

NORME INTERNATIONALE CEI 60076-10-1

Première édition
2005-10

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

iTech Standards
(<https://standards.iteh.ai>)
Document Preview

[IEC 60076-10-1:2005](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iec/21341558-c269-422e-a6a0-2af7df2f59e3/iec-60076-10-1-2005)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iec/21341558-c269-422e-a6a0-2af7df2f59e3/iec-60076-10-1-2005>

*Cette version **française** découle de la publication d'origine **bilingue** dont les pages anglaises ont été supprimées. Les numéros de page manquants sont ceux des pages supprimées.*



Numéro de référence
CEI 60076-10-1:2005(F)

Numérotation des publications

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

Editions consolidées

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

Informations supplémentaires sur les publications de la CEI

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

- **Site web de la CEI (www.iec.ch)**

- **Catalogue des publications de la CEI**

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

- **IEC Just Published**

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

- **Service clients**

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

Email: custserv@iec.ch
Tél: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00

NORME INTERNATIONALE CEI 60076-10-1

Première édition
2005-10

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

ITeH Standards
(<https://standards.iteh.ai>)
Document Preview

[IEC 60076-10-1:2005](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iec/21584558-c269-422e-a6a0-2af7d2f59e3/iec-60076-10-1-2005)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iec/21584558-c269-422e-a6a0-2af7d2f59e3/iec-60076-10-1-2005>

© IEC 2005 Droits de reproduction réservés

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

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



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX

X

Pour prix, voir catalogue en vigueur

SOMMAIRE

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

TRANSFORMATEURS DE PUISSANCE –

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

AVANT-PROPOS

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

TRANSFORMATEURS DE PUISSANCE –

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

1 Domaine d'application

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

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

2 Références normatives

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

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

3 Physiques de base du bruit sonore

3.1 Pression acoustique, p

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

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

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

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

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

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

3.2 Vitesse de particules, u

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

3.3 Intensité acoustique, I

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

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

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

3.4 Puissance acoustique, W

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

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

3.5 Champs acoustiques

3.5.1 Généralités

Un champ acoustique est une région dans laquelle il y a du son. Le champ acoustique est classifié selon la manière dont les ondes acoustiques se propagent. La relation précise entre la pression acoustique et l'intensité acoustique est connue uniquement dans les deux premiers cas spéciaux décrits en 3.5.2 et 3.5.3.

3.5.2 Le champ libre

Ce terme décrit la propagation acoustique dans un espace libre idéalisé où il n'y aura pas de réflexions. La propagation acoustique d'une source ponctuelle dans un champ libre est caractérisée par une baisse de 6 dB du niveau de pression acoustique et du niveau d'intensité chaque fois que la distance de la source est doublée dans le sens de la propagation acoustique. Cela est également vrai lorsque la distance d'une source étendue est assez grande pour la traiter comme source ponctuelle. Ces conditions se retrouvent en plein air à une distance suffisante du sol et de tous les murs, ou dans une chambre entièrement anéchoïde où l'intégralité du bruit qui heurte les murs, le plafond ou le plancher est absorbée.

NOTE La CEI 60076-10 exige que toutes les mesures du son acoustique soient réalisées sur une surface réfléchissante. Par conséquent, les mesures dans les chambres entièrement anéchoïdes ne sont pas autorisées.

3.5.3 Le champ diffus

Dans un champ diffus, le son acoustique est reflété autant de fois qu'il voyage dans toutes les directions d'amplitude et de probabilité égales, d'où le même niveau de pression acoustique à tous les endroits. Ce champ est approché dans une salle à écho. Selon la loi de la conservation d'énergie, un état d'équilibre se produira quand la puissance acoustique absorbée ou transmise à travers l'enveloppe égale la puissance acoustique émise par la source. Ce phénomène peut avoir comme conséquence des niveaux très élevés de pression acoustique dans les environnements ayant de faibles caractéristiques d'absorption ou de transmission acoustique.

