

norme européenne

NF EN 60076-10

Décembre 2005

norme française

Indice de classement : **C 52-176-10**

ICS : 29.180

Transformateurs de puissance

Partie 10 : Détermination des niveaux de bruit

E : Power transformers - Part 10: Determination of sound levels

D : Leistungstransformatoren - Teil 10: Bestimmung der Geräuschpegel

Norme française homologuée

par décision du Directeur Général d'afnor le 20 novembre 2005 pour prendre effet à compter du 20 décembre 2005.

Remplace la norme homologuée NF EN 60551 (C 52-161) de mai 1993 et, son amendement A1 de juin 2000.

Correspondance

La norme européenne EN 60076-10:2001 a le statut d'une norme française. Elle reproduit intégralement la publication CEI 60076-10:2001.

Analyse

Le présent document 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.

dow : 2004-06-01

Descripteurs

Transformateur de puissance, bobine d'inductance, essai, détermination, pression sonore, intensité sonore, niveau.

Modifications

Par rapport aux documents annulés, adoption de la nouvelle norme européenne.

Corrections

éditée et diffusée par l'Union Technique de l'Electricité et de la Communication (UTE) – BP 23 – 92262 Fontenay-aux-Roses Cedex – tél: 01 40 93 62 00 – Fax: 01 40 93 44 08 – E-mail: ute@ute.asso.fr – Internet: <http://www.ute-fr.com/>
diffusée également par l'association française de normalisation (afnor), 11, avenue Francis de Pressensé, 93571 Saint-Denis La Plaine Cedex – tél. : 01 41 62 80 00

AVANT-PROPOS NATIONAL

Ce document constitue la version française complète de la norme européenne EN 60076-10:2001 en reprenant le texte de la publication CEI 60076-10:2001.

Les modifications du CENELEC (dans le présent document l'annexe ZA uniquement) sont signalées par un trait vertical dans la marge gauche du texte.

Après consultation de son Conseil d'Administration et enquête probatoire, l'Union Technique de l'Électricité et de la Communication a voté favorablement au CENELEC sur le projet de EN, le 12 mars 2001

**Correspondance entre les documents internationaux cités en référence
et les documents CENELEC et/ou français à appliquer**

Document international cité en référence	Document correspondant	
	CENELEC (EN ou HD)	français (NF ou UTE)
CEI 60076 Série	EN 60076 Série	NF EN 60076 Série (C 52-176-x)
CEI 60076-1 (1993)	EN 60076-1+A11 (1997)	NF EN 60076-1+A11 (2000) (C 52-176-1)
CEI 60076-11	EN 60076-11 (2004)	NF EN 60076-11 (2004) (C 52-176-11)
CEI 60289 mod (1988)	EN 60289 (1994)	NF EN 60289 (1996) (C 52-300)
CEI 61043 (1993)	EN 61043 (1994)	NF EN 61043 (1994) (S 31-108)
CEI 61378 Série	EN 61378 Série	NF EN 61378 Série (C 52-378-x)
CEI 61672-1	EN 61672-1 (2003)	NF EN 61672-1 (2003) (S 31-009-1)
CEI 61672-2	EN 61672-2 (2003)	NF EN 61672-2 (2003) (S 31-009-2)
ISO 3746 (1995)	EN ISO 3746 (1995)	NF EN ISO 3746 (1996) (S 31-027)
ISO 9614-1 (1993)	EN ISO 9614-1 (1995)	NF EN ISO 9614-1 (1995) (S 31-100-1)
<p><i>Note : Les documents de la classe C sont en vente à l'Union Technique de l'Électricité et de la Communication – BP 23 – 92262 Fontenay-aux-Roses cedex – Tél. : 01 40 93 62 00 ainsi qu'au service diffusion de l'Association française de normalisation – 11, avenue Francis de Pressensé – 93571 Saint-Denis La Plaine Cedex – Tél. : 01 41 62 80 00.</i></p> <p><i>Les documents CEI sont en vente à l'UTE.</i></p>		

NORME EUROPÉENNE

EN 60076-10

EUROPÄISCHE NORM

EUROPEAN STANDARD

Juillet 2001

ICS 29.180

Remplace EN 60551:1992 + A1:1997

Version française

Transformateurs de puissance
Partie 10: Détermination des niveaux de bruit
(CEI 60076-10:2001)

Leistungstransformatoren
Teil 10: Bestimmung der
Geräuschpegel
(IEC 60076-10:2001)

Power transformers
Part 10: Determination of sound levels
(IEC 60076-10:2001)

La présente Norme européenne a été adoptée par le CENELEC le 2001-06-01. Les membres du CENELEC sont tenus de se soumettre au Règlement Intérieur du CEN/CENELEC qui définit les conditions dans lesquelles doit être attribué, sans modification, le statut de norme nationale à la Norme européenne.

