.2 Mesures effectuées à 2 m de la surface de rayonnement principale	24
10.3 Mesures effectuées à 1 m de la surface de rayonnement principale	24
10.4 Mesures sur des objets d'essai où les considérations de distance de sécurité exigent une distance de mesure qui pour tout ou partie des contours prescrits dépasse les dispositions de 10.1 à 10.3	24
11 Méthode de pression acoustique	26
11.1 Environnement d'essai	26
11.2 Mesures du niveau de la pression acoustique	30
11.3 Calcul du niveau de pression acoustique moyen	32
12 Méthode d'intensité acoustique	34
12.1 Environnement d'essai	34
12.2 Mesures du niveau d'intensité acoustique	36
12.3 Calcul du niveau d'intensité acoustique moyen	36
13 Calcul du niveau de puissance acoustique	38
14 Ajout des niveaux de puissance acoustique à courant à vide et de charge	38
15 Calculs en champ lointain	40
16 Présentation des résultats	40
 Annexe A (informative) Mesures à bande étroite et temps synchrone	 56
Annexe B (informative) Rapport type de la détermination du niveau acoustique	60

CONTENTS

FOREWORD.....	5
INTRODUCTION.....	9
1 Scope.....	13
2 Normative references	13
3 Terms and definitions	15
4 Instrumentation and calibration.....	17
5 Choice of test method.....	17
6 Load conditions	19
6.1 General	19
6.2 No-load current and rated voltage	19
6.3 Rated current and short-circuit voltage	19
6.4 Reduced-load current	21
7 Principal radiating surface	21
7.1 General	21
7.2 Transformers with or without cooling auxiliaries, dry-type transformers in enclosures and dry-type transformers with cooling auxiliaries inside the enclosure	21
7.3 Cooling auxiliaries mounted on a separate structure spaced ≥ 3 m away from the principal radiating surface of the transformer	23
7.4 Dry-type transformers without enclosures.....	23
8 Prescribed contour	23
9 Microphone positions.....	23
10 Calculation of the area of the measurement surface	25
10.1 Measurements made at 0,3 m from the principal radiating surface.....	25
10.2 Measurements made at 2 m from the principal radiating surface.....	25
10.3 Measurements made at 1 m from the principal radiating surface.....	25
10.4 Measurements on test objects where safety clearance considerations require a measurement distance which for all or part of the prescribed contour(s) exceeds the provisions of 10.1 to 10.3	25
11 Sound pressure method.....	27
11.1 Test environment.....	27
11.2 Sound pressure level measurements	31
11.3 Calculation of average sound pressure level	33
12 Sound intensity method	35
12.1 Test environment.....	35
12.2 Sound intensity level measurements	37
12.3 Calculation of average sound intensity level	37
13 Calculation of sound power level	39
14 Addition of no-load and load current sound power levels	39
15 Far-field calculations	41
16 Presentation of results.....	41
Annex A (informative) Narrow-band and time-synchronous measurements	57
Annex B (informative) Typical report of sound level determination	61

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

TRANSFORMATEURS DE PUISSANCE –

Partie 10: Détermination des niveaux de bruit

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 a été établie par le comité d'études 14 de la CEI: Transformateurs de puissance.

Cette première édition de la CEI 60076-10 annule et remplace la CEI 60551, publiée en 1987 et son amendement 1 (1995) et constitue une révision technique.

Cette version bilingue, publiée en 2005-07, correspond à la version anglaise.

Le texte anglais de cette norme est basé sur les documents 14/390/FDIS et 14/394/RVD. Le rapport de vote 14/394/RVD donne toute information sur le vote ayant abouti à l'approbation de cette norme.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

POWER TRANSFORMERS –

Part 10: Determination of sound levels

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 has been prepared by IEC technical committee 14: Power transformers.

This first edition of IEC 60076-10 cancels and replaces IEC 60551, published in 1987 and its amendment 1 (1995), and constitutes a technical revision.

This bilingual version, published in 2005-07, corresponds to the English version.

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

FDIS	Report on voting
14/390/FDIS	14/394/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.

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

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

La CEI 60076 comprend les parties suivantes, regroupées 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 manœuvre – Transformateurs de puissance et bobines d'inductance
- Partie 5: Tenue au court-circuit
- Partie 6: Reactors
- 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 11: Transformateurs de type sec
- 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

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.

The French version of this standard has not been voted upon.

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

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
- Part 7: Loading guide for oil-immersed power transformers
- Part 8: Application guide
- Part 10: Determination of sound levels
- Part 11: Dry-type transformers
- Part 13: Self protected liquid filled transformers
- Part 14: Design and application of liquid-immersed power transformers using high-temperature insulation materials

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.

INTRODUCTION

L'un des nombreux paramètres à prendre en considération lors de la conception et de l'implantation des transformateurs, des bobines d'inductance et de leur matériel de refroidissement associé est la quantité de son que le matériel est susceptible d'émettre dans des conditions de fonctionnement normal sur le site.

Sources acoustiques

Le son audible rayonné par des transformateurs est engendré par une combinaison de déformations à magnétostriction du noyau et des forces électromagnétiques dans les enroulements, les parois de cuves et les écrans magnétiques. Depuis toujours, le son engendré par le champ magnétique induisant des vibrations longitudinales dans les tôles de noyau a été prédominant. L'amplitude de ces vibrations dépend de la densité de flux dans les tôles et des propriétés magnétiques de l'acier du noyau, et est de ce fait indépendante du courant de charge. De récents progrès dans la conception de noyau, combinés à l'utilisation de niveaux d'induction faibles, ont réduit la quantité de son émis dans le noyau de sorte que le son provoqué par les forces électromagnétiques peut devenir significatif.

L'écoulement de courant dans les conducteurs à enroulement produit des forces électromagnétiques dans les enroulements. De plus, les champs magnétiques parasites peuvent induire des vibrations dans les composants structurels. La force (et par là même, l'amplitude des vibrations) est proportionnelle au carré du courant, et la puissance acoustique rayonnée est proportionnelle au carré de l'amplitude vibratoire. Par conséquent, la puissance acoustique rayonnée est fortement dépendante du courant de charge. Les vibrations dans les ensembles d'enroulement et de noyaux peuvent alors induire des oscillations de résonance dans les parois des cuves, les écrans magnétiques et les canalisations d'air (le cas échéant).

Dans le cas de bobines d'inductance séries ou shunt dans l'air, de type sec, le son est engendré par des forces électromagnétiques agissant sur les enroulements d'une manière similaire à celle décrite plus haut. Ces forces oscillatoires font vibrer l'inductance de manière à la fois axiale et radiale, les supports radiaux et axiaux ainsi que les tolérances de fabrication peuvent aboutir à l'excitation de modes en plus de ceux de symétrie de révolution. En cas d'inductances à noyau de fer, davantage de vibrations sont induites par des forces agissant dans le circuit magnétique. En cas d'inductances à noyau de fer, davantage de vibrations sont induites par des forces agissant dans le circuit magnétique.

Pour toutes usines électriques, il convient de bien saisir la conséquence de la présence d'harmoniques plus élevées sur l'alimentation électrique. Normalement, des vibrations se produisent aux harmoniques pairs de la fréquence industrielle, la première harmonique étant dominante. Si d'autres fréquences sont présentes dans l'alimentation électrique, d'autres forces peuvent être induites. Pour certaines applications, cela peut être significatif, en particulier du fait que l'oreille humaine est plus sensible à ces fréquences supérieures.

Tout équipement de refroidissement associé générera également du bruit en fonctionnement. Les ventilateurs et les pompes ont tous deux tendance à générer du bruit à large bande dû au débit d'air ou d'huile forcé.

Mesure du son

Des mesures de niveau acoustique ont été développées pour quantifier des variations de pression dans l'air que peut détecter l'oreille humaine. La variation de pression la plus faible qu'une oreille humaine saine peut détecter est de 20 μ Pa. Il s'agit du niveau de référence (0 dB) auquel sont comparés tous les autres niveaux. La sonie perçue d'un signal est dépendante de la sensibilité de l'oreille humaine à son spectre des fréquences. Les instruments de mesure modernes traitent des signaux acoustiques à travers les réseaux électroniques dont la sensibilité varie avec la fréquence d'une manière similaire à l'oreille humaine. Les instruments de mesure modernes traitent des signaux acoustiques à travers les réseaux électroniques dont la sensibilité varie avec la fréquence d'une manière similaire à l'oreille humaine. Cela a eu comme conséquence un certain nombre de pondérations normalisées sur le plan international desquelles le dispositif de pondération A est le plus commun.

INTRODUCTION

One of the many parameters to be considered when designing and siting transformers, reactors and their associated cooling equipment is the amount of sound that the equipment is likely to emit under normal operating conditions on site.

Sources of sound

The audible sound radiated by transformers is generated by a combination of magnetostrictive deformation of the core and electromagnetic forces in the windings, tank walls and magnetic shields. Historically, the sound generated by the magnetic field inducing longitudinal vibrations in the core laminations has been dominant. The amplitude of these vibrations depends on the flux density in the laminations and the magnetic properties of the core steel, and is therefore independent of the load current. Recent advances in core design, combined with the use of low induction levels, have reduced the amount of sound generated in the core such that the sound caused by the electromagnetic forces may become significant.

Current flowing in the winding conductors produces electromagnetic forces in the windings. In addition, stray magnetic fields may induce vibrations in structural components. The force (and therefore the amplitude of the vibrations) is proportional to the square of the current, and the radiated sound power is proportional to the square of the vibrational amplitude. Consequently, the radiated sound power is strongly dependent on the load current. Vibrations in core and winding assemblies can then induce sympathetic vibrations in tank walls, magnetic shields and air ducts (if present).

In the case of dry-type, air-cored shunt or series reactors, sound is generated by electromagnetic forces acting on the windings in a similar manner to that described above. These oscillatory forces cause the reactor to vibrate both axially and radially, and the axial and radial supports and manufacturing tolerances may result in the excitation of modes in addition to those of rotational symmetry. In the case of iron-cored reactors, further vibrations are induced by forces acting in the magnetic circuit.

For all electrical plants, the consequence of the presence of higher harmonics on the power supply should be understood. Normally, vibrations occur at even harmonics of the power frequency, with the first harmonic being dominant. If other frequencies are present in the power supply, other forces may be induced. For certain applications, this may be significant, particularly because the human ear is more sensitive to these higher frequencies.

Any associated cooling equipment will also generate noise when operating. Fans and pumps both tend to generate broad-band noise due to the forced flow of air or oil.

Measurement of sound

Sound level measurements have been developed to quantify pressure variations in air that a human ear can detect. The smallest pressure variation that a healthy human ear can detect is 20 μPa . This is the reference level (0 dB) to which all the other levels are compared. The perceived loudness of a signal is dependent upon the sensitivity of the human ear to its frequency spectrum. Modern measuring instruments process sound signals through electronic networks, the sensitivity of which varies with frequency in a manner similar to the human ear. This has resulted in a number of internationally standardized weightings of which the A-weighting network is the most common.

L'intensité acoustique est définie comme le débit de flux d'énergie par unité de surface et est mesurée en watts par mètre carré. Il s'agit d'une grandeur vectorielle tandis que la pression acoustique est une grandeur scalaire et est définie uniquement par son amplitude.

La puissance acoustique est le paramètre qui est utilisé pour évaluer et comparer les sources acoustiques. Il s'agit d'un descripteur de base d'une puissance acoustique de source et, par conséquent, d'une propriété physique absolue de la source seule qui est indépendante de tous facteurs externes tels que l'environnement et la distance au récepteur.

La puissance acoustique peut être calculée à partir des déterminations de pression acoustique ou d'intensité acoustique. Les mesures de l'intensité acoustique présentent les avantages suivants comparé aux mesures de la pression acoustique:

- un intensimètre répond seulement à la partie de propagation d'un champ acoustique et ignore toute partie de non propagation, par exemple les ondes stationnaires et les réflexions;
- la méthode réduit l'influence des sources acoustiques externes, tant que leur niveau acoustique est approximativement constant.

La méthode de la pression acoustique prend en compte ces influences par la correction des réflexions et du bruit de fond.

En vue d'une discussion approfondie de ces techniques de mesure, voir la CEI 60076-10-1: Détermination des niveaux de bruit – Guide d'application.

Sound intensity is defined as the rate of energy flow per unit area and is measured in watts per square metre. It is a vector quantity whereas, sound pressure is a scalar quantity and is defined only by its magnitude.

Sound power is the parameter which is used for rating and comparing sound sources. It is a basic descriptor of a source's acoustic output, and therefore an absolute physical property of the source alone which is independent of any external factors such as environment and distance to the receiver.

Sound power can be calculated from sound pressure or sound intensity determinations. Sound intensity measurements have the following advantages over sound pressure measurements:

- an intensity meter responds only to the propagating part of a sound field and ignores any non-propagating part, for example, standing waves and reflections;
- the intensity method reduces the influence of external sound sources, as long as their sound level is approximately constant.

The sound pressure method takes the above factors into account by correcting for background noise and reflections.

For a detailed discussion of these measuring techniques, see IEC 60076-10-1: Determination of sound levels – Application guide.

TRANSFORMATEURS DE PUISSANCE –

Partie 10: Détermination des niveaux de bruit

1 Domaine d'application

La présente partie de la CEI 60076 définit les méthodes de mesure de la pression acoustique et de l'intensité acoustique par lesquelles peuvent être déterminés les niveaux de puissance acoustique des transformateurs, bobines d'inductance et leurs auxiliaires de refroidissement associés.

NOTE Pour les besoins de la présente norme, il convient que le terme de « transformateur » soit utilisé dans le sens « transformateur ou bobine d'inductance ».

Les méthodes sont applicables aux transformateurs et bobines d'inductance couverts par la série CEI 60076, la CEI 60289, la CEI 60076-11 et la série CEI 61378, sans limite quant à la taille ou la tension et lorsqu'ils sont adaptés aux auxiliaires de refroidissement normaux.

Cette norme est principalement destinée aux mesures effectuées en usine. Les conditions sur le site peuvent être très différentes, à cause de la proximité des objets, y compris d'autres transformateurs. Néanmoins, les mêmes règles générales données dans cette norme peuvent être suivies lorsque sont effectuées des mesures sur le site.

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 (toutes les parties), *Transformateurs de puissance*

CEI 60076-1:1993, *Transformateurs de puissance – Partie 1: Généralités*

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

CEI 60289:1988, *Bobines d'inductance*

CEI 61043:1993, *Electroacoustique – Instruments pour la mesure de l'intensité acoustique – Mesure au moyen d'une paire de microphones de pression*

CEI 61378 (toutes les parties), *Transformateurs de conversion*

CEI 61672-1, *Electroacoustique – Sonomètres – Partie 1: Spécifications*

CEI 61672-2, *Electroacoustique – Sonomètres – Partie 2: Essais d'évaluation d'un modèle*

ISO 3746:1995, *Acoustique – Détermination des niveaux de puissance acoustique émis par les sources de bruit à partir de la pression acoustique – Méthode de contrôle employant une surface de mesure enveloppante au-dessus d'un plan réfléchissant*

ISO 9614-1:1993, *Acoustique – Détermination par intensimétrie des niveaux de puissance acoustique émis par les sources de bruit – Partie 1: Mesurages par points*

POWER TRANSFORMERS –

Part 10: Determination of sound levels

1 Scope

This part of IEC 60076 defines sound pressure and sound intensity measurement methods by which sound power levels of transformers, reactors and their associated cooling auxiliaries may be determined.

NOTE For the purpose of this standard, the term "transformer" means "transformer or reactor".

The methods are applicable to transformers and reactors covered by the IEC 60076 series, IEC 60289, IEC 60076-11 and the IEC 61378 series, without limitation as regards size or voltage and when fitted with their normal cooling auxiliaries.

This standard is primarily intended to apply to measurements made at the factory. Conditions on-site may be very different because of the proximity of objects, including other transformers. Nevertheless, the same general rules as are given in this standard may be followed when on-site measurements are made.

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 (all parts), *Power transformers*

IEC 60076-1:1993, *Power transformers – Part 1: General*

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

IEC 60289:1988, *Reactors*

IEC 61043:1993, *Electroacoustics – Instruments for the measurement of sound intensity – Measurement with pairs of pressure sensing microphones*

IEC 61378 (all parts), *Convertor transformers*

IEC 61672-1, *Electroacoustics – Sound level meters – Part 1: Specifications*

IEC 61672-2, *Electroacoustics – Sound level meters – Part 2: Pattern evaluation tests*

ISO 3746:1995, *Acoustics – Determination of sound power levels of noise sources using sound pressure – Survey method using an enveloping measurement surface over a reflecting plane*

ISO 9614-1:1993, *Acoustics – Determination of sound power levels of noise sources using sound intensity – Part 1: Measurement at discrete points*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les définitions de la CEI 60076-1 s'appliquent en complément de celles qui suivent:

3.1

pression acoustique

p

pression fluctuante superposée à la pression statique par la présence de son. Elle est exprimée en Pascals

3.2

niveau de pression acoustique

L_p

dix fois le logarithme décimal du rapport du carré de la pression acoustique au carré de la pression acoustique de référence ($p_0 = 20 \times 10^{-6}$ Pa). Il est mesuré en décibels

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

3.3

intensité acoustique

I

grandeur vectorielle décrivant la quantité et le sens du flux total d'énergie acoustique à une position donnée. L'unité est Wm^{-2}

3.4

intensité acoustique normale

I_n

composante de l'intensité acoustique dans le sens perpendiculaire à une surface de mesure

3.5

niveau d'intensité acoustique normale

L_I

dix fois le logarithme décimal du rapport de l'intensité acoustique normale à l'intensité acoustique de référence ($I_0 = 1 \times 10^{-12} Wm^{-2}$). Elle est exprimée en décibels

$$L_I = 10 \lg \frac{|I_n|}{I_0} \quad (2)$$

NOTE Lorsque I_n est négatif, le niveau est exprimé $-XX$ dB.

