

Si cette différence est dans la gamme de l'erreur de mesure pour les lectures individuelles, la mesure devient incertaine malgré une valeur de ΔL acceptable localement. Dans ce cas, seul le ΔL déterminé à partir de la moyenne sur la surface de mesure entière des niveaux de pression et d'intensité acoustique mesurés indique qu'il existe une incertitude.

Le point ci-dessus démontre que la validité des mesures d'intensité acoustique peut être jugée uniquement sur la base du ΔL déterminé à partir des niveaux de pression et d'intensité acoustique moyens mesurés sur la surface de mesure entière – fermée.

La limite de $\Delta L = 8$ dB indiqué dans la CEI 60076-10 est une conséquence de la précision des appareils de mesure disponibles au moment des travaux d'expérimentation.

7.6 Mesures en présence d'écrans d'insonorisation

Dans les cas où les transformateurs sont équipés d'un écran d'insonorisation qui laisse le dessus du transformateur découvert, par exemple une tôle d'acier décalée à 0,5 m du réservoir, le niveau sonore en dehors de cette enveloppe ne peut être déterminé de manière précise en utilisant un contour prescrit à 0,3 m comme décrit dans la CEI 60076-10. Cela vient du fait que l'énergie acoustique ne peut plus être rayonnée de manière égale dans toutes les directions et, par conséquent, l'approximation $S = 1,25 h/m$ ne sera pas valable. Cette méthode serait susceptible de sous-estimer la puissance acoustique rayonnée dans le champ éloigné.

Il convient d'étudier la possibilité de faire des mesures à une plus grande distance (au moins 2 m). Alternativement, les mesures faites à 0,3 m à partir de l'écran d'insonorisation pourraient être augmentées en calculant la puissance acoustique du transformateur sans enveloppe partielle selon les procédures empiriques du constructeur. Une fraction de cette puissance acoustique proportionnelle à la fraction de la surface découverte du transformateur pourrait alors être ajoutée de manière énergétique à la puissance acoustique mesurée à 0,3 m en dehors de l'écran afin d'arriver à une estimation. L'une ou l'autre approche nécessiterait un accord entre le fabricant et l'acheteur à l'étape de négociation de contrat.

8 Différence entre les essais d'usine et les mesures du niveau acoustique de champ

8.1 Généralités

Afin d'assurer la répétabilité, les mesures d'usine sont effectuées dans des conditions contrôlées spécifiées par les normes relatives aux mesures du son acoustique. Les mesures du niveau acoustique effectuées sur site sont susceptibles de différer de celles effectuées en usine étant donné que les conditions de fonctionnement de l'objet d'essai peuvent varier de celles utilisés dans l'usine. Par conséquent, il convient de prendre en considération les effets des facteurs décrits de 8.2 à 8.9 quand l'acheteur définit les exigences relatives au niveau sonore pour l'objet d'essai et lors de l'interprétation d'une mesure de niveau sonore effectuée sur le site.

8.2 Facteur de puissance de charge

Dans l'usine, les niveaux acoustiques du noyau magnétique et des enroulements sont mesurés séparément à tension assignée et sans courant de charge pour le noyau magnétique et à courant assigné et à tension de court-circuit pour les enroulements. Les deux niveaux de puissance acoustique sont ajoutés pour prévoir le niveau sonore total de l'objet d'essai en fonctionnement. Cependant, cela suppose que les vibrations soient non corrélées.

Dans les conditions de fonctionnement réelles, en fonction du facteur de puissance de la charge et de la direction de transmission de la charge, le flux magnétique dans les parties du noyau magnétique peut être modifié par la superposition du flux parasite provenant des enroulements. Un angle de phase entre la tension et le courant de charge peut par conséquent modifier, d'une petite quantité, la puissance sonore mesurée sur le site par rapport à la puissance sonore prévue par l'usine, généralement de l'ordre de 1 dB. Une charge réactive peut avoir un effet plus significatif, soit diminuer le niveau du bruit, soit l'augmenter.

8.3 Courant de charge

Sur le site, le courant de charge peut varier entre une condition à vide et une situation de surcharge. Entre ces extrémités, le niveau de puissance acoustique du courant de charge changera selon l'équation 13:

$$L_{WA,I} = L_{WA,IN} + 40 \lg \frac{I}{I_N} \quad (13)$$

où

$L_{WA,I}$ est le niveau de puissance sonore « pondération A » au courant de fonctionnement;

$L_{WA,IN}$ est le niveau de puissance acoustique « pondération A » au courant assigné;

I est le courant de fonctionnement;

I_N est le courant assigné.

