



Des transformateurs moins bruyants

Un transformateur fera toujours du bruit. Dans un monde très régulé et très à cheval sur l'impact environnemental, le problème n'est pas le volume sonore mais la nature du son.

Les transformateurs émettent en permanence un son de basse fréquence, une sorte de « bourdonnement » agaçant que l'on entend même dans un environnement bruyant. L'industrie de l'électricité a mis au point de nombreuses solutions pour réduire ce bourdonnement qui provient aussi bien du circuit magnétique du transformateur que de son bobinage lorsqu'il est chargé. Le bruit provenant du circuit magnétique du transformateur est généré par la magnétostriction (déformation) des tôles magnétiques sous l'effet d'un champ magnétique. On l'appelle aussi « bruit à vide », car il est indépendant de la puissance qui traverse le transformateur. La magnétostriction se produit au double de la fréquence d'alimentation : avec une alimentation en 50 Hz, les tôles magnétiques vibrent 100 fois par seconde. De plus, la fréquence des harmoniques de rang pair augmente avec la densité du flux magnétique. Lorsque les fréquences de résonance du circuit magnétique ou de la cuve coïncident avec la fréquence d'excitation, le niveau sonore augmente encore. Les vibrations causées par le courant circulant dans les enroulements accroissent

également le bourdonnement et interagissent avec le flux de fuite généré. Ce niveau de bruit « en charge » est directement lié au courant de charge. Il a toujours existé, mais il devient de plus en plus significatif depuis que l'on dispose de moyens efficaces pour réduire la puissance acoustique des bruits du circuit magnétique. Dans certains cas, le bruit en charge domine et pourrait avoir un impact grandissant sur les nouveaux usages des transformateurs. (Il ne faut pas oublier le bruit à bande large généré par les ventilateurs de la réfrigération et qui s'ajoute au niveau sonore général. Toutefois, les ventilateurs étant utilisés dans de nombreux domaines, les solutions acoustiques ne sont pas spécifiques à T&D et ne sont donc pas évoquées ici.)

Une question de conception

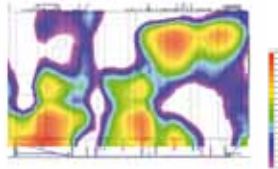
Les améliorations apportées à la conception et aux matériaux utilisés dans les transformateurs réduisent petit à petit le niveau de décibels. L'acier à haute perméabilité magnétique (Hi-B), par exemple, réduit la magnétostriction grâce à un traitement de surface associé

à une tôle magnétique à grain hautement orienté. Une autre méthode de plus en plus utilisée consiste à empiler très précisément les tôles du circuit magnétique selon une structure à chevauchement « *step-lap* », ce qui permet de réduire la formation d'entrefers. Plusieurs méthodes d'assemblage des tôles magnétiques entre elles, pour éviter qu'elles ne s'entrechoquent, sont plus particulièrement utilisées : le collage des tranches les unes aux autres, la standardisation des contraintes de serrage des points d'attache et la suppression des broches. De plus, l'utilisation de supports souples et robustes au niveau de chaque point de contact entre le circuit magnétique et la cuve évite la transmission de résonance de l'un à l'autre, par la structure elle-même ou via le bain d'huile. Lorsqu'un transformateur est en charge, l'énergie vibratoire venant du bobinage et de tous les équipements de contrôle de flux est transmise à la cuve, puis dans l'air et à l'extérieur. C'est pourquoi, dès sa conception, il est important d'éviter que la cuve n'entre en résonance avec des fréquences proches de la fréquence d'excitation. L'intégration d'amortisseurs de résonance permet de gagner jusqu'à 3 dB.