3.5.4 Champs acoustiques actifs et réactifs

La propagation acoustique correspond au flux d'énergie, mais il peut y avoir une pression acoustique mesurable quand il n'y a aucune propagation nette.

Si la pression acoustique et la vitesse acoustique d'une particule sont en phase, le résultat est un champ totalement actif. Dans ce cas, toute énergie émise par la source est transmise à l'extérieur.

Dans un champ réactif pur, il n'y a aucun flux d'énergie net; la pression acoustique est à 90° en discordance de phase avec la vitesse acoustique de particules. À tout moment, l'énergie peut voyager à l'extérieur, mais elle sera retournée à un instant postérieur; l'énergie est stockée comme dans un ressort. Sur un nombre entier de cycles, la moyenne du transfert d'énergie nette est nulle et par conséquent l'intensité acoustique mesurée est nulle.

En général, un champ acoustique aura les deux composantes active et réactive.

3.5.5 Ondes stationnaires

Les ondes stationnaires apparaissent dans les champs acoustiques en raison des réflexions entre une source de bruit et les limites du champ acoustique. Par exemple, dans une salle, l'existence d'une onde stationnaire de fréquence, f , dépend de la distance, d , entre les murs réfléchissants comme suit:

$$f = \frac{c}{2d} \quad (3)$$

où c est la vitesse du son dans l'air en m/s. A 20 °C, $c = 343$ m/s.

Une onde stationnaire ne transmet pas d'énergie au champ lointain; c'est un exemple d'un champ réactif. A l'intérieur de la région d'une onde stationnaire, de grandes variations de la pression acoustique mesurée se produiront sur de petites distances.

3.5.6 Le champ proche

Le champ proche est une région près d'une source de bruit, habituellement définie comme à l'intérieur d'une distance du $\frac{1}{4}$ de la longueur d'onde de la tonalité à mesurer. Dans cette région, l'air agit en tant que système de masse-ressort qui stocke l'énergie qui circule sans propagation. C'est pourquoi le champ proche peut avoir une composante réactive significative.

A 20 °C dans l'air, la longueur d'onde d'une tonalité de 100 Hz est de 3,4 m, alors que celle d'une tonalité de 1 kHz est de 0,34 m.