Cette formule ne prend pas en considération les effets de magnétostriction provoqués par le flux de fuite dans le blindage magnétique dus au courant de charge.

Pour les transformateurs de forte puissance (MVA) à faible bruit, le courant de charge peut donc avoir un impact significatif sur le niveau sonore total. Les courants de charge modifient également la chute de tension interne dans les enroulements de transformateur, voir 8.2. C'est pourquoi la tension sur les enroulements varie, ce qui cause à son tour une variation dans le niveau sonore du transformateur.

Certains transformateurs sont fournis avec une bobine d'inductance interne, connectée dans le circuit d'enroulement tertiaire pour réduire le niveau de défaut. Par conséquent, la puissance du bruit rayonnée dépend fortement du courant de charge. Dans ces circonstances, le calcul de la puissance sonore à courant de charge peut ne pas être approprié. La mesure de la puissance sonore séparée de l'enroulement tertiaire court-circuité peut être exigée.

8.4 Tension de fonctionnement

La tension du réseau peut varier d'environ $\pm 10\%$ dans les conditions de fonctionnement réalistes et, par conséquent, l'induction du circuit magnétique et le niveau sonore de l'objet d'essai changeront. Pour les conceptions d'induction élevées dont le circuit magnétique approche de la saturation, une augmentation allant jusqu'à 10 dB peut être prévue.

8.5 Température de fonctionnement

Pour la majorité des transformateurs, le niveau sonore sera effectivement constant avec la température de fonctionnement variable; cependant, pour certaines unités, le niveau sonore peut augmenter avec l'augmentation de la température de fonctionnement. Dans ces cas, une augmentation typique correspondant au passage d'un démarrage à froid à l'équilibre aux conditions de fonctionnement normales peut être de 3 dB.

8.6 Les harmoniques dans le courant et la tension de charge

Durant les essais d'usine, un courant de charge sinusoïdal est utilisé pour mesurer le bruit d'enroulement. En service, l'alimentation de l'objet d'essai peut contenir des harmoniques. Le résidu harmonique dans le courant de charge peut avoir un impact plus important que prévu sur le niveau acoustique total du fait que des harmoniques plus élevées peuvent de manière constructive interférer avec la fréquence du courant de charge. Les fréquences doubles des fréquences harmoniques et la somme et la différence de toutes les fréquences correspondantes peuvent être produites. L'effet sur le niveau sonore global peut être significatif compte tenu que ces fréquences plus élevées sont moins atténuées par la pondération A que la fréquence fondamentale à 100 Hz ou à 120 Hz.

Les charges non linéaires dans les réseaux à basse tension peuvent causer des harmoniques dans la tension d'excitation, qui peut avoir comme conséquence une augmentation des niveaux sonores du circuit magnétique. Les courants harmoniques sont une cause importante de l'augmentation des niveaux sonores dans les transformateurs de courant de continu à haute tension (CCHT) et dans les transformateurs redresseurs.

8.7 Aimantation par courant continu

Même l'aimantation par courant continu modérée d'un noyau du transformateur, comme décrit en 4.2.1, aura comme conséquence une augmentation significative du niveau sonore du transformateur. Les noyaux modernes ont habituellement des courants à vide très bas. Une fois soumis aux courants de polarisation en mode continu, de tels noyaux peuvent développer des niveaux acoustiques d'au moins 20 dB supérieurs à la valeur d'essai d'usine.

Traditionnellement, les circuits tels que les câbles d'alimentation à courant continu pour les systèmes de transport ont été une source de champs continus dans les transformateurs. Cependant, avec l'augmentation de l'utilisation des appareils électroniques de puissance dans les systèmes de transport d'énergie et dans l'industrie, le nombre de sources possibles pour l'aimantation à courant continu augmente.

8.8 Effet de flux rémanent

Le flux rémanent a un effet semblable sur le niveau sonore à vide que sur celui produit par les courants polarisés en courant continu. Pendant l'examen d'usine, un grand soin est pris pour s'assurer que le flux rémanent provenant des essais de tension de choc de foudre ou des mesures de résistance est dissipé avant de réaliser les essais de niveau acoustique. On permet au niveau sonore du transformateur de se stabiliser avant de réaliser les mesures du niveau sonore.