3.6

puissance acoustique

W

débit auquel l'énergie acoustique aérienne est rayonnée par une source. Elle est exprimée en watts

3.7

niveau de puissance acoustique

L_W

dix fois le logarithme décimal du rapport d'une puissance acoustique donnée à l'intensité acoustique de référence ($W_0 = 1 \times 10^{-12} W$). Elle est exprimée en décibels

$$L_W = 10 \lg \frac{W}{W_0} \quad (3)$$

3 Terms and definitions

For the purpose of this document, the definitions in IEC 60076-1, as well as the following definitions, apply.

3.1 sound pressure

p
fluctuating pressure superimposed on the static pressure by the presence of sound. It is expressed in pascals

3.2 sound pressure level

L_p
ten times the logarithm to the base 10 of the ratio of the square of the sound pressure to the square of the reference sound pressure ($p_0 = 20 \times 10^{-6}$ Pa). It is measured in decibels

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

3.3 sound intensity

I
vector quantity describing the amount and direction of the net flow of sound energy at a given position. The unit is Wm^{-2}

3.4 normal sound intensity

I_n
component of the sound intensity in the direction normal to a measurement surface

3.5 normal sound intensity level

L_I
ten times the logarithm to the base 10 of the ratio of the normal sound intensity to the reference sound intensity ($I_0 = 1 \times 10^{-12} \text{ Wm}^{-2}$). It is expressed in decibels

$$L_I = 10 \lg \frac{|I_n|}{I_0} \quad (2)$$

NOTE When I_n is negative, the level is expressed as $-XX$ dB.

3.6 sound power

W
rate at which airborne sound energy is radiated by a source. It is expressed in watts

3.7 sound power level

L_W
ten times the logarithm to the base 10 of the ratio of a given sound power to the reference sound power ($W_0 = 1 \times 10^{-12} \text{ W}$). It is expressed in decibels

$$L_W = 10 \lg \frac{W}{W_0} \quad (3)$$

3.8

surface de rayonnement principale

surface hypothétique entourant l'objet d'essai qui est supposée être la surface depuis laquelle le son est rayonné

3.9

contour prescrit

ligne horizontale sur laquelle les positions de mesure sont situées de façon espacée à une distance horizontale définie (« distance de mesure ») de la surface principale de rayonnement

3.10

distance de mesure

X

distance horizontale entre la surface principale de rayonnement et la « surface de mesure »

3.11

surface de mesure

surface hypothétique enveloppant la source et sur laquelle se situent les points de mesure

3.12

bruit de fond

niveau de pression acoustique pondérée A avec lequel l'objet d'essai est incapable de fonctionner

4 Instrumentation et étalonnage

Les mesures de pression acoustique doivent être effectuées au moyen d'un dispositif de mesure du niveau acoustique de type 1 satisfaisant à la CEI 61672-1 et la CEI 61672-2 et étalonnées conformément à 5.2 de l'ISO 3746.

Les mesures d'intensité acoustique doivent être effectuées au moyen d'instrument de mesure d'intensité acoustique de classe 1 satisfaisant à la CEI 61043 et étalonnés selon 6.2 de l'ISO 9614-1. La plage de fréquences du matériel de mesure doit être adaptée au spectre de fréquences de l'objet d'essai, c'est-à-dire qu'un système d'espacement de microphone approprié doit être choisi afin de minimiser les erreurs systématiques.

Le matériel de mesure doit être étalonné immédiatement avant et après la séquence de mesures. Si l'étalonnage change de plus de 0,3 dB, les mesures doivent être déclarées non valables et l'essai doit être renouvelé.

5 Choix de la méthode d'essai

Il est possible d'utiliser soit les mesures de pression acoustique soit celles de l'intensité acoustique pour déterminer la valeur du niveau de puissance acoustique. Les deux méthodes sont valables et l'une ou l'autre peut être utilisée, en fonction de l'accord entre le fabricant et l'acheteur, au moment de passer la commande.

La mesure par méthode de pression acoustique décrite dans cette norme est conforme à l'ISO 3746. Les mesures effectuées en conformité avec cette norme conduisent à un écart-type de reproductibilité entre les déterminations faites dans différents laboratoires, qui sont inférieures ou égales à 3 dB.

La mesure par méthode de pression acoustique décrite dans cette norme est conforme à l'ISO 9614-1. Les mesures effectuées en conformité avec cette norme conduisent à un écart-type de reproductibilité entre les déterminations faites dans différents laboratoires, qui sont inférieures ou égales à 3 dB.

3.8**principal radiating surface**

hypothetical surface surrounding the test object which is assumed to be the surface from which sound is radiated

3.9**prescribed contour**

horizontal line on which the measuring positions are located, spaced at a definite horizontal distance (the "measurement distance") from the principal radiating surface

3.10**measurement distance**

X

horizontal distance between the principal radiating surface and the "measurement surface"

3.11**measurement surface**

hypothetical surface enveloping the source and on which the measurement points are located

3.12**background noise**

A-weighted sound pressure level with the test object inoperative

4 Instrumentation and calibration

Sound pressure measurements shall be made using a type 1 sound level meter complying with IEC 61672-1 and IEC 61672-2 and calibrated in accordance with 5.2 of ISO 3746.

Sound intensity measurements shall be made using a class 1 sound intensity instrument complying with IEC 61043 and calibrated in accordance with 6.2 of ISO 9614-1. The frequency range of the measuring equipment shall be adapted to the frequency spectrum of the test object, that is, an appropriate microphone spacer system shall be chosen in order to minimize systematic errors.

The measuring equipment shall be calibrated immediately before and after the measurement sequence. If the calibration changes by more than 0,3 dB, the measurements shall be declared invalid and the test repeated.

5 Choice of test method

Either sound pressure or sound intensity measurements may be used to determine the value of the sound power level. Both methods are valid and either can be used, as agreed between manufacturer and purchaser at the time of placing the order.

The sound pressure method of measurement described in this standard is in accordance with ISO 3746. Measurements made in conformity with this standard tend to result in standard deviations of reproducibility between determinations made in different laboratories which are less than or equal to 3 dB.

The sound intensity method of measurement described in this standard is in accordance with ISO 9614-1. Measurements made in conformity with this standard tend to result in standard deviations of reproducibility between determinations made in different laboratories which are less than or equal to 3 dB.

6 Conditions de charge

6.1 Généralités

La ou les conditions de charge doivent être convenues entre le fabricant et l'acheteur au moment de la commande. Si un transformateur a un niveau acoustique à vide très faible, le son dû au courant de charge peut influencer le niveau acoustique total en service. La méthode à utiliser pour additionner les niveaux acoustiques de courant à vide et de charge est présentée à l'Article 14.

Le courant reçu par une bobine d'inductance dépend de la tension appliquée et, de ce fait, une bobine d'inductance ne peut pas être soumise à un essai à vide. Lorsqu'une puissance suffisante est disponible dans l'usine pour permettre la mise sous tension complète des bobines d'inductance, les méthodes à suivre sont les mêmes que celles destinées aux transformateurs. En variante, des mesures peuvent être effectuées sur le site, si les conditions sont adaptées.

Sauf spécification contraire, les essais doivent être effectués avec le changeur de prise en charge (le cas échéant) sur la prise de réglage principale. Cependant, cette position de prise peut ne pas donner le niveau acoustique maximal en service. De plus, lorsque le transformateur est en service, une superposition du flux en conditions à vide et du flux parasite se produit, ce qui cause une modification de densité de flux en certaines parties du noyau. Par conséquent, sous certaines conditions particulières de l'application prévue d'un transformateur (en particulier, la variation de tension à flux variable), il peut être convenu de mesurer les niveaux acoustiques sur une prise de réglage autre que la prise de réglage principale, ou avec une tension autre que la tension assignée sur un enroulement sans prise. Cela doit être clairement indiqué dans le rapport d'essai.

6.2 Courant à vide et tension assignée

S'agissant des mesures effectuées sur l'objet d'essai avec ou sans installation de refroidissement auxiliaire, l'objet d'essai doit être à vide et excité à une tension assignée de forme d'onde sinusoïdale ou pratiquement sinusoïdale et de fréquence assignée. La tension doit être conforme à 10.5 de la CEI 60076-1. Si un transformateur est équipé d'un équipement de changeur de prise en charge de type inductance où l'inductance peut être en permanence sous tension sur certaines positions de changement de prise, les mesures doivent être effectuées avec le transformateur sur une prise de réglage qui implique cette condition et aussi proche que possible de la prise principale. La tension d'excitation doit être appropriée à la prise de réglage en cours d'utilisation. Il est nécessaire de l'indiquer clairement dans le rapport d'essai.

NOTE Des courants c.c de polarisation peuvent causer une augmentation importante des niveaux acoustiques mesurés. Leur présence peut être vérifiée par l'existence d'harmoniques impaires de la fréquence industrielle dans le spectre acoustique. Il convient que le fabricant et l'acheteur évaluent les implications de l'augmentation des niveaux acoustiques due aux courants c.c de polarisation.

Pour les applications en Amérique du Nord, les essais de niveaux acoustiques doivent être effectués à vide selon les exigences nationales.

6.3 Courant assigné et tension de court-circuit

Afin de décider s'il est important de réaliser des mesures acoustiques à courant de charge, l'amplitude du niveau de puissance acoustique à courant de charge peut être approximativement estimée au moyen de la formule (4):

$$L_{WA,IN} \approx 39 + 18 \lg \frac{S_r}{S_p} \quad (4)$$

où

$L_{WA,IN}$ est le niveau de puissance acoustique pondérée A du transformateur à courant assigné, fréquence assignée et tension d'impédance;

S_r est la puissance assignée en mégavolts ampères (MVA);

6 Load conditions

6.1 General

Load condition(s) shall be agreed between the manufacturer and purchaser at the time of placing the order. If a transformer has a very low no-load sound level, the sound due to load current can influence the total sound level in service. The method to be used for summing the no-load and load current sound levels is given in Clause 14.

Current taken by a reactor is dependent on the voltage applied and consequently, a reactor cannot be tested at no-load. Where sufficient power is available in the factory to permit full energization of reactors, the methods to be followed are the same as those for transformers. Alternatively, measurements may be made on-site if conditions are suitable.

Unless otherwise specified, the tests shall be carried out with the tap-changer (if any) on the principal tapping. However, this tap position may not give the maximum sound level in service. In addition, when the transformer is in service, a superposition of the flux at no-load conditions and the stray flux occurs which causes a change in the flux density in certain parts of the core. Therefore, under special conditions of intended application of a transformer (particularly variable flux voltage variation), it may be agreed to measure the sound levels on a tapping other than the principal tapping, or with a voltage other than the rated voltage on an untapped winding. This shall be clearly indicated in the test report.

6.2 No-load current and rated voltage

For measurements made on the test object with or without its auxiliary cooling plant, the test object shall be on no-load and excited at the rated voltage of sinusoidal or practically sinusoidal waveform and rated frequency. The voltage shall be in accordance with 10.5 of IEC 60076-1. If a transformer is fitted with reactor-type on-load tap-changer equipment where the reactor may on certain tap-change positions be permanently energized, the measurements shall be made with the transformer on a tapping which involves this condition and which is as near to the principal tapping as possible. The excitation voltage shall be appropriate to the tapping in use. This shall be clearly indicated in the test report.

NOTE DC bias currents may cause a significant increase in the measured sound levels. Their presence may be verified by the existence of odd harmonics of the power frequency in the sound spectrum. The implications of increased sound levels due to d.c. bias currents should be taken into consideration by both the manufacturer and purchaser.

For North American applications, the sound level tests shall be made at no-load in accordance with national requirements.

6.3 Rated current and short-circuit voltage

In order to decide whether it is significant to perform load current sound measurements, the magnitude of the load current sound power level can be roughly estimated by equation (4):

$$L_{WA,IN} \approx 39 + 18 \lg \frac{S_r}{S_p} \quad (4)$$

where

$L_{WA,IN}$ is the A-weighted sound power level of the transformer at rated current, rated frequency and impedance voltage;

S_r is the rated power in megavolt amperes (MVA);

S_p est la puissance de référence (1 MVA).

Pour les autotransformateurs et transformateurs à trois enroulements, la puissance assignée de deux enroulements, S_t , est utilisée à la place de S_r .

Si $L_{WA,IN}$ s'avère être de 8 dB ou plus au-dessous du niveau de puissance acoustique garanti, les mesures acoustiques à courant de charge ne sont pas appropriées.

Lorsque ces mesures sont prescrites, un enroulement doit être court-circuité et une tension sinusoïdale comme défini en 10.5 de la CEI 60076-1 doit être appliquée à l'autre enroulement à fréquence assignée. Il est nécessaire d'augmenter la tension graduellement jusqu'à ce que le courant assigné circule dans le premier enroulement.

6.4 Courant de charge réduite

Si les mesures peuvent seulement être réalisées à un courant réduit, le niveau de puissance acoustique au courant assigné doit être calculé par la formule (5):

$$L_{WA,IN} = L_{WA,IT} + 40 \lg \frac{I_N}{I_T} \quad (5)$$

où

$L_{WA,IN}$ est le niveau de puissance acoustique pondérée A à courant assigné;

$L_{WA,IT}$ est le niveau de puissance acoustique pondérée A à courant réduit;

I_N est le courant assigné;

I_T est le courant réduit;

L'équation est valable pour un courant réduit ≥ 70 % du courant assigné.

7 Surface de rayonnement principale

7.1 Généralités

La définition de la surface de rayonnement principale dépend du type d'auxiliaire de refroidissement employé et de leur position par rapport au transformateur. Pour les besoins de cette norme, les « auxiliaires de refroidissement » doivent inclure les auxiliaires de refroidissement par ventilation forcée et le refroidissement à huile sous pression, ainsi que l'équipement de refroidissement par eau, et exclure le refroidissement par air naturel et huile naturelle.

7.2 Transformateurs avec ou sans auxiliaire de refroidissement, transformateurs de type sec dans des enveloppes et transformateurs de type sec avec auxiliaires de refroidissement à l'intérieur de l'enveloppe

La surface de rayonnement principale est la surface obtenue par la projection verticale d'un contour en chaîne encerclant le matériel. La projection circule du haut du couvercle de la cuve du transformateur (à l'exclusion des traversées, des tourelles et autres accessoires situés au-dessus du couvercle de cuve) jusqu'à la base de la cuve. La surface de rayonnement principale doit inclure les auxiliaires de refroidissement situés à une distance < 3 m de la cuve du transformateur, des raidisseurs de cuve et des équipements auxiliaires tels que les boîtiers de câbles, les changeurs de prise en charge, etc. Elle doit exclure tous auxiliaires de refroidissement situés à une distance ≥ 3 m de la cuve de transformateur. Des projections telles que des traversées, des tuyauteries et conservateurs d'huile, des soubassements de cuve ou de refroidisseur, des vannes, des armoires de commande et autres éléments secondaires doivent également être exclus (voir Figures 1, 2 et 3).

S_p is the reference power (1 MVA).

For auto-transformers and three winding transformers, the two winding rated power, S_t , is used instead of S_r .

If $L_{WA,IN}$ is found to be 8 dB or more below the guaranteed sound power level, load current sound measurements are not appropriate.

When these measurements are required, one winding shall be short-circuited and a sinusoidal voltage as defined in 10.5 of IEC 60076-1 applied to the other winding at the rated frequency. The voltage shall be gradually increased until rated current flows in the short-circuited winding.

6.4 Reduced-load current

If the measurements can only be performed at a reduced current, the sound power level at the rated current shall be calculated by equation (5):

$$L_{WA,IN} = L_{WA,IT} + 40 \lg \frac{I_N}{I_T} \quad (5)$$

where

$L_{WA,IN}$ is the A-weighted sound power level at rated current;

$L_{WA,IT}$ is the A-weighted sound power level at reduced current,

I_N is the rated current;

I_T is the reduced current.

The equation is valid for a reduced current of ≥ 70 % of the rated current.

7 Principal radiating surface

7.1 General

The definition of the principal radiating surface depends on the type of cooling auxiliaries employed and their position relative to the transformer. For the purpose of this standard, "cooling auxiliaries" shall include forced air and forced oil cooling auxiliaries and water cooling equipment, and shall exclude natural air and natural oil cooling.

7.2 Transformers with or without cooling auxiliaries, dry-type transformers in enclosures and dry-type transformers with cooling auxiliaries inside the enclosure

The principal radiating surface is the surface obtained by the vertical projection of a string contour encircling the equipment. The projection runs from the top of the transformer tank cover (excluding bushings, turrets and other accessories situated above the tank cover) to the base of the tank. The principal radiating surface shall include cooling auxiliaries located < 3 m away from the transformer tank, tank stiffeners and such auxiliary equipment as cable boxes, tap-changers, etc. It shall exclude any cooling auxiliaries located ≥ 3 m away from the transformer tank. Projections such as bushings, oil pipework and conservators, tank or cooler underbases, valves, control cubicles and other secondary elements shall also be excluded, (see Figures 1, 2 and 3).