Les listes mises à jour et les références bibliographiques relatives à ces normes nationales peuvent être obtenues auprès du Secrétariat Central ou auprès des membres du CENELEC.

La présente Norme européenne existe en trois versions officielles (allemand, anglais, français). Une version dans une autre langue faite par traduction sous la responsabilité d'un membre du CENELEC dans sa langue nationale, et notifiée au Secrétariat Central, a le même statut que les versions officielles.

Les membres du CENELEC sont les comités électrotechniques nationaux des pays suivants: Allemagne, Autriche, Belgique, Danemark, Espagne, Finlande, France, Grèce, Irlande, Islande, Italie, Luxembourg, Norvège, Pays-Bas, Portugal, République Tchèque, Royaume-Uni, Suède et Suisse.

CENELEC

Comité Européen de Normalisation Electrotechnique
Europäisches Komitee für Elektrotechnische Normung
European Committee for Electrotechnical Standardization

Secrétariat Central: rue de Stassart 35, B - 1050 Bruxelles

EN 60076-10:2001

– 2 –

Avant-propos

Le texte du document 14/390/FDIS, future édition 1 de la CEI 60076-10, préparé par le CE 14 de la CEI, Transformateurs de puissance, a été soumis au vote parallèle CEI-CENELEC et a été approuvé par le CENELEC comme EN 60076-10 le 2001-06-01.

Cette Norme européenne remplace la EN 60551:1992 + A1:1997.

Les dates suivantes ont été fixées:

- date limite à laquelle la EN doit être mise en application
au niveau national par publication d'une norme
nationale identique ou par entérinement (dop) 2002-03-01
- date limite à laquelle les normes nationales
conflictuelles doivent être annulées (dow) 2004-06-01

Les annexes appelées "normatives" font partie du corps de la norme.

Les annexes appelées "informatives" ne sont données que pour information.

Dans la présente norme, l'annexe ZA est normative et les annexes A et B sont informatives.

L'annexe ZA a été ajoutée par le CENELEC.

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS.....	2
INTRODUCTION.....	4
1 Domaine d'application	6
2 Références normatives.....	6
3 Termes et définitions	7
4 Instrumentation et étalonnage	8
5 Choix de la méthode d'essai.....	8
6 Conditions de charge.....	9
6.1 Généralités.....	9
6.2 Courant à vide et tension assignée.....	9
6.3 Courant assigné et tension de court-circuit.....	9
6.4 Courant de charge réduite.....	10
7 Surface de rayonnement principale.....	10
7.1 Généralités.....	10
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	10
7.3 Auxiliaires de refroidissement montés sur une structure séparée espacée à une distance ≥ 3 m de la surface de rayonnement principale du transformateur.....	11
7.4 Transformateurs de type sec sans enveloppes	11
8 Contour prescrit.....	11
9 Positions de microphone	11
10 Calcul de la zone de la surface de mesure	12
10.1 Mesures effectuées à 0,3 m de la surface de rayonnement principale	12
10.2 Mesures effectuées à 2 m de la surface de rayonnement principale	12
10.3 Mesures effectuées à 1 m de la surface de rayonnement principale	12
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.....	12
11 Méthode de pression acoustique	13
11.1 Environnement d'essai	13
11.2 Mesures du niveau de la pression acoustique	15
11.3 Calcul du niveau de pression acoustique moyen.....	16
12 Méthode d'intensité acoustique.....	17
12.1 Environnement d'essai	17
12.2 Mesures du niveau d'intensité acoustique	18
12.3 Calcul du niveau d'intensité acoustique moyen.....	18
13 Calcul du niveau de puissance acoustique	19
14 Ajout des niveaux de puissance acoustique à courant à vide et de charge	19
15 Calculs en champ lointain.....	20
16 Présentation des résultats	20
Annexe A (informative) Mesures à bande étroite et temps synchrone.....	28
Annexe B (informative) Rapport type de la détermination du niveau acoustique	30
Annexe ZA (normative) Références normatives à d'autres publications internationales avec les publications européennes correspondantes.....	35

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.

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.

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*

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

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

3.8

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.

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);

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).

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 $< 2,5$ 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.

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.

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.

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.

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.

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.

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.

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.

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:

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

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;

- 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:

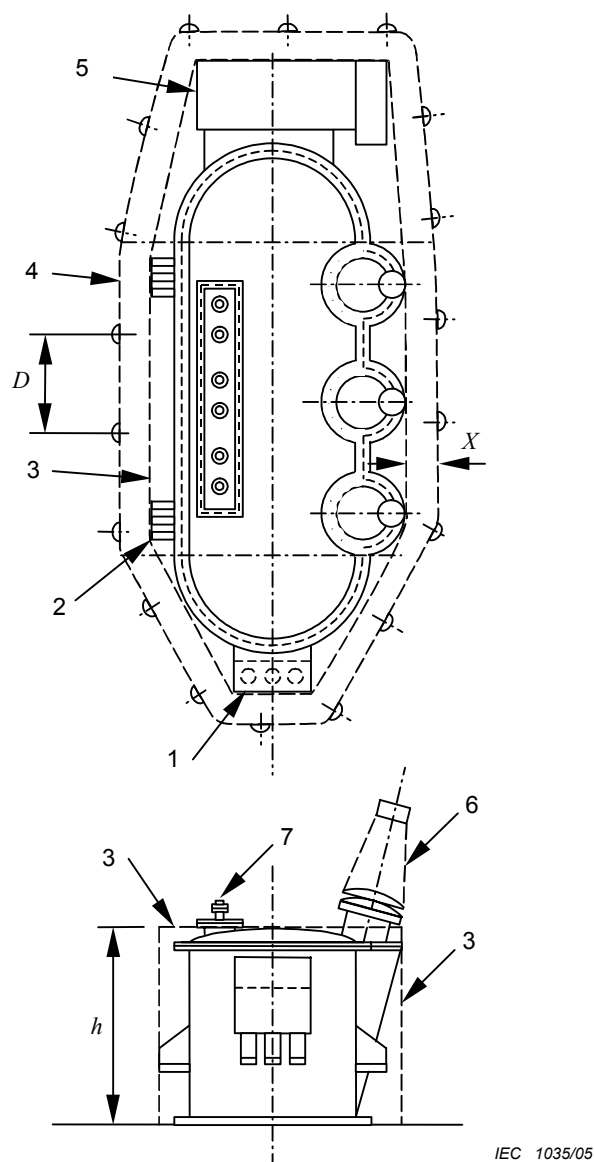
- m) les niveaux de pression acoustique pondérée A du bruit de fond à chaque position de mesure du bruit de fond;
- n) le niveau de pression du bruit de fond pondérée A moyen avant et après la séquence de mesures;
- o) les niveaux de pression acoustique pondérée A pour chaque position de mesure pour 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;

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

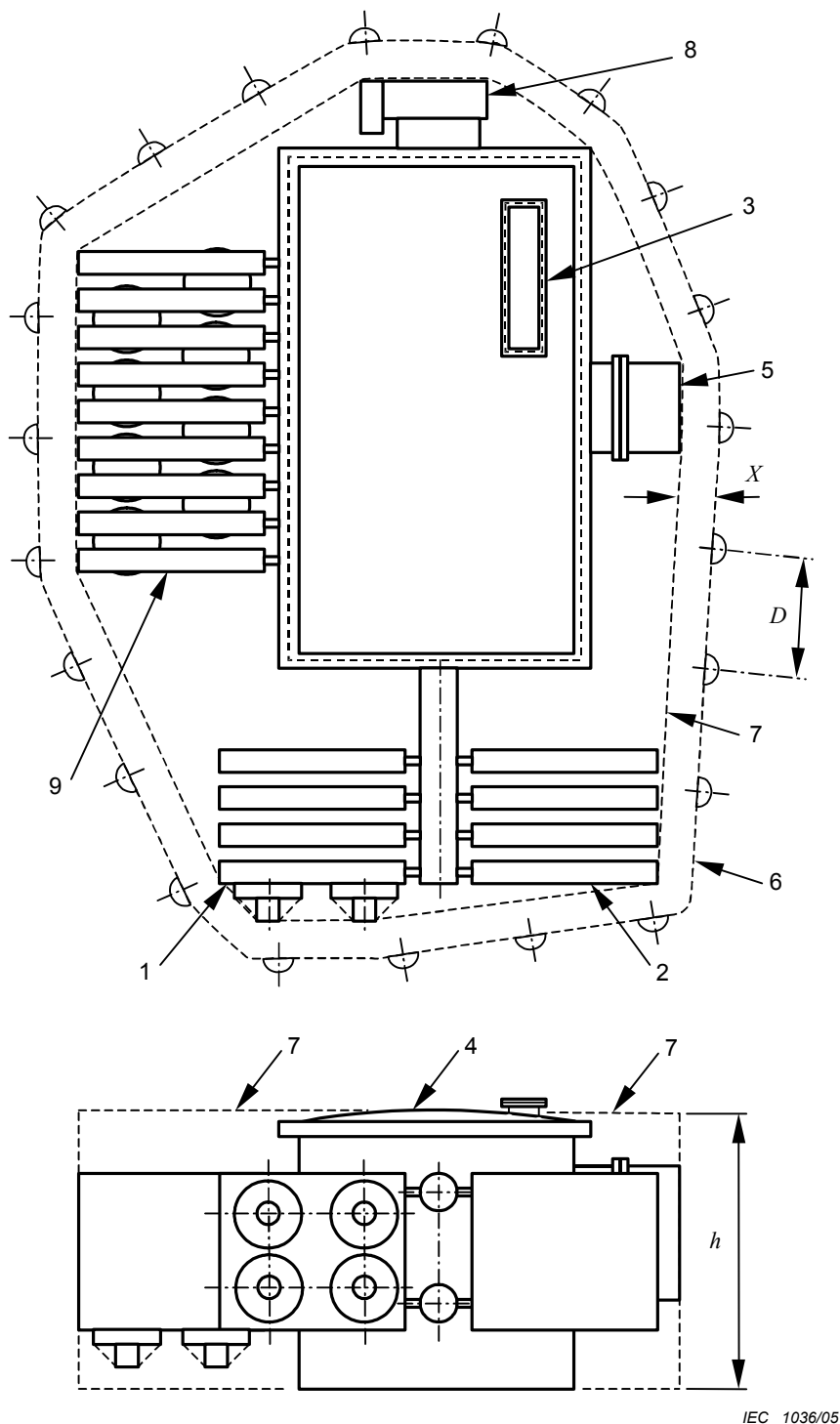
NOTE Un formulaire type pour la présentation des résultats est fourni à l'Annexe B.