Sur le site, l'activation et la désactivation du transformateur ou les actions de commutation dans le réseau peuvent introduire du flux rémanent et par conséquent augmenter le niveau sonore du transformateur. Dans les transformateurs reliés à des lignes de transmission de grande longueur, les tempêtes géomagnétiques peuvent également causer de sévères aimantations à courant continu. Ces effets de flux rémanent déclineront naturellement avec le temps; cela peut prendre quelques minutes ou, dans les cas extrêmes, plusieurs heures.

8.9 Formation de niveau sonore due aux réflexions

Dans le cas des installations intérieures, par exemple une salle avec des murs de coefficient d'absorption acoustique bas, le son acoustique du transformateur se reflétera dans les deux sens entre les murs donnant lieu à une formation du niveau de pression acoustique dans la salle. En prenant l'hypothèse d'un champ réverbéré, le nombre de décibels duquel le niveau de pression acoustique mesuré autour du transformateur augmentera peut être approché selon l'équation 14 ci-dessous:

$$\text{Accroissement de bruit en dB} = 10 \lg \left[1 + \frac{4(1-\alpha)A_T}{\alpha A_U} \right] \quad (14)$$

où

A_T est la superficie du transformateur;

A_U est la superficie de la surface réfléchissante;

α est le coefficient d'absorption moyen des surfaces.

Dans une salle avec des murs en béton (avec un coefficient d'absorption de 0,05) et avec une zone de surface réfléchissante acoustique de quatre fois celle du transformateur ($A_U/A_T = 4$), l'augmentation du niveau de pression acoustique au transformateur sera de 13 dB. Cependant, couvrir les surfaces réfléchissantes de cette salle avec un matériau absorbant de coefficient d'absorption 0,3 ramènera cette formation à 5,2 dB.

Des augmentations similaires du niveau de pression acoustique peuvent avoir lieu dans des installations avec des murs qui entourent partiellement le transformateur; dans ces cas, des techniques de calcul spéciales seront nécessaires pour quantifier l'augmentation du niveau de pression acoustique.

8.10 Influence de la distance lorsqu'on fait des mesures sur le site

La propagation du son est affectée par beaucoup de facteurs, tels que l'absorption atmosphérique, les barrières d'intercession et les surfaces réfléchissantes. Une explication de ces facteurs n'entre pas dans le domaine d'application du présent texte, toutefois ils sont mentionnés pour mettre au courant l'utilisateur de leur influence potentielle. Si les conditions du site qui permettent d'influencer la propagation du son existent et qu'il est prévu de faire des mesures sur place à une distance significative de l'objet d'essai, il convient à l'utilisateur de ce guide de consulter les manuels de propagation acoustiques ou de consulter un expert dans la conduction des calculs précis de propagation du son.

En prenant l'hypothèse d'une propagation hémisphérique et en négligeant l'absorption par le sol et les influences atmosphériques, le niveau de pression acoustique mesuré à une distance R (où R est > 30 m) peut être estimé selon l'équation 15 suivante:

$$L_{pAR} = L_{WA} - 10 \lg \frac{2\pi R^2}{S_0} \quad (15)$$

où

L_{pAR} est le niveau de pression acoustique «pondération A» à distance R ;

L_{WA} est le niveau de puissance acoustique «pondération A»;

S_0 est la surface de référence, égale à 1 m².

8.11 Transformateurs de convertisseur avec bobines d'inductance et/ou transformateurs d'interphase à noyau saturable

A la différence des transformateurs conventionnels, le niveau acoustique des transformateurs de convertisseur est affecté par la présence de bobines d'inductance et/ou de transformateurs d'interphase à noyau saturable. L'ampleur de cet effet dépend du degré de saturation des bobines d'inductance saturables et du courant de charge dans des transformateurs d'interphase. Le son acoustique des transformateurs de convertisseur est étudié dans la brochure technique du CIGRÉ numéro 202¹⁾.

¹⁾ Brochure technique du CIGRÉ n° 202 :2002, "HVDC stations audible noise"

9 Spécification des niveaux acoustiques de transformateur et de bobine d'inductance

9.1 Généralités

Le fait qu'il y a un certain nombre d'options disponibles pour définir les niveaux acoustiques signifie qu'il est nécessaire pour l'acheteur de considérer la façon de régler un niveau de garantie en passant une commande pour de nouveaux appareils. Ainsi, toute ambiguïté sera évitée dans l'interprétation des résultats obtenus lorsque l'unité est soumise à ses essais d'acceptation finaux.