4 Sources et caractéristiques du son acoustique du transformateur et de la bobine d'inductance

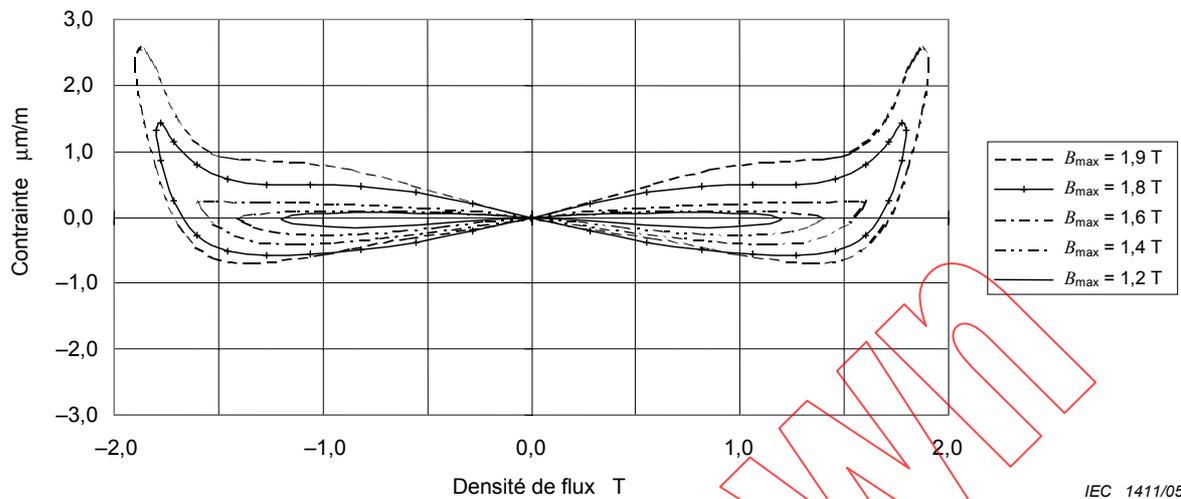
4.1 Généralités

Le bruit du transformateur et de la bobine d'inductance a plusieurs origines. L'importance relative de chaque mode de génération de son acoustique dépend de la conception des appareils et de leurs conditions de fonctionnement. La conception du transformateur ou de la bobine d'inductance modifiera également les vibrations produisant le son acoustique puisqu'elles partent de leur point origine jusqu'à la cuve du transformateur ou à l'enveloppe extérieure.

4.2 Sources

4.2.1 Magnétostriction

La magnétostriction est le changement des dimensions, qui est observé dans certains matériaux quand ils sont soumis à un changement de flux magnétique. Pour la tôle magnétique, le changement dimensionnel est dans la gamme de 10^{-7} à 10^{-5} mètres par longueur de mètre aux niveaux typiques d'induction. La Figure 1 montre la magnétostriction par rapport à l'induction pour un type de tôles du noyau mesuré pour cinq densités de flux différentes. Chaque boucle décrit un cycle de 50 Hz avec une densité de flux de B_{\max} .



IEC 1411/05

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

NOTE Pour une qualité de tôle donnée, la contrainte mécanique dans les tôles du noyau aura une influence importante sur la magnétostriction.

Les contraintes ne dépendent pas du signe de l'induction, mais uniquement de son amplitude et de l'orientation relative de certains axes cristallographiques du matériel. Par conséquent, en étant excitée par un flux sinusoïdal, la fréquence fondamentale de la variation des dimensions sera deux fois la fréquence d'excitation. L'effet est fortement non linéaire, particulièrement en haut, près de la saturation, qui correspond aux niveaux d'induction. La non-linéarité aura comme conséquence un résidu harmonique significatif dans le spectre de vibration du noyau. La Figure 2 montre la magnétostriction sous l'induction oscillante à $B = 1,8 \text{ T}$, 50 Hz. Elle a une périodicité de deux fois la fréquence d'excitation (avec ses harmoniques) et les crêtes à 5 ms et à 15 ms sont indiscernables.

Le son acoustique émis par les noyaux du transformateur dépend de la vitesse de vibrations, c'est-à-dire la dérivée temporelle de la magnétostriction (ligne pointillée) visible sur la Figure 2. L'effet de la dérivation est de souligner les harmoniques (déformation) du signal par rapport au fondamental $2 \times$ la fréquence d'excitation. Plusieurs multiples pairs de la fréquence d'excitation seront observés dans le spectre et le fondamental $2 \times$ la fréquence d'excitation est rarement la composante de fréquence la plus importante du son acoustique.