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

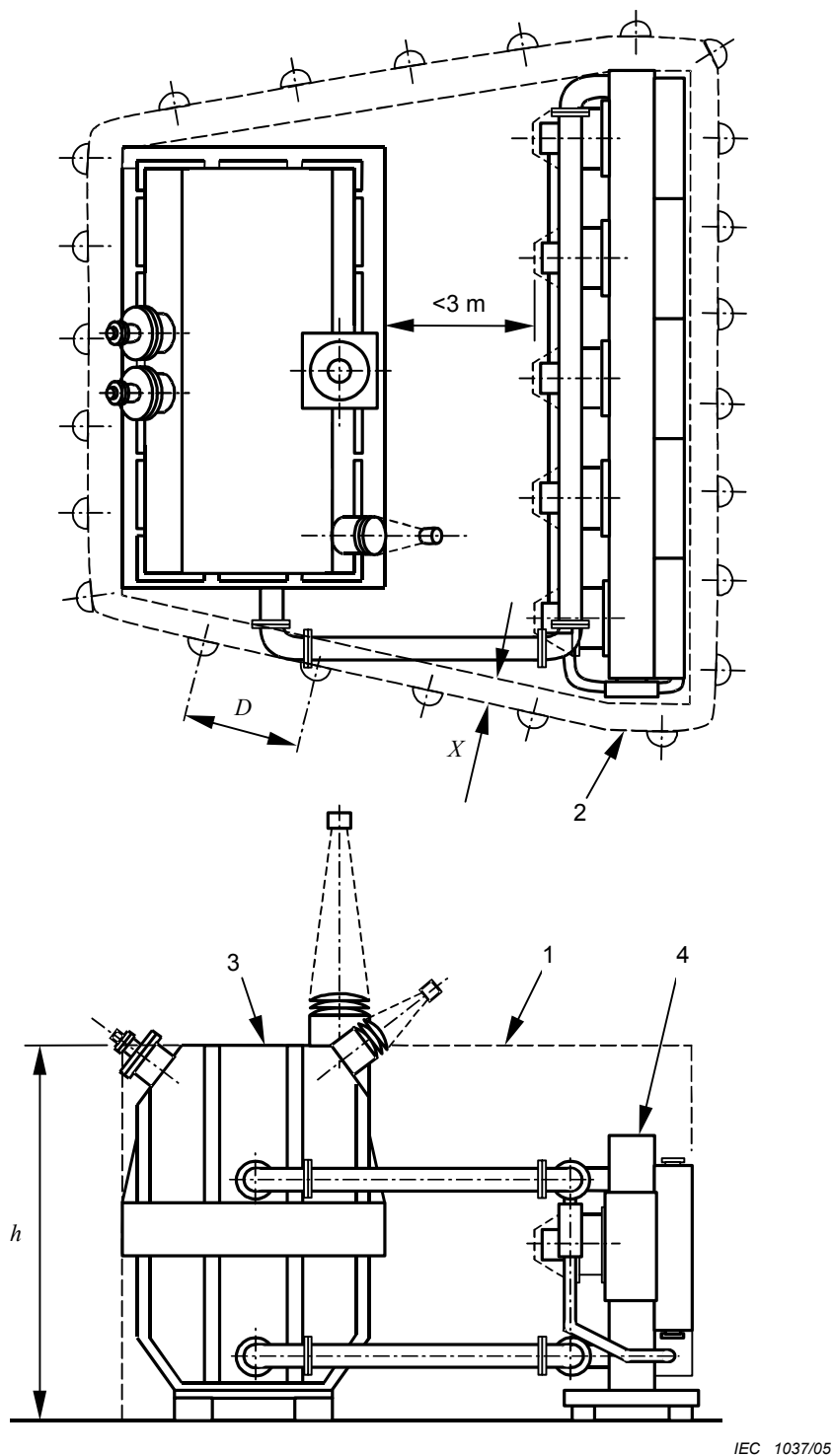


IEC 1036/05

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