Avant qu'un contrat formel soit signé, il convient que les informations suivantes fassent l'objet d'un accord entre le fabricant et l'acheteur:

- la garantie du niveau de pression ou de puissance acoustique;
- le choix de la méthode d'essai (pression acoustique ou intensité acoustique);
- toute variation autorisée des exigences de la CEI 60076-10 (telle que l'utilisation d'une distance de mesure différente pour compenser la présence d'une enveloppe de bruit partielle ou d'un écran d'insonorisation);
- les conditions de charge (telles que la tension d'essai et le facteur de puissance);
- la présence de matériel auxiliaire, tel que des refroidisseurs;
- le type de régulation de tension, flux constant ou variable;
- les conditions de fonctionnement sur site (optionnelles).

Dans certains pays, il existe une législation qui exige des produits fonctionnant dans les limites de bruit indiquées. Dans de tels pays, il convient de veiller à s'assurer de la conformité avec ces exigences légales.

De même, des normes de performances de produit ont été produites dans quelques pays qui reflètent les «règles de l'art» concernant divers attributs, y compris les niveaux acoustiques du produit. La conformité à ces valeurs est fortement recommandée.

9.2 Niveaux acoustiques de garantie

L'acheteur détient normalement un niveau de garantie pour le niveau sonore demandé en considérant l'environnement du site conjointement avec les facteurs décrits à l'Article 8. Ce niveau de garantie sera utilisé par le fabricant en concevant le transformateur ou la bobine d'inductance. La meilleure façon d'exprimer un niveau de garantie est comme niveau de puissance acoustique. Alternativement, l'acheteur peut demander pour un niveau de pression acoustique de surface moyenne mesuré à une distance spécifique, voir 11.3 de la CEI 60076-10. Exceptionnellement, l'acheteur peut désirer un niveau de pression acoustique destiné à une plus grande distance de l'unité, voir l'Article 15 de la CEI 60076-10, généralement pour être conforme avec les règlements nationaux en ce qui concerne les valeurs du niveau acoustique à la ligne de clôture d'une installation. La prévision de ces valeurs nécessite la connaissance de la propagation du son dans l'environnement spécifique de l'installation; normalement, cela n'est pas mis à disposition du fabricant de transformateur. Il peut donc être plus approprié pour l'acheteur d'établir le niveau de garantie à une des distances normalisées ou le niveau de puissance acoustique.

9.3 Choix de la méthode d'essai

9.3.1 Généralités

Historiquement, le niveau sonore d'un transformateur ou d'une bobine d'inductance a été généralement déterminé par la méthode de pression acoustique. Soit le niveau de pression acoustique moyen à une distance spécifiée de l'objet d'essai soit un niveau de puissance acoustique déterminé à partir de celui qui a été cité dans les rapports d'essai. Tout cela a mené à une grande base de données de résultats disponibles pour aider à estimer l'influence de la nouvelle unité sur son environnement prévu; ainsi la méthode préférentielle qui est souvent utilisée pour la mesure est la méthode de pression acoustique. Cependant, les mesures de pression acoustique nécessitent des corrections pour l'influence des niveaux et des réflexions du bruit de fond. Alternativement, les mesures d'intensité acoustique peuvent être utilisées pour déterminer un niveau de puissance acoustique; cela évite le besoin de facteurs de correction aussi longtemps que l'environnement d'essai répond aux critères appropriés.

Avant de signer un contrat formel, il est nécessaire de convenir de la méthode d'essai qui sera utilisée.

9.3.2 Mesures alternatives pour transformateurs à faible bruit

Lorsque le différentiel demandé entre le niveau acoustique de l'objet d'essai et le niveau du bruit de fond ne peut pas être réalisé dans l'usine, une méthode alternative de mesure peut être considérée. Le son acoustique du transformateur se compose de tonalités au double de la fréquence du réseau et aux harmoniques paires de cette fréquence (hypothèse d'excitation sinusoïdale et aucune polarisation en courant continu). Par conséquent, en appliquant des mesures de moyenne en temps synchrone ou à bande étroite, uniquement aux fréquences concernées, il est possible d'atténuer le bruit non corrélé.

Bien que ces méthodes réduisent l'effet du bruit de fond non corrélé, elles n'éliminent pas l'effet des réflexions. Par conséquent, il peut être nécessaire de replacer l'objet d'essai à un emplacement approprié à l'extérieur où les influences du bruit de fond et les réflexions sont réduites au minimum.

Le bruit de refroidissement est à large bande, donc ces méthodes ne peuvent pas être utilisées lorsque l'appareil de refroidissement auxiliaire est en fonctionnement.