7.3 Auxiliaires de refroidissement montés sur une structure séparée espacée à une distance ≥ 3 m de la surface de rayonnement principale du transformateur

La surface de rayonnement principale est la surface obtenue par la projection verticale d'un contour en chaîne encerclant l'équipement, mais excluant les conservateurs d'huile, les structures, la tuyauterie, les vannes et autres éléments secondaires. La projection verticale doit se situer du haut de la structure de refroidissement à la base des parties actives (voir Figure 4).

7.4 Transformateurs de type sec sans enveloppes

La surface principale de rayonnement est la surface obtenue par la projection d'un contour en chaîne encerclant le transformateur de type sec, à l'exclusion de la structure, du câblage externe et des connexions externes et des appareils fixés n'affectant pas le rayonnement acoustique. La projection verticale doit se situer du haut de la structure de refroidissement à la base des parties actives (voir Figure 5).

8 Contour prescrit

S'agissant des mesures effectuées avec des auxiliaires de refroidissement à ventilation forcée (le cas échéant) hors service, le contour prescrit doit être espacé de 0,3 m de la surface de rayonnement principale, sauf si, pour des raisons de sécurité associées aux unités de type sec sans enveloppes, on choisit 1 m.

Pour les mesures effectuées avec des auxiliaires de refroidissement à ventilation forcée en service, le contour prescrit doit être espacé de 2 m de la surface de rayonnement principale.

Pour les transformateurs dont la hauteur de cuve est $\leq 2,5$ m, le contour prescrit doit se situer sur un plan horizontal à la moitié de la hauteur de cuve. S'agissant de transformateurs dont la hauteur de cuve est $\geq 2,5$ m, deux contours prescrits doivent être utilisés se situant sur des plans horizontaux au tiers et deux tiers de la hauteur de cuve, à moins que l'on ne choisisse une hauteur plus faible pour des raisons de sécurité.

Pour des mesures faites avec des auxiliaires de refroidissement uniquement alimentés, le contour prescrit pour structures de refroidissement avec une hauteur totale < 4 m (à l'exclusion des conservateurs d'huile, des tuyauteries, etc.) doit être situé sur un plan horizontal à mi hauteur. Pour des structures de refroidissement d'une hauteur totale ≥ 4 m (à l'exclusion des conservateurs d'huile, des tuyauteries, etc.), deux contours prescrits doivent être utilisés se situant sur deux plans horizontaux à un tiers et deux tiers de la hauteur, sauf si, pour des raisons de sécurité, on choisit une hauteur plus faible.

NOTE Il peut être nécessaire de modifier les positions d'essai pour certains objets d'essai pour des raisons de sécurité, par exemple, dans le cas de transformateurs avec des traversées horizontales à haute tension, le ou les contours peuvent être confinés dans la zone de sécurité.

9 Positions de microphone

Les positions de microphone doivent se situer sur le ou les contours prescrits, espacées de façon approximativement égales et séparées de moins de 1 m, (voir dimension D aux Figures 1 à 5). Il doit exister au minimum six positions de microphone.

Il est possible d'utiliser un appareil de mesure de type à mémoire avec dispositif de moyenne. Le microphone doit être déplacé à une vitesse approximativement constante sur le ou les contours prescrits autour de l'objet d'essai. Le nombre d'échantillons ne doit pas être inférieur au nombre de positions de microphone spécifié ci-dessus. Seule la moyenne d'énergie est consignée dans le rapport d'essai.

7.3 Cooling auxiliaries mounted on a separate structure spaced ≥ 3 m away from the principal radiating surface of the transformer

The principal radiating surface is the surface obtained by the vertical projection of a string contour encircling the equipment but excluding oil conservators, framework, pipework, valves and other secondary elements. The vertical projection shall be from the top of the cooler structure to the base of the active parts (see Figure 4).

7.4 Dry-type transformers without enclosures

The principal radiating surface is the surface obtained by the vertical projection of a string contour encircling the dry-type transformer excluding framework, external wiring and connections and attached apparatus not affecting the sound radiation. The vertical projection shall be from the top of the transformer structure to the base of the active part (see Figure 5).

8 Prescribed contour

For measurements made with forced air cooling auxiliaries (if any) out of service, the prescribed contour shall be spaced 0,3 m away from the principal radiating surface unless, for safety reasons associated with dry-type units without enclosures, 1 m is chosen.

For measurements made with forced air cooling auxiliaries in service, the prescribed contour shall be spaced 2 m away from the principal radiating surface.

For transformers with a tank height of $< 2,5$ m, the prescribed contour shall be on a horizontal plane at half the tank height. For transformers with a tank height $\geq 2,5$ m, two prescribed contours shall be used which are on horizontal planes at one-third and two-thirds of the tank height unless, for safety reasons, a lower height is chosen.

For measurements made with the cooling auxiliaries only energized, the prescribed contour for cooler structures with an overall height of < 4 m (excluding oil conservators, pipework, etc.) shall be on a horizontal plane at half the height. For cooler structures with an overall height of ≥ 4 m (excluding oil conservators, pipework, etc.), two prescribed contours shall be used which are on horizontal planes at one-third and two-thirds of the height, unless for safety reasons, a lower height is chosen.

NOTE It may be necessary to modify the measuring positions for certain test objects on safety grounds, for example, in the case of transformers with horizontal high voltage bushings, the contour(s) may be confined to the safe zone.

9 Microphone positions

The microphone positions shall be on the prescribed contour(s), approximately equally spaced and not more than 1 m apart, (see dimension D in Figures 1 to 5). There shall be a minimum of six microphone positions.

Storage-type measuring equipment with an averaging device may be used. The microphone shall be moved with approximately constant speed on the prescribed contour(s) around the test object. The number of samples shall be not less than the number of microphone positions specified above. Only the energy average shall be recorded in the test report

10 Calcul de la zone de la surface de mesure

10.1 Mesures effectuées à 0,3 m de la surface de rayonnement principale

La zone S de la surface de mesure, exprimée en mètres carrés, est donnée par la formule (6):

$$S = 1,25 h l_m \quad (6)$$

où

h est soit la hauteur en mètres de la cuve du transformateur (Figures 1, 2 ou 3) soit, pour les transformateurs de type sec sans enveloppes (Figure 5), la hauteur en mètres du noyau et de sa structure;

l_m est la longueur en mètres du contour prescrit;

1,25 est un facteur empirique destiné à prendre en compte l'énergie acoustique rayonnée par la partie supérieure de l'objet d'essai.

10.2 Mesures effectuées à 2 m de la surface de rayonnement principale

La zone S de la surface de mesure, exprimée en mètres carrés, est donnée par la formule (7):

$$S = (h + 2) l_m \quad (7)$$

où

h est soit la hauteur en mètres de la cuve de transformateur (Figure 2 ou 3) soit la hauteur en mètres des auxiliaires de refroidissement, y compris les ventilateurs (Figure 4);

l_m est la longueur en mètres du contour prescrit;

2 est la distance de mesure en mètres.

10.3 Mesures effectuées à 1 m de la surface de rayonnement principale

La zone S de la surface de mesure, exprimée en mètres carrés, est donnée par la formule (8):

$$S = (h + 1) l_m \quad (8)$$

où

h est la hauteur en mètres du noyau avec structure (Figure 5);

l_m est la longueur en mètres du contour prescrit;

1 est la distance de mesure en mètres.

10.4 Mesures sur des objets d'essai où les considérations de distance de sécurité exigent une distance de mesure qui pour tout ou partie des contours prescrits dépasse les dispositions de 10.1 à 10.3

La zone S de la surface de mesure, exprimée en mètres carrés, est donnée par la formule (9):

$$S = \frac{3}{4\pi} l_m^2 \quad (9)$$

où l_m est la longueur en mètres du contour prescrit, comme l'imposent les distances de sécurité.

10 Calculation of the area of the measurement surface

10.1 Measurements made at 0,3 m from the principal radiating surface

The area S of the measurement surface, expressed in square metres, is given by equation (6):

$$S = 1,25 \, h l_m \quad (6)$$

where

h is either the height in metres of the transformer tank (Figures 1, 2 or 3) or, for dry-type transformers without enclosures (Figure 5), the height in metres of the core and its framework;

l_m is the length in metres of the prescribed contour;

1,25 is an empirical factor intended to take account of the sound energy radiated by the upper part of the test object.

10.2 Measurements made at 2 m from the principal radiating surface

The area S of the measurement surface, expressed in square metres, is given by equation (7):

$$S = (h + 2) l_m \quad (7)$$

where

h is either the height in metres of the transformer tank (Figure 2 or 3), or the height in metres of the cooling auxiliaries including fans (Figure 4);

l_m is the length in metres of the prescribed contour;

2 is the measurement distance in metres.

10.3 Measurements made at 1 m from the principal radiating surface

The area S of the measurement surface, expressed in square metres, is given by equation (8):

$$S = (h + 1) l_m \quad (8)$$

where

h is the height in metres of the core with framework (Figure 5);

l_m is the length in metres of the prescribed contour;

1 is the measurement distance in metres.

10.4 Measurements on test objects where safety clearance considerations require a measurement distance which for all or part of the prescribed contour(s) exceeds the provisions of 10.1 to 10.3

The area S of the measurement surface, expressed in square metres, is calculated by equation (9):

$$S = \frac{3}{4\pi} l_m^2 \quad (9)$$

where l_m is the length in metres of the prescribed contour as dictated by safety clearances.

11 Méthode de pression acoustique

11.1 Environnement d'essai

11.1.1 Généralités

Un environnement fournissant un champ approximativement libre sur un plan de réflexion doit être utilisé. L'environnement d'essai doit idéalement fournir une surface de mesure qui se situe à l'intérieur d'un champ acoustique essentiellement non perturbé par des réflexions provenant d'objets environnants et des limites d'environnement. Par conséquent, les objets de réflexion (à l'exception de la surface de support) doivent être enlevés, dans la mesure du possible, de l'objet d'essai.

Les mesures dans les éléments de transformateur ou dans les enveloppes ne sont pas autorisées.

S'agissant des mesures intérieures, les exigences de 11.1.2 doivent être satisfaites. Quant aux mesures extérieures dans une zone d'essai, les exigences de 11.1.3 doivent être satisfaites.

11.1.2 Conditions relatives aux mesures intérieures

11.1.2.1 Plans de réflexion

Le plan de réflexion est habituellement le plancher de la salle et doit être plus grand que la projection de la surface de mesure située dessus.

NOTE Il convient de prendre des précautions afin de s'assurer que la surface de support ne rayonne pas une énergie acoustique conséquente du fait de vibrations.

Le coefficient d'absorption acoustique doit de préférence être inférieur à 0,1 sur la plage de fréquence concernée. Cette exigence est habituellement remplie lorsque des mesures intérieures sont effectuées sur des sols en béton, en acier, en résine ou en carrelage dur.

11.1.2.2 Calcul de la correction environnementale K

La correction environnementale K représente l'influence de réflexions acoustiques non désirée provenant des limites de la salle et/ou des objets réfléchissants à proximité de l'objet d'essai. L'amplitude de K dépend principalement du rapport de la zone d'absorption acoustique de la salle d'essai, A , avec la zone de surface de mesure S . L'amplitude calculée de K ne dépend pas fortement de l'emplacement de l'objet d'essai dans la salle d'essai.

K doit être obtenu à partir de l'équation (10) ou la Figure 6 en faisant entrer l'abscisse avec la valeur appropriée de A/S .

$$K = 10 \lg \left(1 + \frac{4}{A/S} \right) \quad (10)$$

La valeur de S doit être calculée à partir de l'équation appropriée, à partir des équations (6), (7), (8) ou (9). La valeur de A en mètres carrés est donnée par la formule:

$$A = \alpha S_v \quad (11)$$

où

α est le coefficient d'absorption acoustique moyen (voir Tableau 1);

S_v est la zone totale de la surface de la salle d'essai (murs, plafonds et sols) en mètres carrés.

11 Sound pressure method

11.1 Test environment

11.1.1 General

An environment providing an approximately free field over a reflecting plane shall be used. The test environment shall ideally provide a measurement surface which lies inside a sound field essentially undisturbed by reflections from nearby objects and the environment boundaries. Therefore, reflecting objects (with the exception of the supporting surface) shall be removed as far as possible from the test object.

Measurements inside transformer cells or enclosures are not allowed.

For indoor measurements, the requirements of 11.1.2 shall be met. For outdoor measurements in a test area, the requirements of 11.1.3 shall be met.

11.1.2 Conditions for indoor measurements

11.1.2.1 Reflecting planes

The reflecting plane is usually the floor of the room and shall be larger than the projection of the measurement surface upon it.

NOTE Care should be taken to ensure that the supporting surface does not radiate an appreciable sound energy due to vibration.

The acoustic absorption coefficient shall preferably be less than 0,1 over the frequency range concerned. This requirement is usually fulfilled when indoor measurements are made over concrete, resin, steel or hard tile flooring.

11.1.2.2 Calculation of environmental correction K

The environmental correction K accounts for the influence of undesired sound reflections from room boundaries and/or reflecting objects near the test object. The magnitude of K depends principally on the ratio of the sound absorption area of the test room, A , to the area of the measurement surface, S . The calculated magnitude of K does not depend strongly on the location of the test object in the test room.

K shall be obtained from equation (10) or Figure 6 by entering the abscissa with the appropriate value of A/S .

$$K = 10 \lg \left(1 + \frac{4}{A/S} \right) \quad (10)$$

The value of S shall be calculated from the appropriate equation (equation (6), (7), (8) or (9)). The value of A in square metres is given by equation (11):

$$A = \alpha S_v \quad (11)$$

where

α is the average acoustic absorption coefficient (see Table 1);

S_v is the total area of the surface of the test room (walls, ceilings and floors) in square metres.

Tableau 1 – Valeurs approximatives du coefficient d'absorption acoustique moyen

Description de la salle	Coefficient d'absorption acoustique moyen, α
Salle pratiquement vide avec des murs solides lisses en béton, briques, plâtre ou céramique	0,05
Salle partiellement vide, salle à murs lisses	0,1
Salle avec des meubles, salle des machines rectangulaire, salle industrielle rectangulaire	0,15
Salle de forme irrégulière avec des meubles, salle avec des machines ou salle industrielle de formes irrégulières	0,2
Salle avec des meubles rembourrés, salle des machines ou industrielle avec une petite quantité de matériau acoustique (par exemple plafond partiellement absorbant) sur le plafond ou les murs	0,25
Salle avec matériaux acoustique à la fois sur les plafonds et murs	0,35
Salle avec grandes quantités de matériaux acoustiques sur plafonds et murs	0,5

Si l'on souhaite une valeur mesurée de la zone d'absorption acoustique A , on peut la déterminer en mesurant le temps de réverbération de la salle d'essai qui est excitée par le son à large bande ou un son impulsif avec une pondération A sur le système de réception. La valeur de A est donnée en mètres carrés par l'expression (12) suivante:

$$A = 0,16 (V/T) \quad (12)$$

où

V est le volume de la salle d'essai en mètres cubes;

T est le temps de réverbération de la salle d'essai en secondes.

Pour qu'une salle d'essai soit satisfaisante, A/S doit être ≥ 1 . Il en résulte une valeur pour le facteur de correction environnementale $K \leq 7$ dB.

S'agissant de salles très grandes et d'espaces de travail qui ne sont pas totalement fermés, la valeur de K approche 0 dB.

11.1.2.3 Méthode alternative pour le calcul de correction environnementale K

K peut être calculé en déterminant le niveau de puissance acoustique apparente d'une source acoustique de référence qui a été précédemment étalonnée dans un champ libre sur un plan réfléchissant. Dans ce cas:

$$K = L_{Wm} - L_{Wr} \quad (13)$$

où

L_{Wm} est le niveau de puissance acoustique de la source acoustique de référence, déterminé selon les Articles 7 et 8 de l'ISO 3746 sans la correction environnementale K , c'est-à-dire que l'on suppose initialement que $K = 0$;

L_{Wr} est le niveau de puissance acoustique apparente de la source acoustique de référence.

11.1.3 Conditions relatives aux mesures extérieures

11.1.3.1 Plans réfléchissants

Le plan réfléchissant doit être soit la terre non perturbée soit une surface artificielle telle que le béton ou l'asphalte étanche et il doit être plus grand que la projection de la surface de mesure située dessus.

Table 1 – Approximate values of the average acoustic absorption coefficient

Description of room	Average acoustic absorption coefficient, α
Nearly empty room with smooth hard walls made of concrete, brick, plaster or tile	0,05
Partly empty room with smooth walls	0,1
Room with furniture, rectangular machinery room, rectangular industrial room	0,15
Irregularly shaped room with furniture, irregularly shaped machinery room or industrial room	0,2
Room with upholstered furniture, machinery or industrial room with a small amount of acoustic material (for example partially absorptive ceiling) on ceiling or walls	0,25
Room with acoustic materials on both ceilings and walls	0,35
Room with large amounts of acoustic material on ceilings and walls	0,5

If a measured value of the sound absorption area A is desired, it may be determined by measuring the reverberation time of the test room which is excited by broad-band sound or an impulsive sound with A-weighting on the receiving system. The value of A is given in square metres by equation (12):

$$A = 0,16 (V/T) \quad (12)$$

where

V is the volume of the test room in cubic metres;

T is the reverberation time of the test room in seconds.