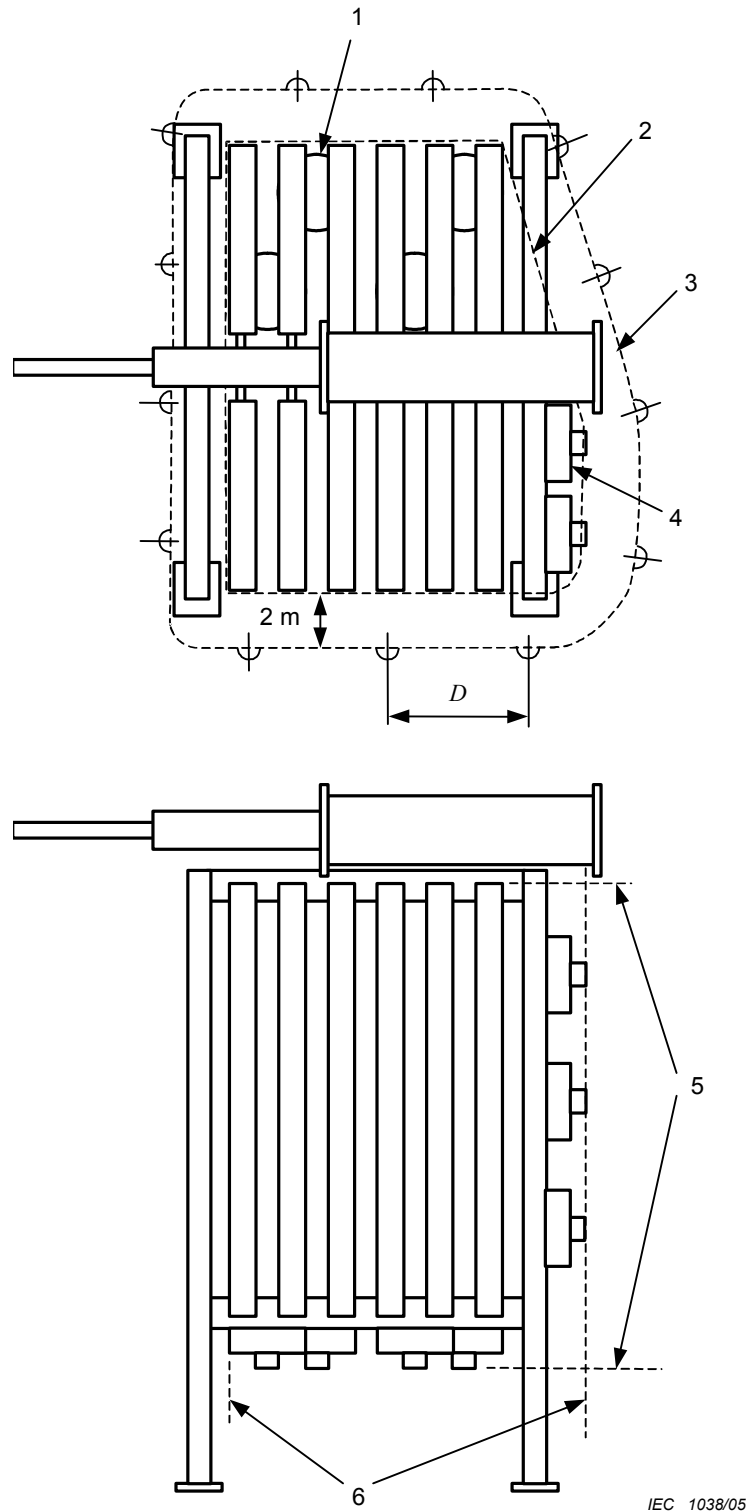
IEC 1037/05

Légende

- 1 Surface de rayonnement principale
- 2 Contour prescrit
- 3 Cuve de transformateur
- 4 Refroidissement à ventilation forcée