9.3.2.1 Mesures à bande étroite

Il convient que l'acceptabilité de l'utilisation de cette technique de mesure fasse l'objet d'un accord avec l'acheteur. Cela ne se produit pas nécessairement à l'établissement de l'offre étant donné qu'il peut ne pas être connu que les mesures à bande étroite sont demandées (par exemple, si l'objet d'essai est trop silencieux comparé au bruit de fond) jusqu'à ce que des essais acoustiques soient commencés sur l'objet d'essai complet.

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 permises. 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 au moment de l'essai ou bien il convient de sélectionner une largeur de bande supérieure (ou une largeur de bande contenant cette harmonique).

9.3.2.2 Mesures en temps synchrone

La moyenne en temps synchrone est une moyenne d'enregistrements de temps numérisés du signal sonore, dont le début 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.

Il convient que l'acceptabilité de l'utilisation de cette technique de mesure fasse l'objet d'un accord avec l'acheteur. Cela ne se produit pas nécessairement à l'établissement de l'offre étant donné qu'il peut ne pas être connu que des mesures à bande étroite sont demandées (par exemple si l'objet d'essai est trop silencieux comparé au bruit de fond) jusqu'à ce que les essais acoustiques commencent sur l'objet d'essai complet.

Lorsque des mesures à temps synchrone sont effectuées, il est essentiel que le microphone soit maintenu dans une position fixe par rapport au transformateur. On ne permet pas dans ce cas-ci de déplacer le microphone sans interruption sur le contour prescrit comme décrit à l'Article 8 de la CEI 60076-10.

9.4 Conditions de charge

9.4.1 Son acoustique du courant de charge

Historiquement, des mesures du niveau acoustique sur des transformateurs ont été réalisées dans des conditions de circuit ouvert avec seulement le courant magnétisant passant dans les enroulements. Cela était acceptable étant donné que la déformation magnétostrictive du noyau est la source primaire de bruit. Cependant, les conceptions de transformateur avec un niveau acoustique à vide faible, par exemple avec des niveaux d'induction bas, ont réduit le son acoustique produit par le circuit magnétique de telle façon que le son acoustique du courant de charge provoqué par les enroulements peut être significatif. Avant de signer un contrat formel, il est nécessaire de convenir si une mesure dans des conditions de charge sera exigée.

Une indication pour connaître si une mesure dans des conditions de charge peut être applicable est donnée par la formule suivante de la CEI 60076-10:

$$L_{WA,IN} \approx 39 + 18 \lg \frac{S_r}{S_p} \quad (16)$$

où

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

S_r est la puissance assignée en MVA ;

S_p est la puissance de référence (1 MVA).

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

Si $L_{WA,IN}$ s'avère être supérieure ou égale de 8 dB au niveau de puissance acoustique garanti, les mesures de niveaux de puissance à courant de charge ne sont pas appropriées.

NOTE L'équation 16 a été déduite des données publiées par le groupe de travail 12-08 du CIGRÉ en 1988. En général, une alternative informative serait de repasser en revue les résultats d'essais pour des unités similaires

9.4.2 Courant de charge réduit

Si les mesures ne peuvent être réalisées qu'à courant réduit, en raison des limitations de capacités, le niveau de puissance acoustique au courant assigné doit être calculé en utilisant la formule 17:

$$L_{WA,IN} = L_{WA,IT} + 40 \lg \frac{I_N}{I_T} \quad (17)$$

où

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

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

I_N est le courant assigné;

I_T est le courant réduit.

L'équation prend en considération uniquement le bruit d'enroulement, et est valable pour un courant réduit ≥ 70 % du courant assigné. Il convient que l'utilisation de cette approximation fasse l'objet d'un accord au moment de la signature du contrat formel.

9.4.3 Essais de bobines d'inductance de grande taille

Il peut y avoir une puissance insuffisante pour activer les bobines d'inductance de grande taille qui exigent des courants de charge très élevés pour reproduire le niveau acoustique attendu en service. Si les conditions de pleine charge ne peuvent pas être réalisés, il peut être nécessaire d'effectuer les mesures sur le site. Alternativement, dans le cas des éléments triphasés qui ont un chemin pour le flux de retour (c'est-à-dire une bobine d'inductance de cinq branches), le niveau du son peut être mesuré pour les trois monophasés séparés à pleine charge et les valeurs obtenues additionnées de manière logarithmique. Cela fournit une approximation du niveau sonore total étant donné qu'on suppose que les trois sources sonores sont non corrélées, ce qui ne sera pas le cas lorsque l'unité est en fonctionnement. Il convient que l'utilisation de cette approximation fasse l'objet d'un accord au moment de la signature du contrat formel. Pour tous les autres éléments triphasés, cette approximation ne sera généralement pas valable.