For a test room to be satisfactory, A/S shall be ≥ 1 . This will give a value for the environmental correction factor $K \leq 7$ dB.

For very large rooms, and work spaces which are not totally enclosed, the value of K approaches 0 dB.

11.1.2.3 Alternative method for calculation of environmental correction K

K may be calculated by determining the apparent sound power level of a reference sound source which has previously been calibrated in a free field over a reflecting plane. In this case:

$$K = L_{Wm} - L_{Wr} \quad (13)$$

where

L_{Wm} is the sound power level of the reference sound source, determined according to Clauses 7 and 8 of ISO 3746 without the environmental correction K , that is, it is initially assumed that $K = 0$;

L_{Wr} is the apparent sound power level of the reference sound source.

11.1.3 Conditions for outdoor measurements

11.1.3.1 Reflecting planes

The reflecting plane shall be either undisturbed earth or an artificial surface such as concrete or sealed asphalt and shall be larger than the projection of the measurement surface upon it.

Le coefficient d'absorption acoustique doit être de préférence inférieur à 0,1 sur la plage de fréquences concernée. Cette exigence est habituellement remplie lorsque les mesures extérieures sont effectuées sur des surfaces en béton, en asphalte étanche, sable ou pierre.

11.1.3.2 Correction environnementale K

Pour des mesures à l'extérieur dans un champ acoustique qui est nécessairement non perturbé par des réflexions provenant d'objets environnants et des limites d'environnement, K est approximativement égal à zéro. Si le champ acoustique est affecté par des réflexions, K doit être déterminé selon la méthode décrite en 11.1.2.3 ou bien la méthode d'intensité acoustique doit être utilisée.

11.1.3.3 Précautions concernant les mesures extérieures

Les mesures ne doivent pas être réalisées sous des conditions météorologiques extrêmes, par exemple en présence de gradients de température, de gradients du vent, de précipitations ou d'humidité importante.

11.2 Mesures du niveau de la pression acoustique

Il est nécessaire de prendre les mesures lorsque le bruit de fond est approximativement constant.

Le niveau de pression acoustique pondérée A du bruit de fond doit être mesuré immédiatement avant les mesures sur l'objet d'essai. La ou les hauteurs du ou des microphones pendant les mesures de bruits de fond doivent être les mêmes que pour les mesures des niveaux acoustiques de l'objet d'essai, et les mesures du bruit de fond doivent être prises en des points situés sur le ou les contours prescrits.

NOTE 1 Lorsque le nombre total de positions de mesure dépasse 10, il est autorisé de mesurer le niveau de bruit de fond en seulement 10 positions également réparties autour de l'objet d'essai.

NOTE 2 Si le niveau de pression du bruit de fond est manifestement plus faible que le niveau de pression acoustique combiné du fond et de l'objet d'essai (c'est-à-dire si la différence est supérieure à 10 dB), les mesures du bruit de fond peuvent être réalisées en une seule des positions de mesure et aucune correction du niveau acoustique mesuré de l'équipement n'est nécessaire.

L'objet d'essai doit être alimenté comme convenu par le fabricant et l'acheteur. Les combinaisons autorisées sont les suivantes:

- a) transformateur sous tension, équipement de refroidissement et toutes pompes de circulation d'huile hors service;
- b) transformateur sous tension, équipement de refroidissement et toutes pompes de circulation d'huile en service;
- c) transformateur sous tension, équipement de refroidissement hors service, pompes de circulation d'huile en service;
- d) transformateur hors tension, équipement de refroidissement et toutes pompes de circulation d'huile en service.

Concernant les applications en Amérique du Nord, les niveaux acoustiques doivent être mesurés avec et sans l'équipement de refroidissement en fonctionnement.

Le niveau de pression acoustique pondérée A doit être consigné pour chaque position de mesure. L'indication en réponse rapide du compteur doit être utilisée pour identifier et éviter les erreurs de mesure dues aux bruits de fond transitoires.

NOTE 3 Lorsque l'objet d'essai est alimenté, il est recommandé de différer les mesures acoustiques pour atteindre un état stable. Si un courant continu résiduel est présent, le niveau acoustique peut être affecté pendant quelques minutes ou, dans les cas extrêmes, pendant plusieurs heures. Le courant continu résiduel est indiqué par la présence d'harmoniques impaires dans le spectre acoustique. Une fois atteinte la stabilité, il est recommandé que le temps passé à effectuer les mesures soit réduit pour éviter des modifications du niveau acoustique provoquées par des modifications de la température du transformateur.

The acoustic absorption coefficient shall preferably be less than 0,1 over the frequency range of interest. This requirement is usually fulfilled when outdoor measurements are made over concrete, sealed asphalt, sand or stone surfaces.

11.1.3.2 Environmental correction K

For measurements outdoors in a sound field which is essentially undisturbed by reflections from nearby objects and the environment boundaries, K is approximately equal to zero. If the sound field is affected by reflections, K shall be determined according to the method described in 11.1.2.3 or the sound intensity method shall be used.

11.1.3.3 Precautions for outdoor measurements

Measurements shall not be made under extreme meteorological conditions, for example, in the presence of temperature gradients, wind gradients, precipitation or high humidity.

11.2 Sound pressure level measurements

The measurements shall be taken when the background noise is approximately constant.

The A-weighted sound pressure level of the background noise shall be measured immediately before the measurements on the test object. The height(s) of the microphone(s) during the background noise measurements shall be the same as for the measurements of the test object sound levels; the background noise measurements shall be taken at points on the prescribed contour(s).

NOTE 1 When the total number of measuring positions exceeds 10, it is permissible to measure the background noise level at only 10 positions equally distributed around the test object.

NOTE 2 If the background noise pressure level is clearly much lower than the combined sound pressure level of the background noise and the test object (that is, if the difference is more than 10 dB), measurements of the background noise may be made at only one of the measuring positions and no correction of the measured sound level of the equipment is necessary.

The test object shall be energized as agreed by the manufacturer and purchaser. The permissible combinations are as follows:

- a) transformer energized, cooling equipment and any oil-circulating pumps out of service;
- b) transformer energized, cooling equipment and any oil-circulating pumps in service;
- c) transformer energized, cooling equipment out of service, oil-circulating pumps in service;
- d) transformer unenergized, cooling equipment and any oil-circulating pumps in service.

For North American applications, sound levels shall be measured with and without the cooling equipment in operation.

The A-weighted sound pressure level shall be recorded for each measuring position. The fast response indication of the meter shall be used to identify and avoid measurement errors due to transient background noise.

NOTE 3 When the test object is energized, it is advisable to delay sound measurements until a stable condition is attained. If residual d.c. is present, the sound level may be affected for a few minutes or, in extreme cases, for several hours. Residual d.c. is indicated by the presence of odd harmonics in the sound spectrum. Once stability has been reached, it is recommended that the time spent making measurements be minimized to avoid changes in the sound level caused by changes in transformer temperature.

L'objet d'essai doit être mis hors tension et les mesures du niveau de pression du bruit de fond doivent être répétées.

11.3 Calcul du niveau de pression acoustique moyen

Le niveau de pression acoustique pondérée A moyen non corrigé, $\overline{L_{pA0}}$, doit être calculé à partir des niveaux de pression acoustique pondérée A, L_{pAi} , l'objet d'essai étant alimenté, en utilisant l'équation suivante:

$$\overline{L_{pA0}} = 10 \lg \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N 10^{0,1L_{pAi}} \right) \quad (14)$$

où N est le nombre total de positions de mesure.

NOTE 1 Lorsque la gamme des valeurs de L_{pAi} ne dépasse pas 5 dB, une simple moyenne arithmétique peut être utilisée. Cette moyenne ne diffère pas de plus de 0,7 dB de la valeur calculée au moyen de l'équation (14).

Le niveau de pression du bruit de fond pondérée A, $\overline{L_{bgA}}$, doit être calculé séparément avant et après la séquence d'essai en utilisant l'équation suivante:

$$\overline{L_{bgA}} = 10 \lg \left(\frac{1}{M} \sum_{i=1}^M 10^{0,1L_{bgAi}} \right) \quad (15)$$

où

M est le nombre total de positions de mesure;

L_{bgAi} est le niveau de pression du bruit de fond pondérée A mesuré à la i ème position de mesure.

Si les niveaux de pression du bruit de fond moyens initiaux et finaux diffèrent de plus de 3 dB et que la valeur la plus élevée est inférieure de moins 8 dB au niveau de pression acoustique pondérée A moyen non corrigé, les mesures doivent être déclarées non valables et l'essai doit être renouvelé sauf dans les cas où le niveau de pression acoustique pondérée A moyen non corrigé est inférieur à la valeur garantie. Dans ce cas, l'objet d'essai doit être considéré comme ayant satisfait au niveau garanti. Cette condition doit être consignée dans le rapport d'essai.

Si le plus élevé des deux niveaux de pression du bruit de fond pondérée A moyen est inférieur de 3 dB du niveau de pression acoustique pondérée A moyen non corrigé, les mesures doivent être déclarées non valables et l'essai doit être renouvelé, sauf dans les cas où le niveau de pression acoustique pondérée A moyen non corrigé est inférieur à la valeur garantie. Auquel cas, l'objet d'essai doit être considéré comme ayant satisfait au niveau garanti. Cette condition doit être consignée dans le rapport d'essai.

NOTE 2 Tandis que la norme permet une petite différence entre le niveau de bruit de fond et le niveau acoustique combiné du fond et de l'objet d'essai, il convient de s'efforcer d'obtenir une différence d'au moins 6 dB.

NOTE 3 Lorsque la différence entre le niveau de bruit de fond et le niveau acoustique combiné est inférieure à 3 dB, il convient d'envisager l'utilisation d'une méthode de mesure alternative (voir l'Article 12 et Annexe A).

Les exigences ci-dessus sont résumées dans le Tableau 2.

The test object shall be de-energized and the background noise pressure level measurements repeated.

11.3 Calculation of average sound pressure level

The uncorrected average A-weighted sound pressure level, $\overline{L_{pA0}}$, shall be calculated from the A-weighted sound pressure levels, L_{pAi} , measured with the test object energized by using equation (14):

$$\overline{L_{pA0}} = 10 \lg \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N 10^{0,1L_{pAi}} \right) \quad (14)$$

where N is the total number of measuring positions.

NOTE 1 When the range of values of L_{pAi} does not exceed 5 dB, a simple arithmetical average may be used. This average will not differ by more than 0,7 dB from the value calculated using equation (14).

The average A-weighted background noise pressure level, $\overline{L_{bgA}}$, shall be calculated separately before and after the test sequence using equation (15):

$$\overline{L_{bgA}} = 10 \lg \left(\frac{1}{M} \sum_{i=1}^M 10^{0,1L_{bgAi}} \right) \quad (15)$$

where

M is the total number of measuring positions;

L_{bgAi} is the measured A-weighted background noise pressure level at the i th measuring position.

If the initial and final average background noise pressure levels differ by more than 3 dB and the higher value is less than 8 dB lower than the uncorrected average A-weighted sound pressure level, the measurements shall be declared invalid and the test repeated except in cases where the uncorrected average A-weighted sound pressure level is less than the guaranteed value. In this case, the test object shall be considered to have met the guaranteed level. This condition shall be recorded in the test report.

If the higher of the two average A-weighted background noise pressure levels is less than 3 dB lower than the uncorrected average A-weighted sound pressure level, the measurements shall be declared invalid and the test repeated except in cases where the uncorrected average A-weighted sound pressure level is less than the guaranteed value. In this case, the test object shall be considered to have met the guaranteed level. This condition shall be recorded in the test report.

NOTE 2 While the standard permits a small difference between the background noise level and the combined sound level of the background and the test object, every effort should be made to obtain a difference of at least 6 dB.

NOTE 3 When the difference between the background noise level and the combined sound level is less than 3 dB, consideration should be given to using an alternative measurement method (see Clause 12 and Annex A).

The above requirements are summarized in Table 2.

Tableau 2 – Critères d'acceptation d'essai

$\overline{L_{pA0}} - \overline{L_{bgA}}$ le plus élevé	$\overline{L_{bgA}}$ initial – $\overline{L_{bgA}}$ final	Décision
≥ 8 dB	–	Essai accepté
< 8 dB	< 3 dB	Essai accepté
< 8 dB	> 3 dB	Répéter l'essai ^a
< 3 dB	–	Répéter l'essai ^a
^a A moins que $\overline{L_{pA0}}$ soit inférieure à la valeur garantie, auquel cas il convient de considérer l'objet d'essai comme ayant satisfait au niveau garanti. Cette condition doit être consignée dans le rapport d'essai.		

Le niveau de pression acoustique pondérée A moyen, $\overline{L_{pA}}$, doit être calculé en utilisant l'équation (16):

$$\overline{L_{pA}} = 10 \lg \left(10^{0,1 \overline{L_{pA0}}} - 10^{0,1 \overline{L_{bgA}}} \right) - K \quad (16)$$

ou $\overline{L_{bgA}}$ est le plus faible des deux niveaux de pression de bruit de fond pondérée A moyen calculé.

Pour les besoins de la présente norme, la valeur admissible maximale de la correction environnementale K est de 7 dB (voir 11.1.2.2).

NOTE 4 Les transformateurs émettent des sons purs aux harmoniques de la fréquence industrielle. Il est par conséquent possible que les ondes stationnaires influencent les niveaux de pression acoustique mesurés. Dans ce cas, l'application d'un facteur de correction simple ne suffit pas et il convient que des mesures soient effectuées, chaque fois que c'est possible, dans le milieu où la correction de l'influence environnementale n'est pas nécessaire.

12 Méthode d'intensité acoustique

12.1 Environnement d'essai

Un environnement fournissant un champ approximativement libre sur un plan de réflexion doit être utilisé. L'environnement d'essai doit idéalement fournir une surface de mesure qui se situe à l'intérieur d'un champ acoustique essentiellement non perturbé par des réflexions provenant d'objets environnants et des limites d'environnement. Par conséquent, les objets de réflexion (à l'exception de la surface de support) doivent être enlevés, dans la mesure du possible, de l'objet d'essai. Cependant, la méthode d'intensité acoustique permet à des déterminations précises d'être effectuées avec jusqu'à deux murs réfléchissants à moins 1,2 m du ou des contours prescrits de l'objet d'essai. S'il y a trois murs de réflexion, la distance de chaque mur par rapport au(x) contour(s) prescrit(s) doit être d'au moins 1,8 m.

Les mesures dans les éléments de transformateur ou dans les enveloppes ne sont pas permises.

NOTE En présence de surfaces réfléchissantes (autres que la surface de support), l'environnement d'essai peut être amélioré par l'utilisation de panneaux absorbants.

Table 2 – Test acceptance criteria

$\overline{L}_{pA0}$ – the higher $\overline{L}_{bgA}$	Initial $\overline{L}_{bgA}$ – final $\overline{L}_{bgA}$	Decision
≥ 8 dB	–	Accept test
< 8 dB	< 3 dB	Accept test
< 8 dB	> 3 dB	Repeat test ^a
< 3 dB	–	Repeat test ^a
^a Unless $\overline{L}_{pA0}$ is less than the guaranteed value, in which case the test object should be considered to have met the guaranteed level. This condition shall be recorded in the test report.		

The corrected average A-weighted sound pressure level, $\overline{L}_{pA}$, shall be calculated by using equation (16):

$$\overline{L}_{pA} = 10 \lg \left(10^{0,1\overline{L}_{pA0}} - 10^{0,1\overline{L}_{bgA}} \right) - K \quad (16)$$

where $\overline{L}_{bgA}$ is the lower of the two calculated average A-weighted background noise pressure levels.

For the purpose of this standard, the maximum allowable value of the environmental correction K is 7 dB (see 11.1.2.2).

NOTE 4 Transformers generate pure tones at harmonics of the power frequency. It is therefore possible that standing waves may influence the measured sound pressure levels. In this case, the application of a single correction factor does not suffice and measurements should be performed, whenever possible, in surroundings where environmental correction is not necessary.

12 Sound intensity method

12.1 Test environment

An environment providing an approximately free field over a reflecting plane shall be used. The test environment shall ideally provide a measurement surface which lies inside a sound field essentially undisturbed by reflections from nearby objects and the environment boundaries. Therefore, reflecting objects (with the exception of the supporting surface) shall be removed as far as possible from the test object. However, the sound intensity method allows accurate determinations to be made with up to two reflecting walls at least 1,2 m from the prescribed contour(s) of the test object. If there are three reflecting walls, the distance of each wall from the prescribed contour(s) shall be at least 1,8 m.

Measurements inside transformer cells or enclosures are not allowed.

NOTE In the presence of reflecting surfaces (other than the supporting surface), the test environment may be improved by the use of absorbing panels.

12.2 Mesures du niveau d'intensité acoustique

Il est nécessaire de prendre les mesures lorsque le bruit de fond est approximativement constant.

L'objet d'essai doit être alimenté comme convenu par le fabricant et l'acheteur. Les combinaisons autorisées sont les suivantes:

- a) transformateur sous tension, équipement de refroidissement et toutes pompes de circulation d'huile hors service;
- b) transformateur sous tension, équipement de refroidissement et toutes pompes de circulation d'huile en service;
- c) transformateur sous tension, équipement de refroidissement hors service, pompes de circulation d'huile en service;
- d) transformateur hors tension, équipement de refroidissement et toutes pompes de circulation d'huile en service.