- D Ecartement entre microphones
- h Hauteur de la cuve
- X Distance de mesure

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

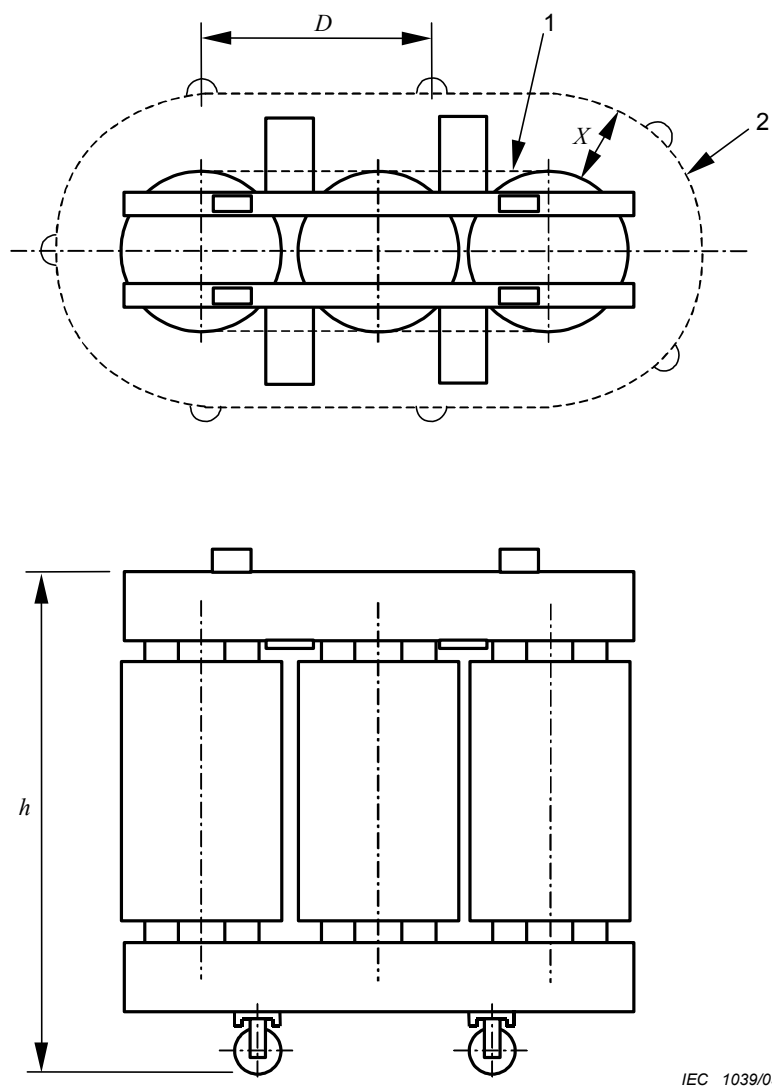


IEC 1038/05

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 | |

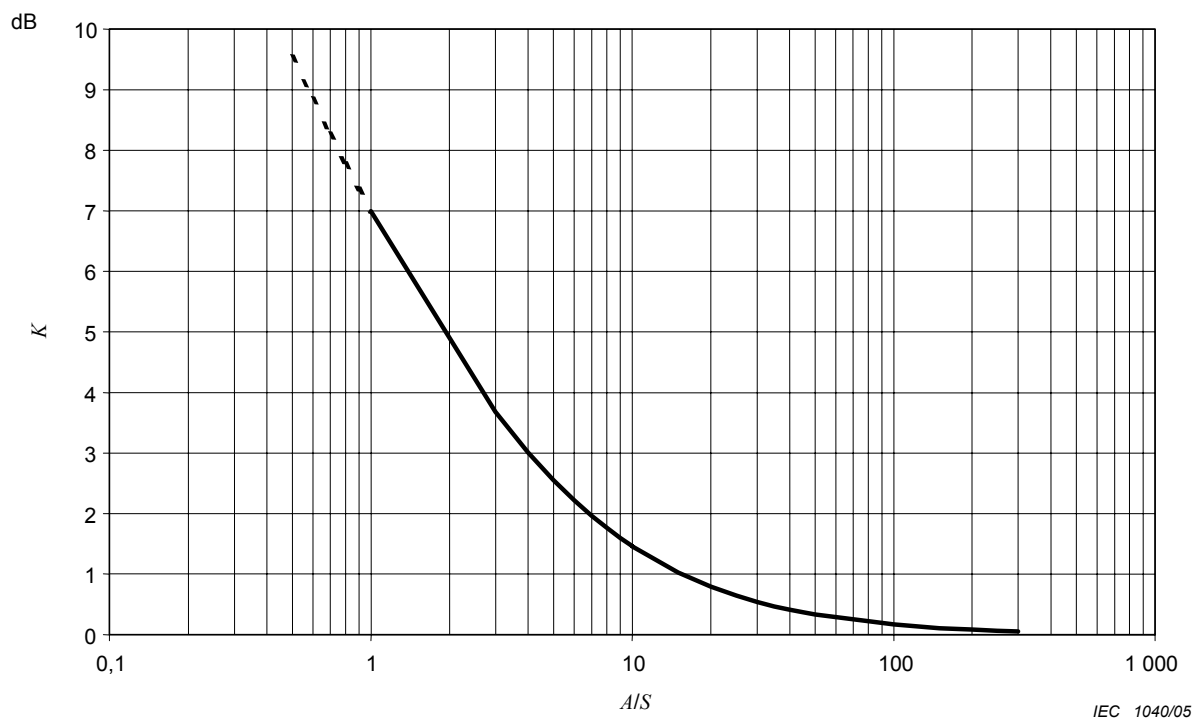
Figure 4 – Positions de microphone type pour la mesure acoustique sur des auxiliaires de refroidissement montés sur une structure séparée, espacée à une distance ≥ 3 m de la surface de rayonnement principale sur le transformateur



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



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

Figure 6 – Correction environnementale, K

Annexe A (informative)

Mesures à bande étroite et temps synchrone

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.