9.5 Appareil de refroidissement auxiliaire

Si les auxiliaires de refroidissement sont montés séparément mais à moins de 3 m de la paroi du réservoir, le contour prescrit comme défini dans la CEI 60076-10 inclut à la fois le transformateur et les auxiliaires de refroidissement. Les essais acoustiques donnent donc un niveau sonore combiné pour les deux éléments. Cela est acceptable lorsque aucun capot d'insonorisation ne doit être fixé au transformateur au site; cependant, quand un tel capot est spécifié, un essai plus approprié sera de réaliser deux essais séparés déterminant de ce fait les différents niveaux acoustiques des deux éléments.

Il est recommandé de choisir l'option appropriée donnée en 11.2 et 12.2 de la CEI 60076-10.

9.6 Régulation de tension

Pour des transformateurs avec régulation de flux variable, il convient de spécifier la tension et la position de prise auxquelles les mesures du niveau sonore doivent être réalisées.

9.7 Conditions de fonctionnement sur site

Il est recommandé à l'acheteur d'indiquer au fabricant toutes les conditions sur site qui peuvent avoir un effet sur la quantité du son acoustique produit par le transformateur, particulièrement par la présence des harmoniques et par la polarisation à courant continu dans le réseau.

9.8 Exemple de spécification de bruit pour transformateur de puissance et auxiliaires de refroidissement (voir Annexe A)

L'élément principal doit avoir un niveau de puissance acoustique déterminé selon la CEI 60076-10 par l'intermédiaire de la méthode de pression acoustique de 90 dB(A). L'élément principal doit être testé à la tension assignée et au courant à vide (voir 6.1 et 6.2 de la CEI 60076-10) avec le changeur de prise sur la prise principale.

Les auxiliaires de refroidissement doivent avoir un niveau de puissance acoustique déterminé selon la CEI 60076-10 par l'intermédiaire de la méthode de pression acoustique de 85 dB(A). Les auxiliaires de refroidissement doivent être testés séparément à partir de l'élément principal.

9.9 Exemple de spécification de bruit pour un transformateur de distribution (voir Annexe B)

L'élément doit avoir un niveau de puissance acoustique total déterminé selon la CEI 60076-10 par l'intermédiaire de la méthode d'intensité acoustique synchrone de 60 dB(A). L'élément principal doit être testé séparément à courant à vide et à tension assignée (voir 6.1 et 6.2 de la CEI 60076-10) et à courant assigné et à tension de court circuit (voir 6.3 de la CEI 60076-10). Ces deux valeurs doivent être additionnées de manière logarithmique pour donner le niveau de puissance acoustique total (voir l'Article 14 de la CEI 60076-10). Les mesures faites aux courants de charge réduits ne doivent pas être acceptées.

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

A.1 Correction environnementale

A.1.1 Montage de l'essai

La salle d'essai est de 20 m de large, de 25 m de haut et de 40 m de long et possède un coefficient d'absorption acoustique moyen de 0,15. Les objets d'essai sont un transformateur et une batterie de refroidisseur séparée qui se trouve à plus de 3 m de la cuve du transformateur. La hauteur du transformateur, h , est de 3 m avec une longueur du contour prescrit, l_m , de 27 m, alors que la hauteur de la batterie de refroidisseur, h , est de 4,5 m avec une longueur du contour prescrit, l_m , de 34 m.

A.1.2 Calcul de la correction environnementale, K

La correction environnementale, K , prend en compte l'influence des réflexions acoustiques non désirées provenant des limites de la salle et/ou des objets réfléchissants à proximité de l'objet d'essai.

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

S est calculé dans la formule A.3. La valeur de A en mètres carrés est donnée par la formule A.2:

$$A = \alpha S_v \quad (\text{A.2})$$

où

α est le coefficient d'absorption acoustique moyen, voir Tableau 1 de la CEI 60076-10;

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

La valeur de S_v peut être calculée comme suit:

Zone de surface des parois d'extrémité	= $2 \times 20 \times 25 = 1\,000 \text{ m}^2$
Zone de surface des parois latérales	= $2 \times 25 \times 40 = 2\,000 \text{ m}^2$
Zone de surface du sol et du plafond	= $2 \times 20 \times 40 = 1\,600 \text{ m}^2$

ce qui donne une zone de surface totale S_v pour la salle d'essai de $4\,600 \text{ m}^2$.