Concernant les applications en Amérique du Nord, les niveaux acoustiques doivent être mesurés avec et sans l'équipement de refroidissement en fonctionnement.

Le niveau d'intensité acoustique normale pondérée A et le niveau de pression acoustique pondérée A doivent être consignés pour chaque position de mesure. L'espacement du microphone doit être choisi pour couvrir le spectre acoustique à mesurer sinon les fréquences inférieures ou supérieures ne seront pas pris en compte et des erreurs s'introduiront. L'indication en réponse rapide du compteur doit être utilisée pour identifier et éviter les erreurs de mesure dues aux bruits de fond transitoires.

NOTE 1 En pratique, les espacements de différents microphones sont utilisés pour les quatre combinaisons.

NOTE 2 Lorsque l'objet d'essai est alimenté, il est recommandé de différer les mesures acoustiques pour atteindre un état stable. Si un courant continu résiduel est présent, le niveau acoustique peut être affecté pendant quelques minutes ou, dans les cas extrêmes, pendant plusieurs heures. Le courant continu résiduel est indiqué par la présence d'harmoniques impaires dans le spectre acoustique. Une fois que la stabilité est atteinte, il est recommandé que le temps passé à effectuer les mesures soit réduit pour éviter des modifications du niveau acoustique provoquées par des modifications de la température du transformateur.

12.3 Calcul du niveau d'intensité acoustique moyen

Le niveau d'intensité acoustique pondérée A moyen, $\overline{L_{IA}}$, doit être calculé à partir de niveaux d'intensité acoustique normale pondérée A, L_{IAi} , mesurés avec l'objet d'essai sous tension à l'aide de l'équation (17):

$$\overline{L_{IA}} = 10 \lg \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \text{sign}(L_{IAi}) 10^{0,1|L_{IAi}|} \right) \quad (17)$$

Le niveau de pression acoustique pondérée A moyen non corrigé, $\overline{L_{pA0}}$, est calculé à partir des niveaux de pression acoustique mesurée, comme décrit dans l'équation (14).

Le critère, ΔL , pour juger de l'acceptabilité d'un environnement d'essai et du bruit de fond est donné par l'équation (18) suivante:

$$\Delta L = \overline{L_{pA0}} - \overline{L_{IA}} \quad (18)$$

Afin de maintenir les écarts-type qui sont ≤ 3 dB, la valeur maximale admissible pour ΔL est de 8 dB(A).

NOTE Si ΔL est > 8 dB(A), il convient d'envisager une méthode de mesure alternative. Voir l'Annexe A.

12.2 Sound intensity level measurements

The measurements shall be taken when the background noise is approximately constant.

The test object shall be energized as agreed by the manufacturer and purchaser. The permissible combinations are as follows:

- a) transformer energized, cooling equipment and any oil-circulating pumps out of service;
- b) transformer energized, cooling equipment and any oil-circulating pumps in service;
- c) transformer energized, cooling equipment out of service, oil-circulating pumps in service;
- d) transformer unenergized, cooling equipment and any oil-circulating pumps in service.

For North American applications, sound level shall be measured with and without the cooling equipment in operation.

The A-weighted normal sound intensity level and the A-weighted sound pressure level shall be recorded for each measuring position. The microphone spacer shall be chosen to cover the sound spectrum to be measured otherwise the lower or upper frequencies will not be taken into account and errors will be introduced. The fast response indication of the meter shall be used to identify and avoid measurement errors due to transient background noise.

NOTE 1 In practice, different microphone spacers are used for the four combinations.

NOTE 2 When the test object is energized, it is advisable to delay sound measurements until a stable condition is attained. If residual d.c. is present, the sound level may be affected for a few minutes or, in extreme cases, for several hours. Residual d.c. is indicated by the presence of odd harmonics in the sound spectrum. Once stability has been reached, it is recommended that the time spent making measurements be minimized to avoid changes in the sound level caused by changes in transformer temperature.

12.3 Calculation of average sound intensity level

The average A-weighted sound intensity level, $\overline{L_{IA}}$, shall be calculated from the A-weighted normal sound intensity levels, L_{IAi} , measured with the test object energized by using equation (17):

$$\overline{L_{IA}} = 10 \lg \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \text{sign}(L_{IAi}) 10^{0,1|L_{IAi}|} \right) \quad (17)$$

The uncorrected average A-weighted sound pressure level, $\overline{L_{pA0}}$, is calculated from the measured sound pressure levels as described in equation (14).

The criterion, ΔL , for judging the acceptability of a test environment and the background noise is given by equation (18):

$$\Delta L = \overline{L_{pA0}} - \overline{L_{IA}} \quad (18)$$

In order to maintain standard deviations which are ≤ 3 dB, the maximum allowable value for ΔL is 8 dB(A).

NOTE If ΔL is > 8 dB(A), an alternative measurement method should be considered. See Annex A.

13 Calcul du niveau de puissance acoustique

Le niveau de puissance acoustique pondérée A de l'objet d'essai, L_{WA} , doit être calculé soit à partir du niveau de pression acoustique pondérée A moyen corrigé, $\overline{L_{pA}}$, soit à partir du niveau d'intensité acoustique pondérée A moyen, $\overline{L_{IA}}$, selon l'équation (19) ou (20) respectivement:

$$L_{WA} = \overline{L_{pA}} + 10 \lg \frac{S}{S_0} \quad (19)$$

$$L_{WA} = \overline{L_{IA}} + 10 \lg \frac{S}{S_0} \quad (20)$$

ou S est dérivé de l'équation (6), (7), (8) ou (9) selon le cas, et S_0 est égal à la surface de référence (1 m²).

Concernant les transformateurs à auxiliaires de refroidissement montés directement sur la cuve, le niveau de puissance acoustique des auxiliaires de refroidissement, L_{WA0} , est donné par l'équation (21):

$$L_{WA0} = 10 \lg \left(10^{0,1L_{WA1}} + 10^{0,1L_{WA2}} \right) \quad (21)$$

où

L_{WA1} est le niveau de puissance acoustique du transformateur et des auxiliaires de refroidissement;

L_{WA2} est le niveau de puissance acoustique du transformateur.

NOTE Si les niveaux de puissance acoustique des ventilateurs et pompes individuelles des auxiliaires de refroidissement sont connus, la puissance acoustique totale des auxiliaires de refroidissement peut être obtenue en ajoutant ensemble les valeurs individuelles sur une base d'énergie. Cette méthode de détermination du niveau de puissance acoustique des auxiliaires de refroidissement est soumise à l'accord entre le fabricant et l'acheteur.

Pour les transformateurs à auxiliaire de refroidissement montés sur une structure séparée, le niveau de puissance acoustique du transformateur plus les auxiliaires de refroidissement, L_{WA1} , est calculé en utilisant l'équation (22):

$$L_{WA1} = 10 \lg \left(10^{0,1L_{WA0}} + 10^{0,1L_{WA2}} \right) \quad (22)$$

où

L_{WA2} est le niveau de puissance acoustique du transformateur;

L_{WA0} est le niveau de puissance acoustique des auxiliaires de refroidissement.

14 Ajout des niveaux de puissance acoustique à courant à vide et de charge

Le niveau de puissance acoustique pondérée A qui est représentatif du transformateur en fonctionnement à tension assignée et courant assigné peut être déterminé en additionnant le niveau de puissance acoustique à vide pondérée A et le niveau de puissance acoustique à courant assigné pondérée A selon l'équation (23) suivante:

$$L_{WA,SN} = 10 \lg \left(10^{0,1L_{WA,UN}} + 10^{0,1L_{WA,IN}} \right) \quad (23)$$

13 Calculation of sound power level

The A-weighted sound power level of the test object, L_{WA} , shall be calculated from either the corrected average A-weighted sound pressure level, $\overline{L_{pA}}$, or the average A-weighted sound intensity level, $\overline{L_{IA}}$, according to equation (19) or (20), respectively:

$$L_{WA} = \overline{L_{pA}} + 10 \lg \frac{S}{S_0} \quad (19)$$

$$L_{WA} = \overline{L_{IA}} + 10 \lg \frac{S}{S_0} \quad (20)$$

where S is derived from equation (6), (7), (8) or (9), as appropriate, and S_0 is equal to the reference area (1 m²).

For transformers with cooling auxiliaries mounted directly on the tank, the sound power level of the cooling auxiliaries, L_{WA0} , is given by equation (21):

$$L_{WA0} = 10 \lg \left(10^{0,1L_{WA1}} - 10^{0,1L_{WA2}} \right) \quad (21)$$

where

L_{WA1} is the sound power level of the transformer and cooling auxiliaries;

L_{WA2} is the sound power level of the transformer.

NOTE If the sound power levels of the individual fans and pumps of the cooling auxiliaries are known, the total sound power level of the cooling auxiliaries can be obtained by adding together the individual values on an energy basis. This method of determining the sound power level of cooling auxiliaries is subject to agreement between manufacturer and purchaser.

For transformers with cooling auxiliaries mounted on a separate structure, the sound power level of the transformer plus cooling auxiliaries, L_{WA1} , is calculated by using equation (22):

$$L_{WA1} = 10 \lg \left(10^{0,1L_{WA0}} + 10^{0,1L_{WA2}} \right) \quad (22)$$

where

L_{WA2} is the sound power level of the transformer;

L_{WA0} is the sound power level of the cooling auxiliaries.

14 Addition of no-load and load current sound power levels

The A-weighted sound power level which is representative for the transformer in operation at rated voltage and rated current can be determined by summing the A-weighted no-load sound power level and the A-weighted rated current sound power level according to equation (23):

$$L_{WA,SN} = 10 \lg \left(10^{0,1L_{WA,UN}} + 10^{0,1L_{WA,IN}} \right) \quad (23)$$

où

$L_{WA,SN}$ est le niveau de puissance acoustique pondérée A du transformateur à tension assignée sinusoïdale, courant assigné sinusoïdal et à fréquence assignée (niveau acoustique de charge);

$L_{WA,UN}$ est le niveau de puissance acoustique pondérée A du transformateur à tension assignée sinusoïdale, à fréquence assignée et à vide (niveau acoustique à vide) (voir 6.2);

$L_{WA,IN}$ est le niveau de puissance acoustique à courant assigné pondérée A (voir 6.3 ou 6.4).

Le son des auxiliaires de refroidissement, si nécessaire, doit être considéré par inclusion soit dans $L_{WA,UN}$ soit $L_{WA,IN}$.

NOTE La formule ci-dessus est applicable strictement et uniquement aux sources acoustiques indépendantes. Etant donné la corrélation du son à courant de charge et à vide, le niveau effectif de puissance acoustique en service, $L_{WA,SN}$, sera plus faible que celui obtenu par la formule ci-dessus. Cependant, les différences se situent dans le cadre des incertitudes de mesure.

15 Calculs en champ lointain

En tant que calcul approximatif, en supposant des conditions de champ libre sur un plan réfléchissant, le niveau de pression acoustique pondérée A, L_{pAR} , pour une distance R en mètres à partir du centre géométrique de l'équipement est donné par l'équation (24):

$$L_{pAR} = L_{WA} - 10 \lg \frac{S_h}{S_0} \quad (24)$$

où

$S_h = 2\pi R^2$ est la zone de la surface d'un hémisphère de rayon R , et R est supérieur à 30 m;

L_{WA} est le niveau de puissance acoustique pondéré A.

Pour une valeur plus précise, il convient de prendre en considération d'autres facteurs tels que l'absorption atmosphérique, les réflexions et le facteur d'écran.

16 Présentation des résultats

Le rapport doit comprendre l'ensemble des informations suivantes:

- le nom du fabricant et le site de fabrication;
- la date des essais;
- une description de l'objet d'essai fournissant le numéro de série, la puissance, le courant, la tension et la fréquence assignés, les raccordements et le rapport des tensions;
- le niveau garanti et les conditions de fonctionnement et de mesure donnant lieu à ce niveau garanti;
- référence à cette norme de mesure;
- la méthode de détermination du niveau de puissance acoustique utilisée (s'il y a lieu);
- les caractéristiques de l'équipement de mesure acoustique et de la vérification de l'étalonnage (y compris, les numéros de série des instruments, des microphones et de la source d'étalonnage);
- un croquis coté faisant état de la position de l'objet d'essai par rapport aux autres objets dans la surface de mesure et les positions de mesure;
- les conditions d'essai, y compris la tension, le courant (s'il y a lieu), la fréquence, la position de prise et la distance de mesure;
- la longueur des contour(s) prescrit(s), la hauteur de l'objet d'essai et la zone de la surface effective calculée;

where

$L_{WA,SN}$ is the A-weighted sound power level of the transformer at sinusoidal rated voltage, sinusoidal rated current and rated frequency (load sound level);

$L_{WA,UN}$ is the A-weighted sound power level of the transformer at sinusoidal rated voltage, rated frequency and no load (no-load sound level) (see 6.2);

$L_{WA,IN}$ is the A-weighted rated current sound power level (see 6.3 or 6.4).

The sound of the cooling auxiliaries, if required, shall be considered by inclusion in either $L_{WA,UN}$ or $L_{WA,IN}$.

NOTE The above equation is applicable strictly only to independent sound sources. Due to the correlation of no-load and load current sound, the actual sound power level in service, $L_{WA,SN}$, will be lower than that obtained by the above equation. The differences, however, are within the measuring uncertainties.

15 Far-field calculations

As an approximate calculation, assuming free-field conditions over a reflecting plane, the A-weighted sound pressure level, L_{pAR} , at a distance R in metres from the geometrical centre of the equipment is given by equation (24):

$$L_{pAR} = L_{WA} - 10 \lg \frac{S_h}{S_0} \quad (24)$$

where

$S_h = 2\pi R^2$ is the area of the surface of a hemisphere of radius R , and R is greater than 30 m;

L_{WA} is the A-weighted sound power level.

For a more accurate value, other factors such as atmospheric absorption, reflections and screening should be considered.

16 Presentation of results

The report shall include all the following information:

- the name of the manufacturer and place of manufacture;
- the date of the tests;
- a description of the test object giving the serial number, rated power, current, voltage and frequency, voltage ratio and connections;
- the guaranteed level and the operating and measurement conditions giving rise to this guaranteed level;
- reference to this measurement standard;
- the sound power level determination method used (where appropriate);
- the characteristics of the sound measuring equipment and calibration verification (including the serial numbers of the instruments, the microphones and the calibration source);
- a dimensioned sketch showing the position of the test object with respect to other objects in the measurement area and the measuring positions;
- the test conditions, including the voltage, current (if appropriate), frequency, tap position and measurement distance;
- the length of the prescribed contour(s), the height of the test object and the calculated effective surface area;

- k) une liste de personnes présentes au cours des essais;
- l) la signature de la personne en charge des essais.

Lorsque la méthode de pression acoustique est utilisée, les informations suivantes doivent être incluses:

- m) les niveaux de pression acoustique pondérée A du bruit de fond à chaque position de mesure du bruit de fond;
- n) le niveau de pression du bruit de fond pondérée A moyen avant et après la séquence de mesures;
- o) les niveaux de pression acoustique pondérée A pour chaque position de mesure pour les conditions d'essai suivantes (comme convenu par le fabricant et l'acheteur):
 - 1) transformateur sous tension, équipement de refroidissement et toutes pompes de circulation d'huile hors service;
 - 2) transformateur sous tension, équipement de refroidissement et toutes pompes de circulation d'huile en service;
 - 3) transformateur sous tension, équipement de refroidissement hors service, pompes de circulation d'huile en service;
 - 4) transformateur hors tension, équipement de refroidissement et toutes pompes de circulation d'huile en service;
- p) la valeur de la correction environnementale, K ;
- q) le niveau de pression acoustique pondérée A moyen non corrigé, $\overline{L_{pA0}}$, pour chaque ensemble de conditions d'essai;
- r) le niveau de pression acoustique pondérée A moyen corrigé, $\overline{L_{pA}}$, arrondi au nombre entier le plus approchant, pour chaque ensemble de conditions d'essai;
- s) le niveau de puissance acoustique pondérée A moyen corrigé L_{WA} , arrondi au nombre entier le plus approchant, pour chaque ensemble de conditions d'essai.

Lorsque la méthode d'intensité acoustique est utilisée, les informations suivantes doivent être incluses:

- t) le niveau d'intensité acoustique pondérée A pour chaque position de mesure pour les conditions d'essai suivantes (comme convenu par le fabricant et l'acheteur):
 - 1) transformateur sous tension, équipement de refroidissement et toutes pompes de circulation d'huile hors service;
 - 2) transformateur sous tension, équipement de refroidissement et toutes pompes de circulation d'huile en service;
 - 3) transformateur sous tension, équipement de refroidissement hors service, pompes de circulation d'huile en service;
 - 4) transformateur hors tension, équipement de refroidissement et toutes pompes de circulation d'huile en service;
- u) le niveau de pression acoustique pondérée A pour chaque position de mesure pour chaque ensemble de conditions d'essai;
- v) le niveau de pression acoustique pondérée A moyen non corrigé, $\overline{L_{pA0}}$, pour chaque ensemble de conditions d'essai;
- w) le niveau d'intensité acoustique pondérée A moyen, $\overline{L_{IA}}$, arrondi au nombre entier le plus proche, pour chaque ensemble de conditions d'essai;
- x) la valeur de ΔL pour chaque ensemble de conditions d'essai;

- k) a list of persons present during the tests;
- l) the signature of the person responsible for testing.