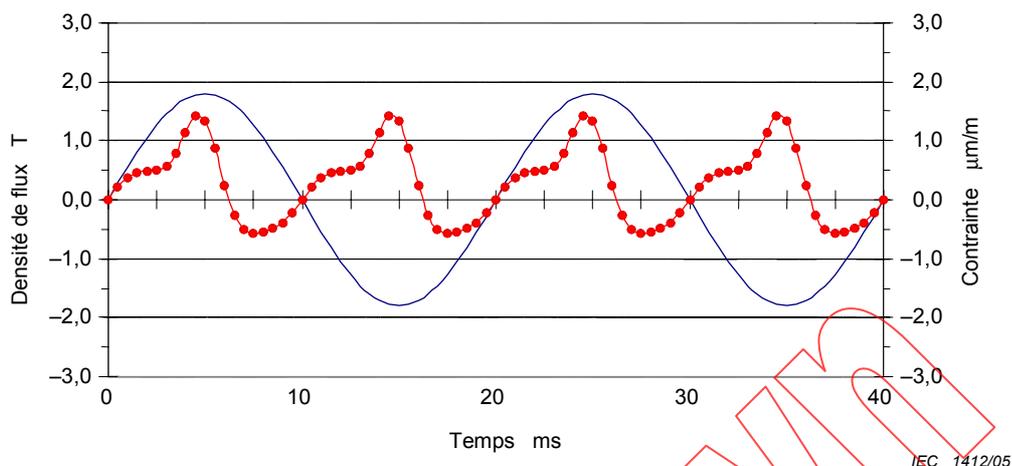


Figure 2 – Induction (ligne continue) et changement relatif de la longueur d’une tôle magnétique (ligne pointillée) en fonction du temps pour une induction maximale c.a. 1,8 Tesla, 50 Hz – pas de polarisation en courant continu

Si le flux a une polarisation en courant continu c.c., par exemple en raison d’une rémanence dans le noyau des mesures précédentes de la résistance des enroulements, ou en raison d’une composante continue dans le courant, l’importante non-linéarité de la magnétostriction cause une augmentation significative des amplitudes de vibration. Avec une polarisation en courant continu c.c. sur l’induction, il y a une différence importante entre les crêtes dans la magnétostriction et les crêtes positives et négatives dans la densité de flux; cela est évident à partir de la boucle à magnétostriction de la Figure 3.

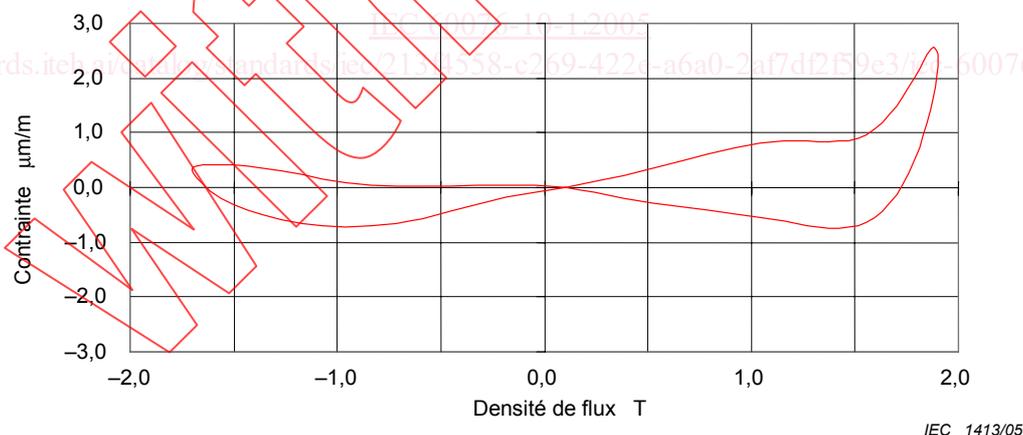


Figure 3 – Exemple de courbe montrant le changement relatif de la longueur de tôle pendant un cycle complet d’induction appliqué en courant alternatif avec une petite polarisation en courant continu: 1,8 T, 50 Hz et 0,1 T, 0 Hz

Le modèle de vibration est répété tous les 360°, ce qui correspond à toutes les 20 ms dans un système de 50 Hz, indiquant une magnétostriction à $1 \times$ la fréquence d’excitation. Voir la Figure 4. La présence des crêtes dans le spectre aux multiples impairs de la fréquence d’excitation est une indication claire de polarisation continue dans l’induction.