Par conséquent, à partir de l'équation A.2, $A = 0,15 \times 4\,600 = 690 \text{ m}^2$

A.1.3 Calcul de la zone de la surface de mesure

A.1.3.1 Transformateur

Comme le transformateur et ses auxiliaires de refroidissement seront placés à plus de 3 m de distance sur le site, des mesures séparées sur le transformateur seront effectuées à 0,3 m de la surface de rayonnement principale. La zone S de la surface de mesure est donnée par la formule A.3:

$$S = 1,25 h l_m \quad (\text{A.3})$$

où

h est la hauteur du transformateur;

l_m est la longueur du contour prescrit.

$$S = 1,25 \times 3 \times 27 = 101,25 \text{ m}^2$$

La correction environnementale, K , pour un essai réalisé sur le transformateur peut être calculée:

$$K = 10 \lg \left(1 + \frac{4}{690/101,25} \right) = 2 \text{ dB}$$

A.1.3.2 Batterie de refroidisseur

Les mesures sur les auxiliaires de refroidissement seront 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 l'équation A.4:

$$S = (h + 2) l_m \quad (\text{A.4})$$

où h est la hauteur des auxiliaires de refroidissement incluant les ventilateurs.

$$S = (4,5 + 2) \times 34 = 221 \text{ m}^2$$

La correction environnementale, K , pour un essai réalisé sur la batterie de refroidisseur peut maintenant être calculée:

$$K = 10 \lg \left(1 + \frac{4}{690/221} \right) = 3,6 \text{ dB}$$

Pour qu'une salle d'essai soit satisfaisante, il faut que K soit ≤ 7 dB. Par conséquent, la salle d'essai est satisfaisante à la fois pour les essais de transformateur et de batterie de refroidisseur.

A.2 Calcul du niveau de pression acoustique moyen

Le niveau de pression acoustique «pondération A» moyen non corrigé, $\overline{L_{pA0}}$, doit être calculé à partir des niveaux de pression acoustique «pondération A», L_{pAi} , mesurés avec l'objet d'essai mis sous tension, en utilisant l'équation A.5:

$$\overline{L_{pA0}} = 10 \lg \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N 10^{0,1 L_{pAi}} \right) \quad (\text{A.5})$$

où

N est le nombre total de positions de mesure;

L_{pAi} est le niveau de pression acoustique «pondération A» mesuré à la position i .

A.2.1 Transformateur

Les résultats mesurés sur 27 positions et deux hauteurs, donnant 54 mesures (voir les résultats du rapport d'essai pour la liste complète des mesures). Il convient de faire la moyenne de ces résultats en substituant les valeurs dans la formule A.5:

$$\overline{L_{pA0}} = 10 \lg \left[\left(\frac{1}{54} \right) \times \left(10^{6,70} + 10^{7,14} + 10^{6,95} + 10^{6,87} \dots + 10^{6,66} \right) \right] = 71,6 \text{ dB(A)}$$

A.2.2 Batterie de refroidisseur

Les résultats mesurés à 34 positions et à deux hauteurs, donnant 68 mesures (voir les résultats du rapport d'essai). Il convient de faire la moyenne de ces résultats en substituant les valeurs dans la formule A.5:

$$\overline{L_{pA0}} = 10 \lg \left[\left(\frac{1}{68} \right) \times \left(10^{6,43} + 10^{6,35} + 10^{6,40} + 10^{6,43} \dots + 10^{6,46} \right) \right] = 63,8 \text{ dB(A)}$$

A.3 Calcul du niveau de pression du bruit de fond «pondération A» moyen

Le niveau de pression du bruit de fond «pondération A», $\overline{L_{bgA}}$, doit être calculé séparément avant et après la séquence d'essai en utilisant l'équation A.6:

$$\overline{L_{bgA}} = 10 \lg \left(\frac{1}{M} \sum_{i=1}^M 10^{0,1 L_{bgAi}} \right) \tag{A.6}$$

où

M est le nombre total des positions de mesure;

L_{bgAi} est le niveau de pression acoustique «pondération A» mesuré à la position i .