When the sound pressure method is used, the following information shall be included:

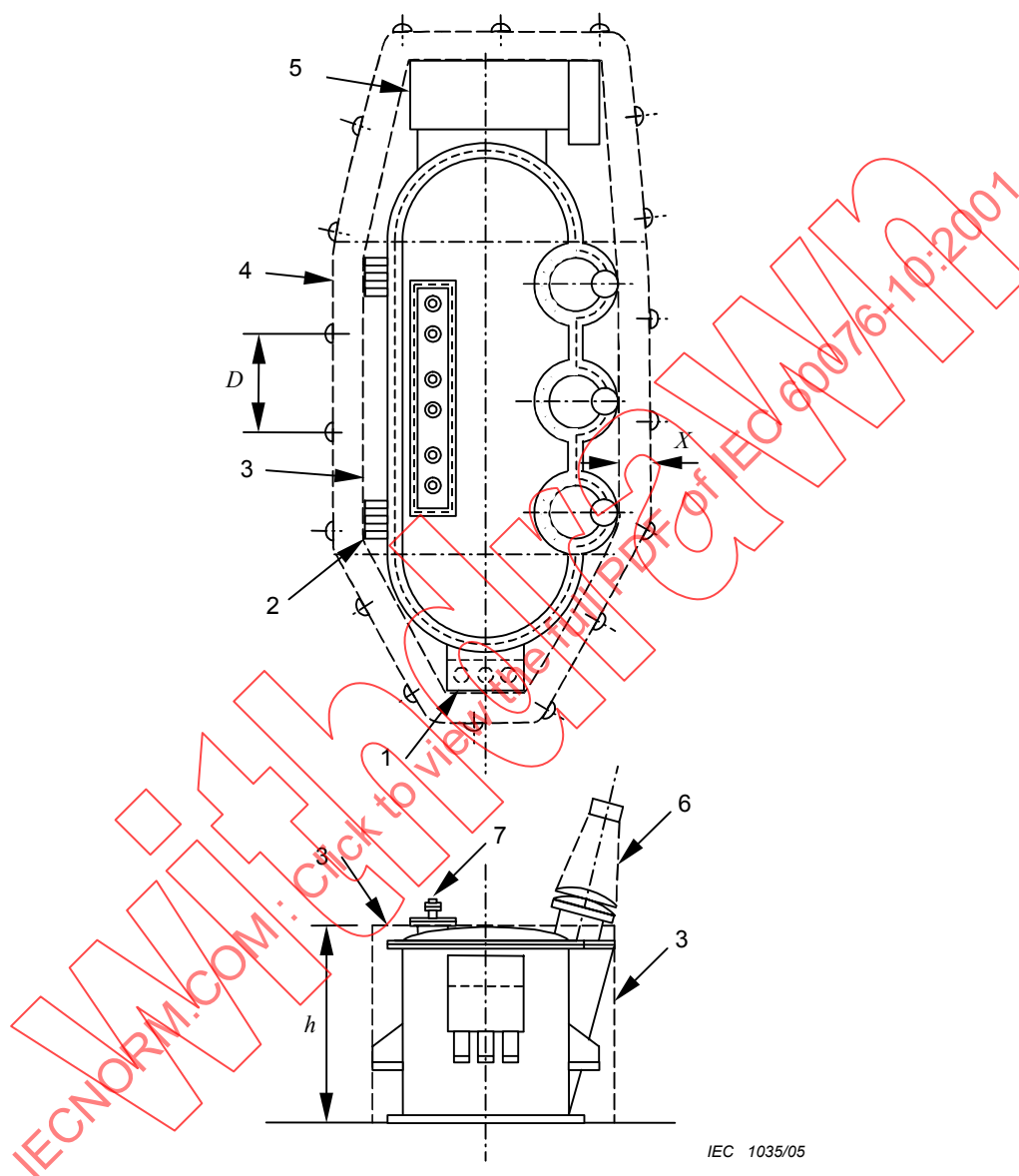
- m) the A-weighted sound pressure levels of the background noise at each background noise measuring position;
- n) the average A-weighted background noise pressure level before and after the measurement sequence;
- o) the A-weighted sound pressure levels for each measuring position for the following test conditions (as agreed by the manufacturer and purchaser):
 - 1) transformer energized, cooling equipment and any oil-circulating pumps out of service;
 - 2) transformer energized, cooling equipment and any oil-circulating pumps in service;
 - 3) transformer energized, cooling equipment out of service, oil-circulating pumps in service;
 - 4) transformer unenergized, cooling equipment and any oil-circulating pumps in service;
- p) the value of the environmental correction, K ;
- q) the uncorrected average A-weighted sound pressure level, $\overline{L_{pA0}}$, for each set of test conditions;
- r) the corrected average A-weighted sound pressure level, $\overline{L_{pA}}$, rounded to the nearest integer, for each set of test conditions;
- s) the A-weighted sound power level, L_{WA} , rounded to the nearest integer, for each set of test conditions.

When the sound intensity method is used, the following information shall be included:

- t) the A-weighted sound intensity level for each measuring position for the following test conditions (as agreed by the manufacturer and purchaser):
 - 1) transformer energized, cooling equipment and any oil-circulating pumps out of service;
 - 2) transformer energized, cooling equipment and any oil-circulating pumps in service;
 - 3) transformer energized, cooling equipment out of service, oil-circulating pumps in service;
 - 4) transformer unenergized, cooling equipment and any oil-circulating pumps in service;
- u) the A-weighted sound pressure level for each measuring position for each set of test conditions;
- v) the uncorrected average A-weighted sound pressure level, $\overline{L_{pA0}}$, for each set of test conditions;
- w) the average A-weighted sound intensity level, $\overline{L_{IA}}$, rounded to the nearest integer, for each set of test conditions;
- x) the value of ΔL for each set of test conditions;

y) le niveau de puissance acoustique pondérée A moyen corrigé, arrondi au nombre entier le plus approchant, pour chaque ensemble de conditions d'essai.

NOTE Un formulaire type pour la présentation des résultats est fourni à l'Annexe B.



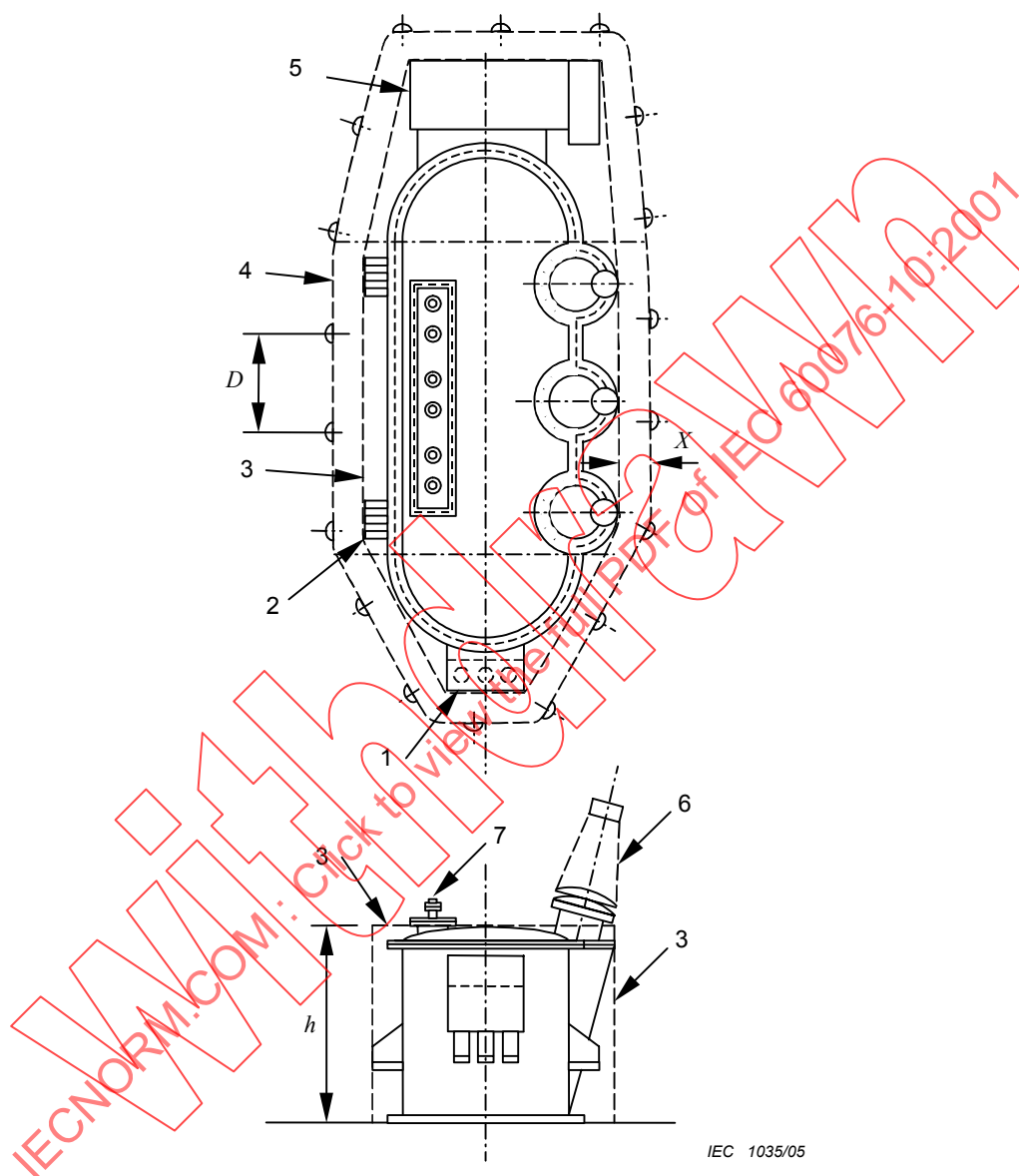
Légende

- | | |
|-------------------------------------|----------------------------------|
| 1 Traversées tertiaires | 6 Traversées H.T. |
| 2 Raidisseurs et barrette d'appui | 7 Traversées B.T. |
| 3 Surface de rayonnement principale | D Ecartement entre microphones |
| 4 Contour prescrit | h Hauteur de la cuve |
| 5 Changeur de prises en charge | X Distance de mesure |

Figure 1 – Positions de microphone type pour la mesure acoustique sur les transformateurs à l'exclusion des dispositifs de refroidissement

- y) the A-weighted sound power level, L_{WA} , rounded to the nearest integer, for each set of test conditions.

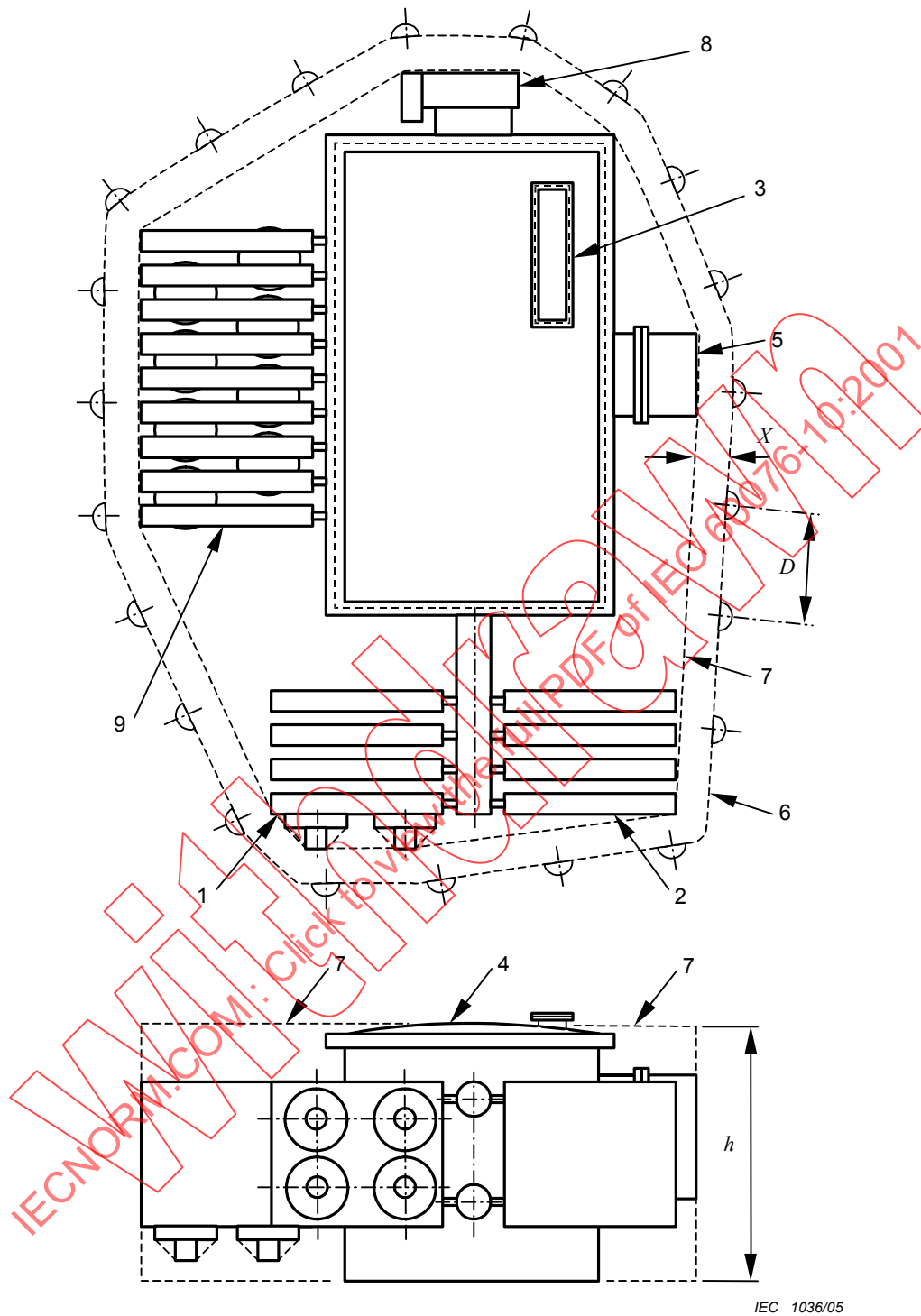
NOTE A typical form for the presentation of results is given in Annex B.



Key

- | | |
|-------------------------------|--------------------------|
| 1 Tertiary bushings | 6 HV bushings |
| 2 Stiffeners and jacking lug | 7 LV bushings |
| 3 Principal radiating surface | D Microphone spacing |
| 4 Prescribed contour | h Height of the tank |
| 5 On-load tap-changer | X Measurement distance |

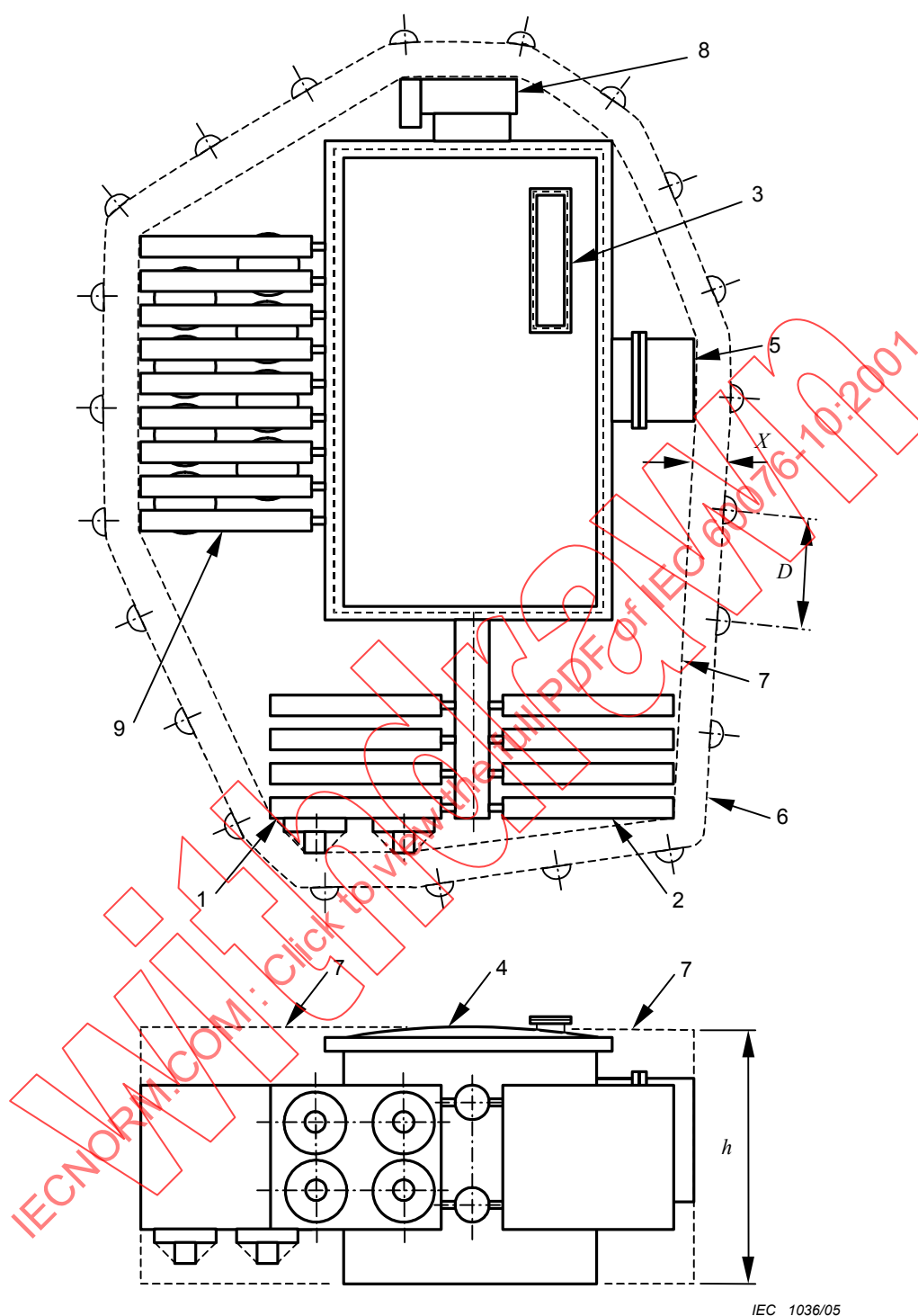
Figure 1 – Typical microphone positions for sound measurement on transformers excluding cooling equipment