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):

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

où

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

- $L_{pA\nu}$ est le niveau de pression acoustique pondérée A mesuré sur la largeur de bande choisie, Δf , centrée sur une fréquence égale à $2f\nu$, à la fréquence assignée et la tension assignée;
- f est la fréquence assignée;
- ν est le numéro de séquence (1, 2, 3, etc.) de multiples des harmoniques paires de la fréquence assignée;
- $\nu_{\max} = 10$.

$$L_{IAi} = 10 \lg \left(\sum_{\nu=1}^{\nu_{\max}} 10^{0,1L_{pA\nu}} \right) \quad (\text{A.2})$$

où

- L_{IAi} est le niveau de pression acoustique pondérée A à la fréquence assignée et à la tension assignée;
- $L_{pA\nu}$ est le niveau de pression acoustique pondérée A mesuré sur la largeur de bande choisie, Δf , centrée sur une fréquence égale à $2f\nu$, à la fréquence et à la tension assignée;
- f est la fréquence assignée;
- ν est le numéro de séquence (1, 2, 3, etc.) de multiples des harmoniques paires de la fréquence assignée;
- $\nu_{\max} = 10$.

Mesures à temps synchrone

La moyenne synchrone est une moyenne d'enregistrement de temps numérisé du signal acoustique; le début de ce dernier est défini par un signal de déclenchement répétitif. En utilisant un signal de déclenchement synchrone avec le son du transformateur, par exemple la tension de réseau, tous les bruits non synchrones seront éliminés.

NOTE 1 Plusieurs sources de bruits industriels peuvent être synchrones. Dans ces cas, l'utilisation de cette méthode n'est pas appropriée.

L'atténuation du bruit ambiant, N , dépend du nombre de moyennes, n , qui sont incluses dans la mesure. L'amélioration du rapport signal/bruit en décibels, S/N , est égal à:

$$S/N = 10 \lg n \quad (\text{A.3})$$

Ce principe peut être appliqué à la fois aux mesures de la pression acoustique et celles de l'intensité acoustique. S'agissant des mesures d'intensité acoustique, les résultats obtenus par la moyenne de temps synchrone sont valables pour les valeurs de ΔL jusqu'à $S/N + 8 \text{ dB(A)}$.

NOTE 2 Lorsque des mesures à temps synchrone sont effectuées, il est essentiel que le microphone soit maintenu dans une position fixe par rapport au transformateur. Déplacer le microphone de façon continue sur le contour prescrit, selon la description figurant à l'Article 9, n'est pas possible dans ce cas.

Contrat		Site	
Fabricant		Lieu de fabrication	
Date de la mesure			
Détails relatifs aux transformateurs			
Numéro de série		MVA	
Gamme de prises de réglage		Rapport des tensions	
Connexions		Fréquence assignée	
Courant assigné		kA	Tension assignée
Détails relatifs au niveau garanti			
Pression acoustique /niveau de puissance		dB(A)	Distance de mesure, X
TRANSFORMATEUR / BOBINE D'INDUCTANCE SANS DISPOSITIFS DE REFROIDISSEMENT			
TRANSFORMATEUR / BOBINE D'INDUCTANCE AVEC DISPOSITIFS DE REFROIDISSEMENT			
DISPOSITIFS DE REFROIDISSEMENT SANS TRANSFORMATEUR / BOBINE D'INDUCTANCE			
TRANSFORMATEUR DE TYPE SEC SANS ENVELOPPE			
TRANSFORMATEUR DE TYPE SEC AVEC ENVELOPPE			
TRANSFORMATEUR DE TYPE SEC AVEC DISPOSITIFS DE REFROIDISSEMENT A L'INTERIEUR DE L'ENVELOPPE			
Position de prise			
Détails relatifs à la méthode de mesure			
Norme de mesure			
Pression acoustique / Intensité acoustique			
Pondérée A / Bande étroite/ Temps synchrone			
(supprimer selon le cas)			
Détails relatifs à l'appareil de mesure			
Produit		Type de compteur	Numéro de série
Type de microphone		Numéro de série	
Information sur l'étalonnage			

Objet d'essai

TRANSFORMATEUR / BOBINE D'INDUCTANCE SANS DISPOSITIFS DE REFROIDISSEMENT
TRANSFORMATEUR / BOBINE D'INDUCTANCE AVEC DISPOSITIFS DE REFROIDISSEMENT
DISPOSITIFS DE REFROIDISSEMENT SANS TRANSFORMATEUR / BOBINE D'INDUCTANCE
TRANSFORMATEUR DE TYPE SEC SANS ENVELOPPE
TRANSFORMATEUR DE TYPE SEC AVEC ENVELOPPE
TRANSFORMATEUR DE TYPE SEC AVEC DISPOSITIFS DE REFROIDISSEMENT A L'INTERIEUR DE L'ENVELOPPE