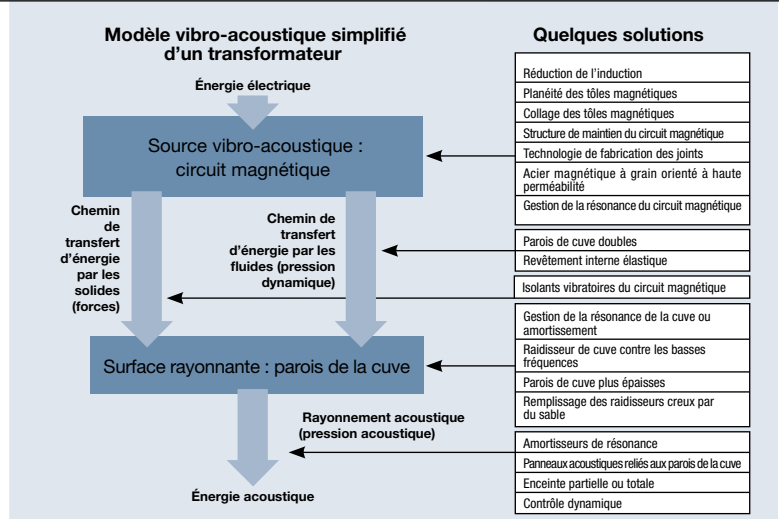
EN COMPLÉMENT

ÉCOUTER LE SON À L'ŒIL NU

Le service R&D d'AREVA T&D utilise l'imagerie et l'holographie acoustiques ainsi que la vibrométrie laser pour localiser le bruit et les vibrations. L'imagerie acoustique permet de créer une carte sonore complète en localisant les rayonnements sonores par différenciation des niveaux acoustiques. AREVA T&D et AB Engineering ont récemment utilisé des matrices de 10 microphones placées à 2 m de la cuve pour mesurer les sons produits dans les bandes de fréquences de 100 à 500 Hz. Une cartographie de la surface de radiation est établie en fonction du bruit émis en face de chaque zone pour chaque bande de fréquence, permettant ainsi d'identifier les sources de bruit (une échelle de



couleur allant du bleu pour le bruit de fond au rouge pour les zones les plus bruyantes). L'holographie acoustique analyse les bruits de champ proche. AREVA T&D a récemment utilisé l'holographie acoustique pour cartographier le bruit des transformateurs : suivant une grille avec un quadrillage de 20 cm, une antenne constituée de 23 microphones a permis « d'écouter » la totalité de la surface. Un algorithme logiciel a ensuite calculé les champs de pression et situé les sources de rayonnements acoustiques pour ensuite les afficher sur des cartes en 2D, ceci pour des fréquences allant jusqu'à 850 Hz. La vibrométrie laser est une technique sans contact utilisée pour les endroits inaccessibles ou dangereux. En se basant sur l'effet Doppler, elle mesure la modulation de fréquence du rayon laser après réflexion sur la zone vibratoire. Les vibromètres laser sont capables de mesurer automatiquement un grand nombre de points consécutifs, permettant ainsi d'obtenir des mesures de vibrations à haute résolution spatiale.



Des solutions de terrain

Une méthode couramment utilisée sur site pour réduire le rayonnement acoustique consiste à recouvrir les cuves de panneaux muraux. En général, ils ne couvrent que les côtés de la cuve, permettant de gagner de 4 à 10 dB selon la surface couverte. Comme elles peuvent avoir une influence sur le refroidissement, les barrières acoustiques sont souvent montées de manière à jouxter un ou plusieurs côtés du transformateur, allant parfois jusqu'à l'entourer complètement. La solution la plus simple consiste à utiliser un écran acoustique de grande hauteur, qui doit dépasser le transformateur sur les côtés d'au moins autant qu'il ne déborde en hauteur. Une seule barrière peut déjà faire baisser le niveau sonore de 10 à 15 dB, selon l'endroit où l'on se trouve. Une enceinte complète de haut en bas et sur les côtés est naturellement bien plus efficace – jusqu'à 25 dB en moins, voire 40 dB si la barrière est construite en béton ou en acier et munie d'un mécanisme antivibratoire complet. Cependant, il est nécessaire de toujours faire attention à ce que la distance qui sépare la barrière de la paroi de la cuve ne soit pas un multiple de la moitié de la longueur d'onde de la fréquence électrique, par exemple 1,7 m ou 3,4 m pour des transformateurs à 50 Hz. L'atténuation acoustique dépend du nombre de méthodes utilisées et de la manière dont on les utilise. En combinant un empiilage en « *step-lap* »

des tôles magnétiques Hi-B à des isolants antivibratoires au niveau du circuit magnétique, on peut atteindre un gain de 6 dB. Ajoutez des panneaux muraux sur les cuves, et c'est encore 10 dB de gagnés. Pour un résultat encore meilleur, une enveloppe sans contact est la solution. On pourrait construire des transformateurs moins bruyants en abaissant le niveau d'induction dans le circuit magnétique ou la densité du flux, mais ce serait au prix d'une augmentation de la taille du circuit magnétique et des bobinages, et donc de coûts plus élevés.

Le besoin en R&D

Les niveaux sonores font partie des sujets sur lesquels la R&D se penche. Si certaines techniques de réduction sont bien connues, il reste encore de la place pour des solutions innovantes comme les amortisseurs de résonance ou les revêtements amortisseurs élastiques internes. La plupart des solutions retenues demandent une bonne connaissance des champs sonores et de l'ingénierie vibratoire. De nouvelles techniques permettent de cartographier ces informations et de mieux caractériser les sources sonores. Elles réduisent le temps nécessaire à la mesure, en facilitent l'interprétation et permettent l'accès à d'autres types d'informations (comme la localisation des sources) et plus encore (*voir encadré*). ●