Légende

- | | | |
|----------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|
| 1 Ventilation forcée horizontale | 5 Boîtier de câbles | 9 Ventilation forcée verticale |
| 2 Refroidissement à air naturel | 6 Contour prescrit | D Ecartement entre microphones |
| 3 Tourelle | 7 Surface de rayonnement principale | h Hauteur de la cuve |
| 4 Cuve de transformateur | 8 Changeur de prises en charge | X Distance de mesure |

Figure 2 – Positions de microphone type pour la mesure acoustique sur les transformateurs ayant des auxiliaires de refroidissement montés soit directement sur la cuve soit sur une structure séparée, espacée à une distance < 3 m de la surface de rayonnement principale sur la cuve principale

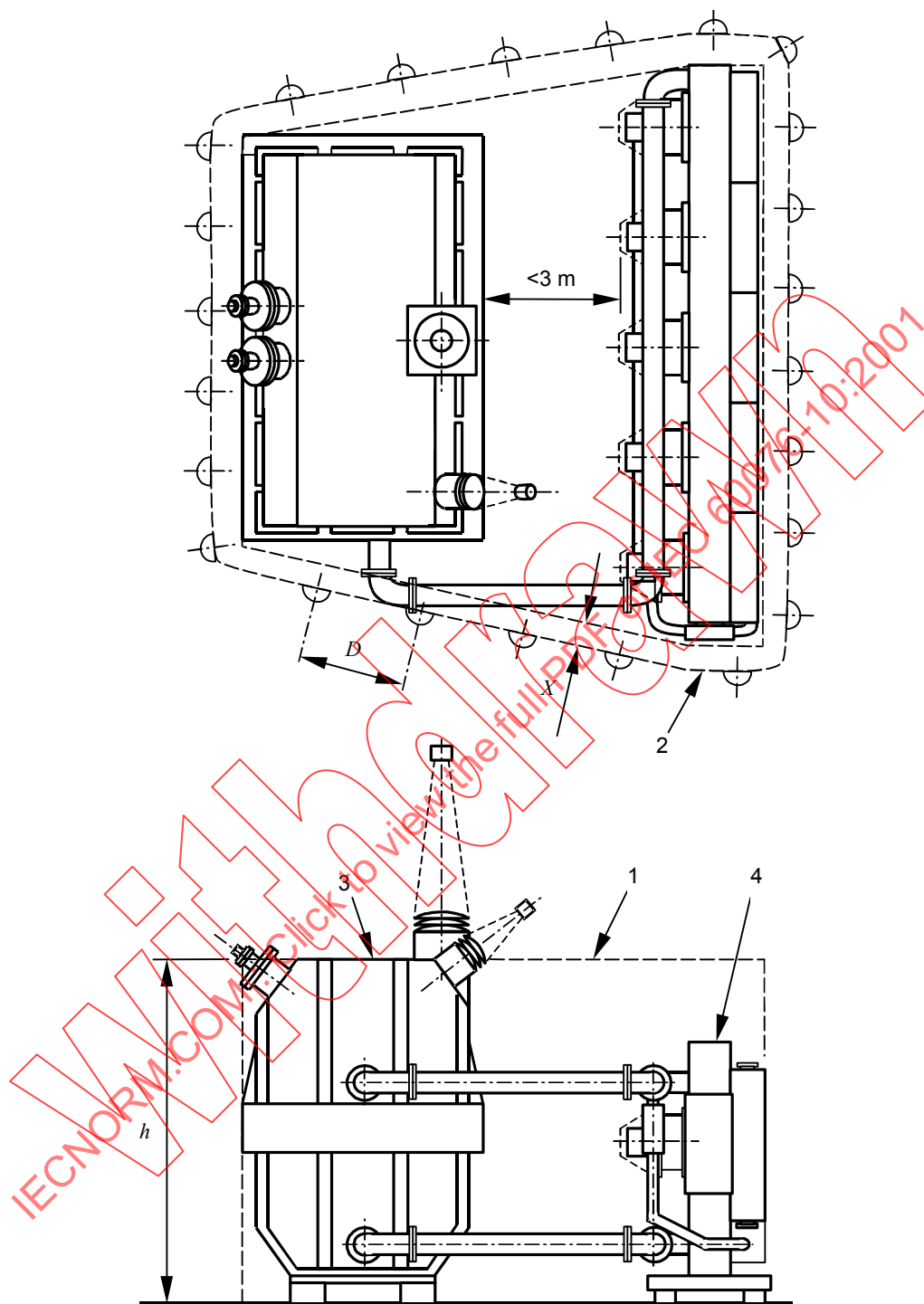


IEC 1036/05

Key

- | | | |
|---------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| 1 Horizontal forced air cooling | 5 Cable box | 9 Vertical forced air cooling |
| 2 Natural air cooling | 6 Prescribed contour | D Microphone spacing |
| 3 Turret | 7 Principal radiating surface | h Height of the tank |
| 4 Transformer tank | 8 On-load tap-changer | X Measurement distance |

Figure 2 – Typical microphone positions for sound measurement on transformers having cooling auxiliaries mounted either directly on the tank or on a separate structure spaced <3 m away from the principal radiating surface of the main tank

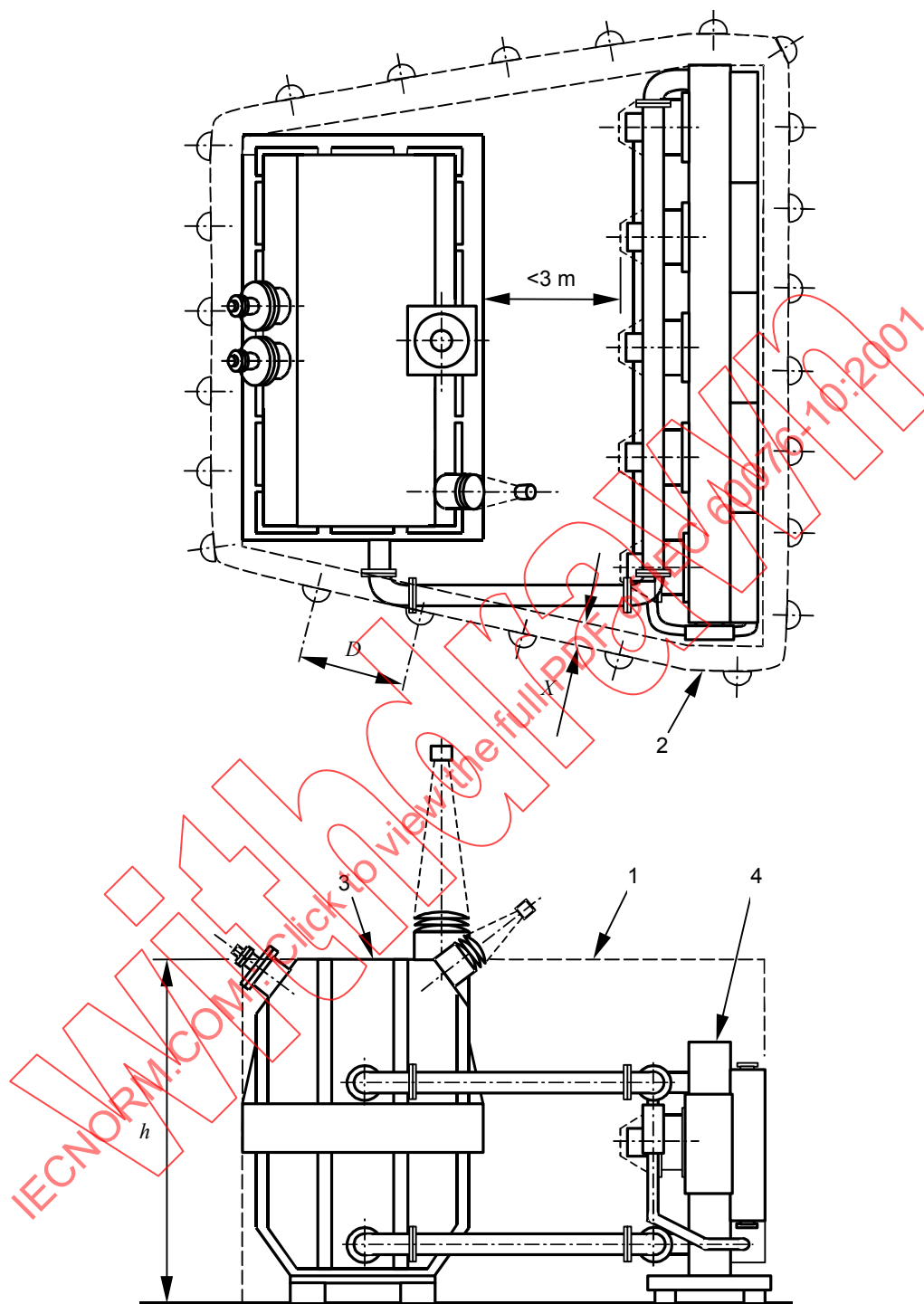


IEC 1037/05

Légende

- | | |
|--|----------------------------------|
| 1 Surface de rayonnement principale | D Ecartement entre microphones |
| 2 Contour prescrit | h Hauteur de la cuve |
| 3 Cuve de transformateur | X Distance de mesure |
| 4 Refroidissement à ventilation forcée | |

Figure 3 – Positions de microphone typique pour la mesure acoustique sur les transformateurs ayant des dispositifs de refroidissement à ventilation forcée séparés, espacés à une distance <3 m de la surface de rayonnement principale sur la cuve principale

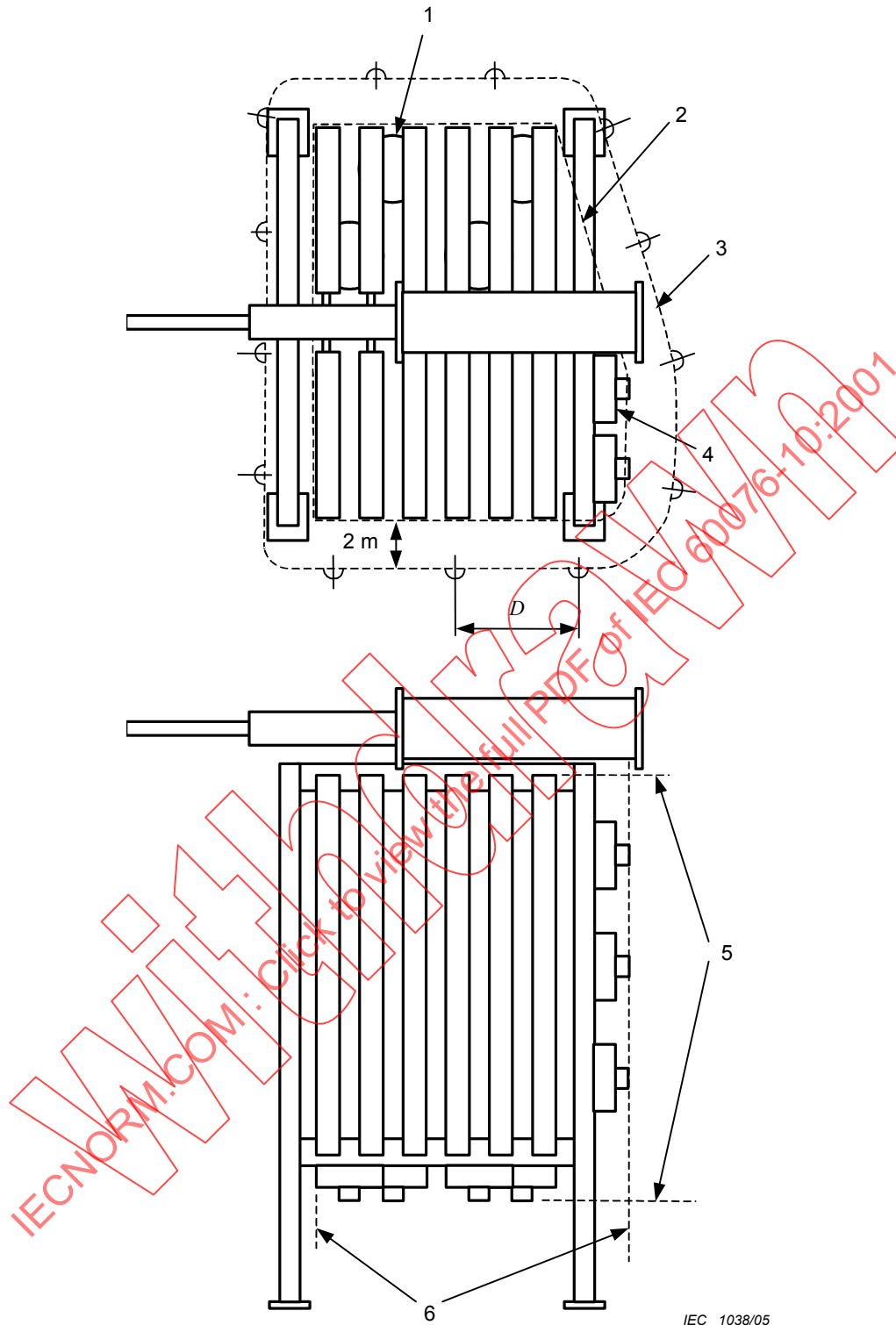


IEC 1037/05

Key

- | | |
|-------------------------------|--------------------------|
| 1 Principal radiating surface | D Microphone spacing |
| 2 Prescribed contour | h Height of the tank |
| 3 Transformer tank | X Measurement distance |
| 4 Forced air cooling | |

Figure 3 – Typical microphone positions for sound measurement on transformers having separate forced air coolers spaced <3 m away from the principal radiating surface of the main tank

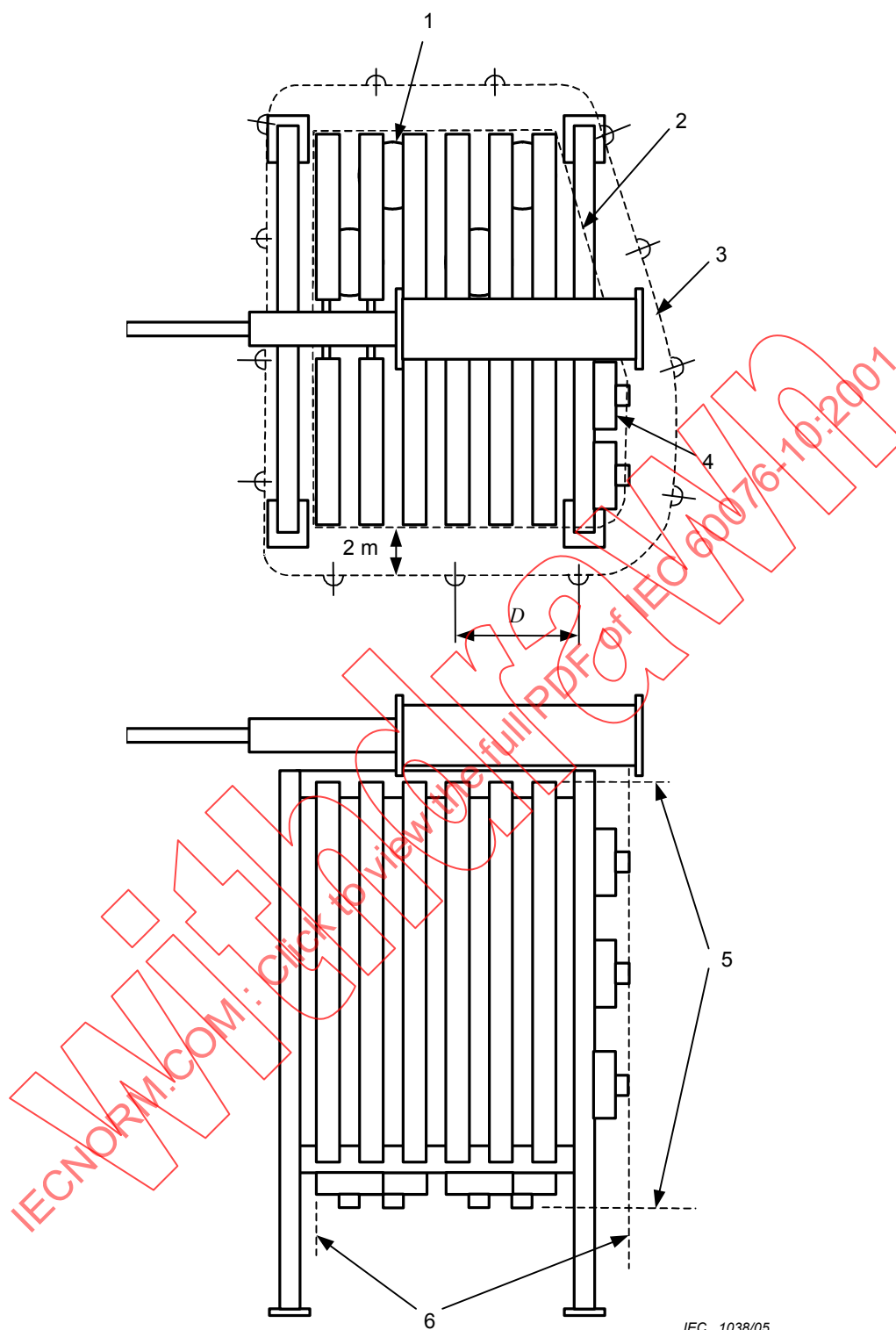


IEC 1038/05

Légende

- | | |
|-------------------------------------|---|
| 1 Ventilation forcée verticale | 5 Limites horizontales de surface de rayonnement principale |
| 2 Surface de rayonnement principale | 6 Limites verticales de surface de rayonnement principale |
| 3 Contour prescrit | D Ecartement entre microphones |
| 4 Ventilation forcée horizontale | |