Plan de l'objet d'essai:

Y compris des positions de mesure, la position des traversées HT, la proximité de surfaces réfléchissantes acoustiques avoisinantes, par exemple matériels, murs, et positions pour les mesures de bruits de fond

Hauteur(s) du microphone au-dessus du sol:

Conditions d'essais

Tension d'excitation	kV
Fréquence	Hz
Position de prise	
Courant auquel les mesures sont effectuées (le cas échéant)	A
Distance de mesure, X	m
Longueur du ou des contours prescrits, l_m	m
Hauteur de l'objet d'essai, h	m
Zone de surface de mesure, S	m ²
$10\lg(S/S_0)$	

Hypothèse d'utilisation de la méthode de pression acoustique

Niveaux de pression acoustique pondérée A du bruit de fond					
Position en plan	Au début des essais	A la fin des essais	Position en plan	Au début des essais	A la fin des essais
1			6		
2			7		
3			8		
4			9		
5			10		
Moyenne arithmétique / d'énergie, $\overline{L_{bgA}}$					

Niveau de pression acoustique pondérée A, L_{pAi}								
Position en plan	Hauteur 1	Hauteur 2	Position en plan	Hauteur 1	Hauteur 2	Position en plan	Hauteur 1	Hauteur 2
1			11			21		
2			12			22		
3			13			23		
4			14			24		
5			15			25		
6			16			26		
7			17			27		
8			18			28		
9			19			29		
10			20			30		
Moyenne arithmétique / d'énergie, $\overline{L_{pA0}}$								

$\overline{L_{pA0}}$ – maximum $\overline{L_{bgA}}$ (doit être ≥ 3 dB(A)) dB(A)

Correction environnementale (doit être ≤ 7 dB), K dB

Niveau de pression acoustique pondérée A moyen corrigé, $\overline{L_{pA}}$ dB(A)

Niveau de puissance acoustique pondérée A calculé, L_{WA} dB(A)

Hypothèse d'utilisation de la méthode d'intensité acoustique

Mesures de l'intensité acoustique et de la pression acoustique pondérée A									
Position en plan	Hauteur 1		Hauteur 2		Position en plan	Hauteur 1		Hauteur 2	
	L_{IAi}	L_{pAi}	L_{IAi}	L_{pAi}		L_{IAi}	L_{pAi}	L_{IAi}	L_{pAi}
1					16				
2					17				
3					18				
4					19				
5					20				
6					21				
7					22				
8					23				
9					24				
10					25				
11					26				
12					27				
13					28				
14					29				
15					30				

Moyenne arithmétique / d'énergie, $\overline{L_{pA0}}$ dB(A)

Moyenne arithmétique / d'énergie, $\overline{L_{IA}}$ dB(A)

$\overline{L_{pA0}} - \overline{L_{IA}}$ (doit être ≤ 8 dB(A)) dB(A)

Niveau de puissance acoustique pondérée A calculé, L_{WA} dB(A)

Annexe ZA (normative)

Références normatives à d'autres publications internationales avec les publications européennes correspondantes

Cette Norme européenne comporte par référence datée ou non datée des dispositions d'autres publications. Ces références normatives sont citées aux endroits appropriés dans le texte et les publications sont énumérées ci-après. Pour les références datées, les amendements ou révisions ultérieurs de l'une quelconque de ces publications ne s'appliquent à cette Norme européenne que s'ils y ont été incorporés par amendement ou révision. Pour les références non datées, la dernière édition de la publication à laquelle il est fait référence s'applique (y compris les amendements).

Dans le cas où une publication internationale est modifiée par des modifications communes, indiqué par (mod), il faut tenir compte de la EN / du HD approprié(e).

<u>Publication</u>	<u>Année</u>	<u>Titre</u>	<u>EN/HD</u>	<u>Année</u>
CEI 60076	série	Transformateurs de puissance	EN 60076	série
CEI 60289 (mod)	1988	Bobines d'inductance	EN 60289	1994
CEI 60651	1979	Sonomètres	EN 60651	1994
CEI 60726 (mod)	1982	Transformateurs de puissance de type sec	HD 464 S1 ¹⁾ + A2 + A3 + A4	1988 1991 1992 1995
CEI 61043	1993	Electroacoustique - Instruments pour la mesure de l'intensité acoustique - Mesure au moyen d'une paire de microphones de pression	EN 61043	1994
CEI 61378	série	Transformateurs de conversion	EN 61378	série
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	EN ISO 3746	1995
ISO 9614-1	1993	Acoustique - Détermination par intensimétrie des niveaux de puissance acoustique émis par les sources de bruit - Partie 1: Mesurages par points	EN ISO 9614-1	1995

¹⁾ Le HD 464 S1 comprend l'A1:1986 à la CEI 60726:1982.