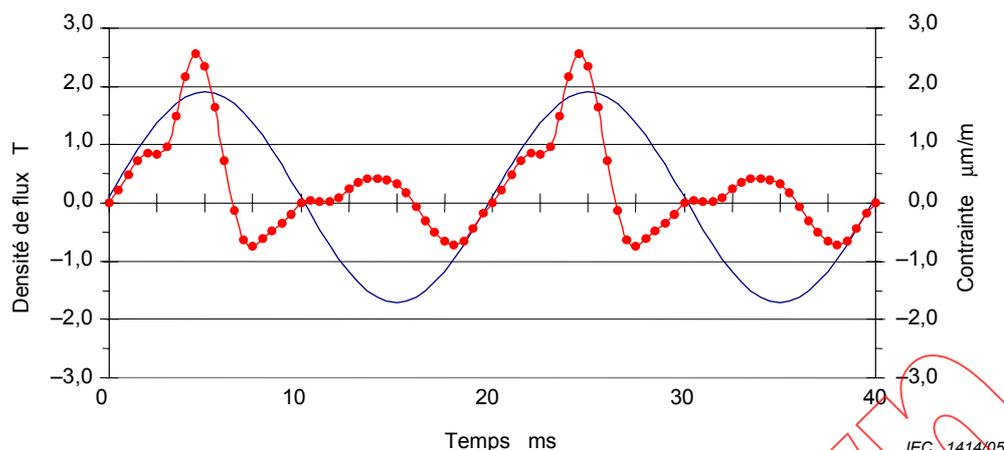
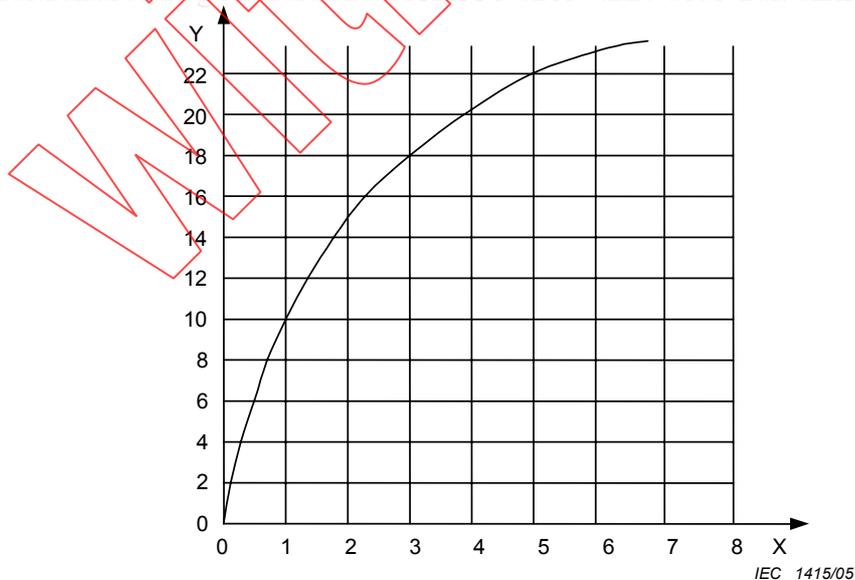


Figure 4 – Induction (ligne continue) et changement relatif de la longueur de tôle (pointillée) en fonction du temps dus à l'application de l'induction à courant alternatif avec une petite polarisation en courant continu: 1,8 T, 50 Hz et 0,1 T, 0 Hz

En raison de la possibilité de magnétisation en polarisation continue affectant les vraies mesures, il est recommandé qu'un transformateur subissant les essais acoustiques soit maintenu entièrement activé jusqu'à ce que les effets des courants d'appel et de rémanence aient disparu et les niveaux acoustiques soient stabilisés avant de faire des mesures. Si une magnétisation continue résiduelle est présente, le niveau acoustique peut être affecté pendant quelques minutes ou, dans les cas extrêmes, pendant plusieurs heures.

Le rapport entre le courant en polarisation continue et le courant à vide est un paramètre important pour la détermination de l'augmentation prévisible de la puissance acoustique provoquée par le courant en polarisation continue. La relation entre le courant en polarisation continue et l'augmentation du niveau acoustique a été mesurée sur un certain nombre de gros transformateurs de puissance; la Figure 5 montre un ensemble de ces données.



Légende

Axe X courant en polarisation continue par unité de courant à vide alternatif

Axe Y augmentation dans le niveau acoustique total dB(A)

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