Figure 4 – Positions de microphone type pour la mesure acoustique sur des auxiliaires de refroidissement montés sur une structure séparée, espacée à une distance ≥ 3 m de la surface de rayonnement principale sur le transformateur

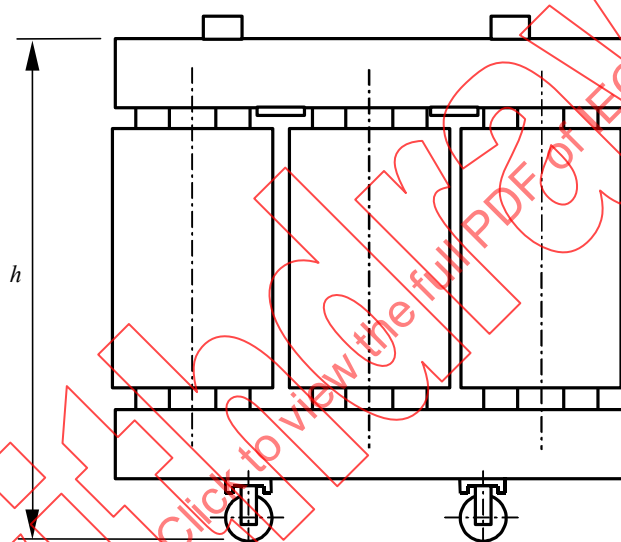
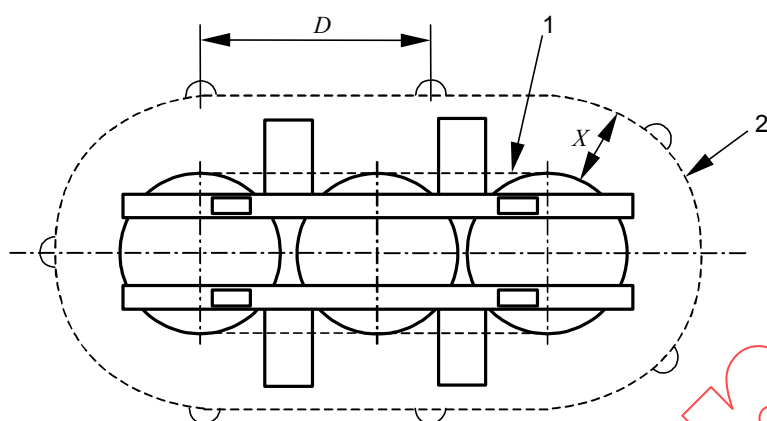


IEC 1038/05

Key

- | | |
|---------------------------------|--|
| 1 Vertical forced air cooling | 5 Horizontal boundaries of principal radiating surface |
| 2 Principal radiating surface | 6 Vertical boundaries of principal radiating surface |
| 3 Prescribed contour | D Microphone spacing |
| 4 Horizontal forced air cooling | |

Figure 4 – Typical microphone positions for sound measurement on cooling auxiliaries mounted on a separate structure spaced ≥ 3 m away from the principal radiating surface of the transformer

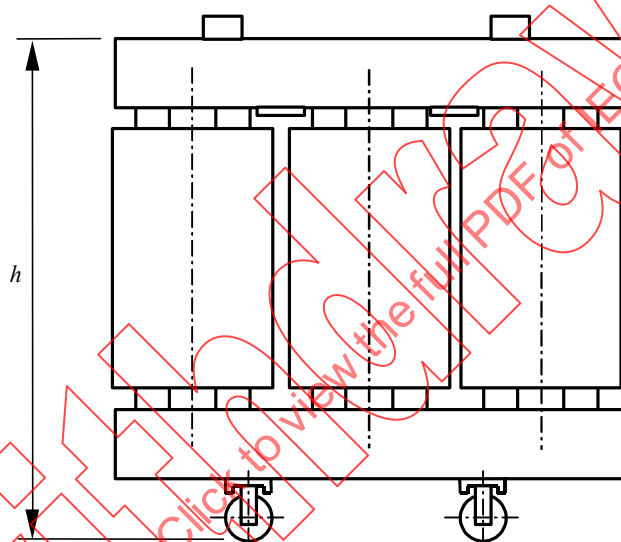
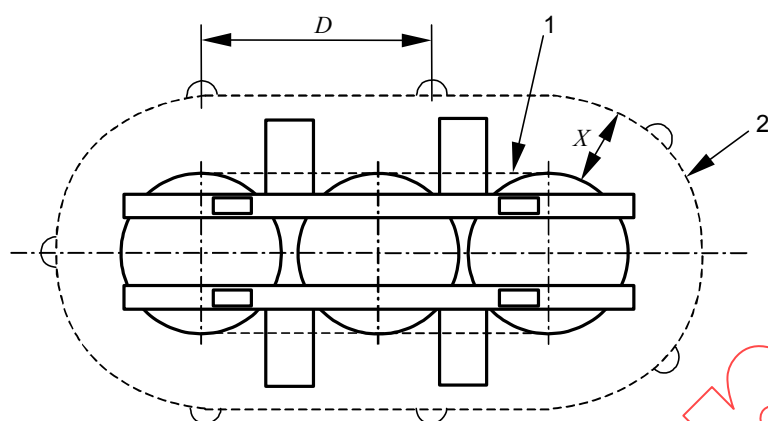


IEC 1039/05

Légende

- 1 Surface de rayonnement principale
- 2 Contour prescrit
- h Hauteur du noyau avec la structure
- D Ecartement entre microphones
- X Distance de mesure

Figure 5 – Positions de microphone type pour la mesure acoustique sur des transformateurs de type sec sans enveloppes

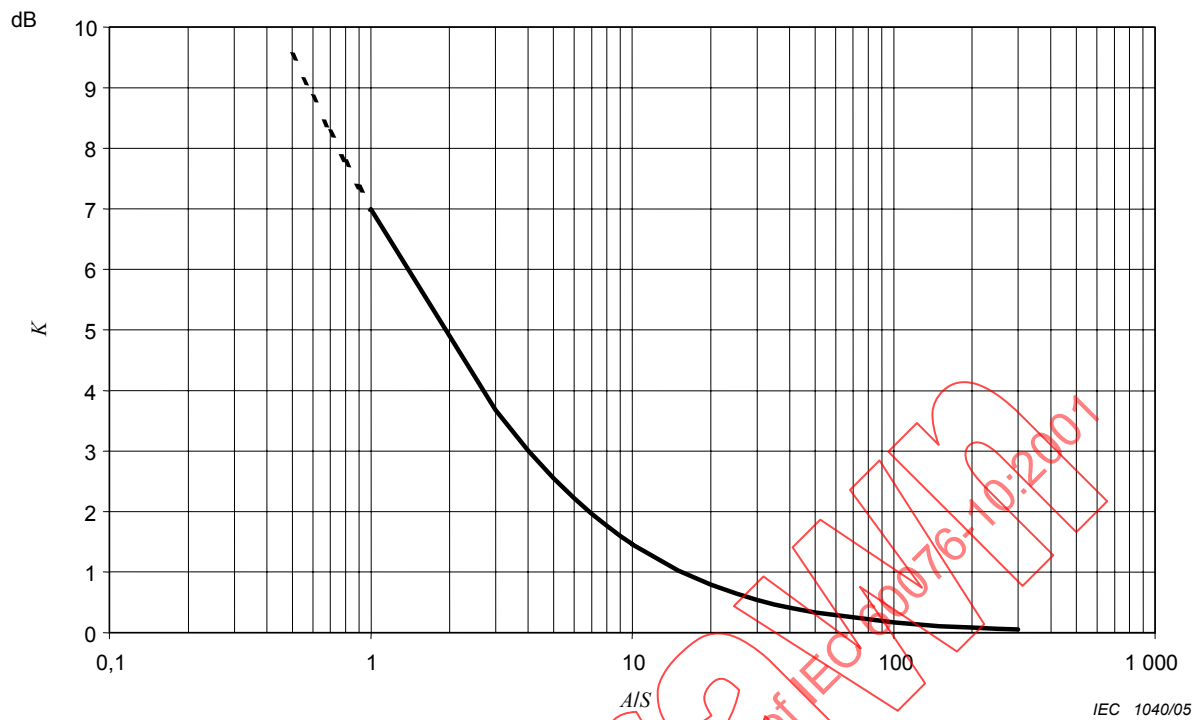


IEC 1039/05

Key

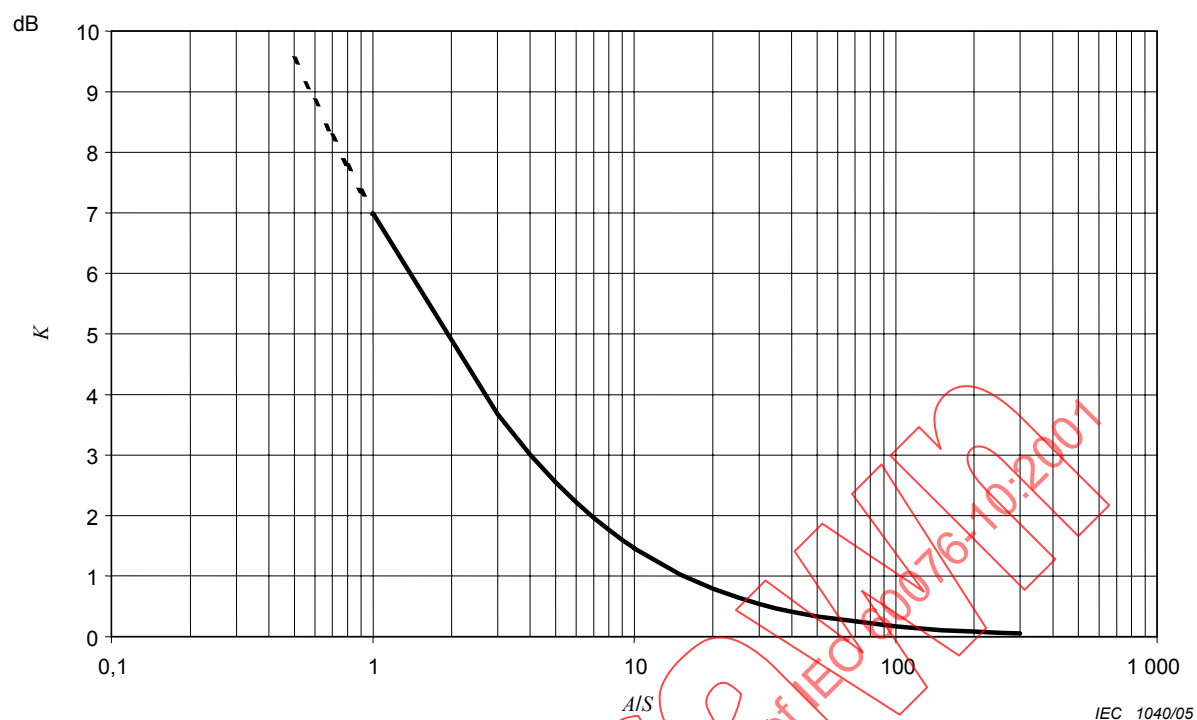
- 1 Principal radiating surface
- 2 Prescribed contour
- h Height of core with framework
- D Microphone spacing
- X Measurement distance

Figure 5 – Typical microphone positions for sound measurement on dry-type transformers without enclosures



$$K = 10 \lg \left(1 + \frac{4}{A/S} \right)$$

Figure 6 – Correction environnementale, K



$$K = 10 \lg \left(1 + \frac{4}{A/S} \right)$$

Figure 6 – Environmental correction, K

Annexe A (informative)

Mesures à bande étroite et temps synchrone

A.1 Introduction

Dans des circonstances où les niveaux acoustiques de fond aboutissent à des résultats non valables selon les critères établis en 11.3 et 12.3, les mesures à bande étroite ou temps synchrone peuvent offrir un moyen d'éliminer (par filtrage) des signaux parasites. Ces méthodes ne peuvent pas éliminer les effets des réflexions décrites par la correction environnementale K .

Le son du transformateur est caractérisé par des sons au double de la fréquence industrielle et aux harmoniques paires de cette fréquence. Par conséquent, le bruit sans corrélation peut être atténué en appliquant des mesures de moyenne de temps synchrone ou à bande étroite, uniquement aux fréquences concernées.

Les mesures à bande étroite et à temps synchrone sont valables uniquement lorsque les essais sont effectués avec les appareils de refroidissement et les pompes de circulation d'huile hors service.

Le choix d'une méthode de mesure alternative est soumis à l'accord entre le fabricant et l'acheteur.

Ces méthodes sont applicables pour les mesures de la pression acoustique et d'intensité acoustique et peuvent être utilisées pour le calcul des niveaux de puissance acoustique.

A.2 Mesures à bande étroite

Il convient que choisir la largeur de bande de l'analyseur, Δf , parmi les suivantes: 1/10 d'octave ou plus étroite, 10 % de la fréquence sélectionnée ou bien 5 Hz ou 10 Hz de largeur de bande.

NOTE Si la méthode de mesure à bande étroite est sélectionnée, l'harmonique effective générée peut tomber en dehors de la largeur de bande de l'instrument de mesure, lorsque la fréquence de l'alimentation se trouve encore à l'intérieur de ses limites de variation permise. Si la fréquence d'alimentation mesurée engendre une fréquence d'harmonique en dehors de la largeur de bande choisie (Δf), l'acceptation de cette mesure exige l'accord entre le fabricant et l'acheteur, ou bien il convient de sélectionner une largeur de bande supérieure.

Il convient que des mesures soient effectuées, comme décrit à l'Article 11 ou 12 à l'exception près qu'au lieu de mesurer les valeurs pondérées A simples, il convient que les niveaux soient mesurés sur des largeurs de bande centrées aux fréquences égales à deux fois la fréquence assignée et à ses multiples. Le niveau de pression acoustique pondérée A ou le niveau d'intensité acoustique à chaque position de mesure peut alors être calculé en utilisant l'une des équations suivantes (A.1) ou (A.2):

$$L_{pAi} = 10 \lg \left(\sum_{v=1}^{v_{\max}} 10^{0,1L_{pAv}} \right) \quad (A.1)$$

où

L_{pAi} est le niveau de pression acoustique pondérée A à la fréquence assignée et à la tension assignée;

Annex A (informative)

Narrow-band and time-synchronous measurements

A.1 Introduction

In circumstances where background noise levels lead to invalid results according to the criteria laid down in 11.3 and 12.3, narrow-band or time-synchronous measurements may offer a way to filter out unwanted signals. These methods cannot eliminate the effects of reflections described by the environmental correction K .

Transformer sound is characterized by tones at double the power frequency and at even harmonics of the power frequency. Therefore uncorrelated noise can be attenuated by applying time-synchronous averaging or narrow-band measurements at the relevant frequencies only.

Narrow-band and time-synchronous measurements can only be valid for tests made with any cooling equipment and oil circulating pumps out of service.

The choice of an alternative measurement method is subject to agreement between manufacturer and purchaser.

These methods are applicable for sound pressure and sound intensity measurements and can be used to calculate sound power levels.

A.2 Narrow-band measurements

The analyzer bandwidth, Δf , should be chosen from the following: 1/10 octave or narrower, 10 % of the selected frequency or 5 Hz or 10 Hz bandwidths.

NOTE If the narrow-band measuring method is selected, the actual harmonic generated may fall outside the bandwidth of the measuring instrument when the frequency of the power supply is still within its permitted variation. If the measured supply frequency generates a harmonic frequency outside the chosen bandwidth (Δf), the acceptance of the measurement requires agreement between manufacturer and purchaser, or a wider bandwidth should be selected.

Measurements should be made as described in either Clause 11 or Clause 12 except that, instead of measuring single A-weighted values, the levels should be measured over bandwidths centred at frequencies equal to twice the rated frequency and multiples thereof. The A-weighted sound pressure level or sound intensity level at each measurement position can then be calculated by using equations (A.1) or (A.2):

$$L_{pAi} = 10 \lg \left(\sum_{v=1}^{v_{\max}} 10^{0,1L_{pAv}} \right) \quad (\text{A.1})$$

where

L_{pAi} is the A-weighted sound pressure level at rated voltage and rated frequency;