A.3.1 Transformateur

Le niveau de pression acoustique du bruit de fond a été mesuré à dix positions avant l'essai sur le transformateur (voir le rapport d'essai). Il convient de faire la moyenne de ces résultats en substituant les valeurs dans la formule A.6:

$$\overline{L_{bgA}} = 10 \lg \left[\left(\frac{1}{10} \right) \times \left(10^{6,40} + 10^{6,46} + 10^{6,37} \dots + 10^{6,38} \right) \right] = 63,6 \text{ dB(A)}$$

Ensuite le niveau de pression acoustique du bruit de fond a été de nouveau mesuré aux dix mêmes positions après l'essai sur le transformateur. Il convient de faire la moyenne de ces résultats en substituant les valeurs dans la formule A.6:

$$\overline{L_{bgA}} = 10 \lg \left[\left(\frac{1}{10} \right) \times \left(10^{6,43} + 10^{6,49} + 10^{6,34} \dots + 10^{6,21} \right) \right] = 62,9 \text{ dB(A)}$$

La différence entre les niveaux de bruit de fond moyen du début et de fin est de 0,7 dB, qui est inférieure à 3 dB. $\overline{L_{pA0}}$ est supérieur de 8 dB par rapport au plus fort niveau de bruit de fond moyen. Par conséquent l'essai est acceptable.

A.3.2 Batterie de refroidisseur

Le niveau de pression acoustique du bruit de fond a été mesuré sur dix positions avant l'essai sur la batterie de refroidisseur. Il convient de faire la moyenne de ces résultats en substituant les valeurs dans la formule A.6:

$$\overline{L_{bgA}} = 10 \lg \left[\left(\frac{1}{10} \right) \times \left(10^{5,42} + 10^{5,43} + 10^{5,35} \dots + 10^{5,32} \right) \right] = 53,6 \text{ dB(A)}$$

Ensuite le niveau de pression acoustique du bruit de fond a été de nouveau mesuré aux mêmes dix positions après l'essai sur la batterie de refroidisseur. Il convient de faire la moyenne de ces résultats en substituant les valeurs dans la formule A.6:

$$\overline{L_{bgA}} = 10 \lg \left[\left(\frac{1}{10} \right) \times \left(10^{5,38} + 10^{5,36} + 10^{5,38} \dots + 10^{5,34} \right) \right] = 53,5 \text{ dB(A)}$$

La différence entre les niveaux de bruit de fond moyen du début et de fin est de 0,1 dB, qui est inférieure à 3 dB. $\overline{L_{pA0}}$ est supérieur de 10,2 dB par rapport au plus fort niveau de bruit de fond moyen. Par conséquent l'essai est acceptable.

A.4 Calcul du niveau de pression acoustique moyen corrigé

Le niveau de pression acoustique « pondération A » moyen corrigé, $\overline{L_{pA}}$, doit être calculé en utilisant l'équation A.7:

$$\overline{L_{pA}} = 10 \lg \left(10^{0,1 \overline{L_{pA0}}} - 10^{0,1 \overline{L_{bgA}}} \right) - K \quad (\text{A.7})$$

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

NOTE Les transformateurs produisent des tonalités pures aux harmoniques de la fréquence de puissance; il est possible que les ondes stationnaires puissent influencer les niveaux de pression acoustique mesurés. Dans ce cas, l'application d'un facteur de correction unique ne suffit pas et il convient de réaliser les mesures, chaque fois que c'est possible, dans le milieu où la correction de l'influence environnementale n'est pas nécessaire.

A.4.1 Transformateur

Le niveau de pression acoustique corrigé du transformateur peut maintenant être calculé:

$$\overline{L_{pA}} = 10 \lg \left(10^{7,16} - 10^{6,29} \right) - 2 = 69,0 \text{ dB(A)}$$

A.4.2 Batterie de refroidisseur

Le niveau de pression acoustique corrigé de la batterie de refroidisseur peut maintenant être calculé:

$$\overline{L_{pA}} = 10 \lg \left(10^{6,38} - 10^{5,36} \right) - 3,6 = 59,8 \text{ dB(A)}$$

A.5 Calcul du niveau de puissance acoustique

Le niveau de puissance acoustique «pondération A» de l'objet d'essai, L_{WA} , peut maintenant être calculé:

$$L_{WA} = \overline{L_{pA}} + 10 \lg \frac{S}{S_0} \quad (\text{A.8})$$

où S est la dérivée de l'équation A.3 ou A.4, et S_0 est la surface de référence (1 m^2).

A.5.1 Transformateur

$$L_{WA} = 69,0 + 10 \lg (101,25) = 89,1 \text{ dB(A)}$$

A.5.2 Batterie de refroidisseur

$$L_{WA} = 59,8 + 10 \lg (221) = 83,2 \text{ dB(A)}$$