

Suppression des bruits acoustiques dans les alimentations à découpage

Auteur et co-auteurs: Axel Schütz Sales Engineer, Mark Schoppel Project Engineer
Customised Power Supply et Florian Haas Global Marketing Director chez Traco Electronic AG

Lorsque l'on est assis dans une voiture, entendre le bruit du moteur nous paraît tout à fait normal. Après tout, le compartiment moteur contient bien une machine comportant des composants mobiles. Certains d'entre nous peuvent même en trouver le son très agréable ! En fait, les constructeurs automobiles et d'autres fabricants disposent de départements de recherche entiers qui se consacrent à l'amélioration, voire à la création, d'expériences sonores agréables.

En revanche, la situation est différente dans le cas d'alimentations à découpage (SMPS pour Switch Mode Power Supply). Certains bruits, comme des bourdonnements ou des couinements, peuvent même être interprétés comme inquiétants. Même si les alimentations sont constituées d'un grand nombre de composants électroniques, lorsqu'elles sont en fonctionnement, rien ne devrait a priori bouger. Par conséquent, elles ne devraient pas faire de bruit, n'est-ce pas ?

La source la plus fréquente de bruits gênants émis par les alimentations à courant alternatif était généralement un bourdonnement basse fréquence à 100 ou 120 Hz. Les alimentations électriques ayant évolué en termes de complexité et de structure, la gamme des ondes sonores qu'elles émettent a également changé. Cependant, la plupart des bruits audibles ne doivent pas être source d'inquiétude.

Perception et effet

Les êtres humains peuvent entendre les sons dans la gamme de fréquences allant de 16 Hz à environ 20 kHz (Figure 1). Mais le fait qu'un son provoque dérangement, voire gêne, dépend aussi de la perception de ce son dans l'environnement au sein duquel il est produit.

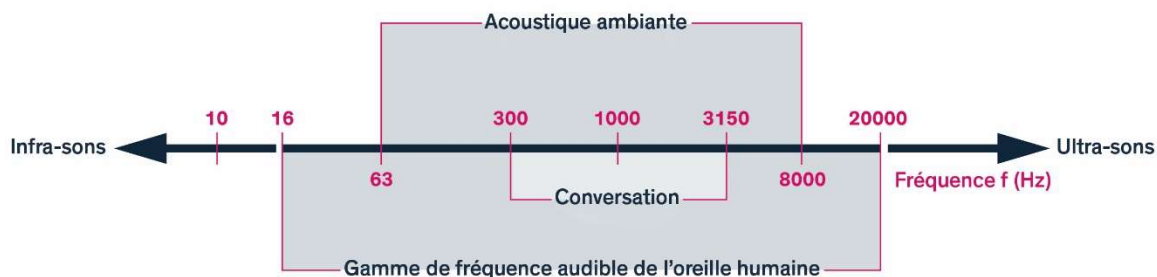


Figure 1 : Gamme de fréquences audibles de l'oreille humaine

Une alimentation électrique industrielle qui génère des bruits audibles ne constitue pas vraiment un problème pour les gens, puisque la plupart des personnes à proximité perçoivent

ces bruits parmi d'autres bruits de fond constituant l'environnement sonore normal de l'usine. D'autres bruits, du fait de leur fréquence et de leur intensité, peuvent aussi masquer les fréquences générées par une alimentation électrique, ce qui est un effet étudié en psychoacoustique et notamment exploité dans la compression audio MP3. De telles alimentations sont souvent intégrées dans des armoires de commande munies de portes, qui atténuent les éventuels bruits audibles générés.

Dans un autre environnement, comme un bureau, la réaction au bruit émis par l'alimentation électrique sera sensiblement différente. Un couinement ou un bourdonnement émanant d'un dispositif électrique pourra être perçu comme désagréable et pourra même susciter des inquiétudes quant à sa sûreté.

Causes et contexte

Les champs magnétiques

Si un conducteur de courant se trouve dans un champ magnétique, il est généralement soumis à une force. L'effet de cette force est maximal quand la direction du courant et celle du champ magnétique forment un angle de 90° . Dans ce cas, la force exercée est normale au plan formé par le flux de courant et le champ magnétique. Trois doigts de la main droite permettent de déterminer la direction de cette force en utilisant la règle de la main droite de Fleming (Figure 2)

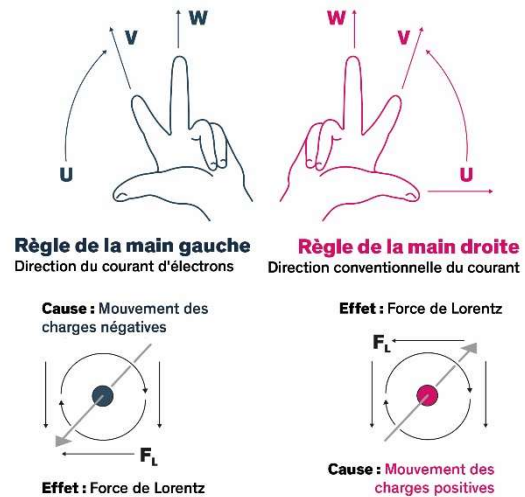


Figure 2 : Règle de la main droite/gauche

Dans le contexte d'un transformateur ou de certaines inductances, un noyau de fer peut également souffrir d'un effet appelé magnétostriction, effet identifié pour la première fois par James Joule en 1842.

Il provoque un changement de forme ou de dimension des matériaux ferromagnétiques au cours du processus de magnétisation engendré par le courant circulant dans le conducteur du composant. En plus d'entraîner un échauffement par frottement, ces minuscules variations de volume des matériaux génèrent souvent un certain bruit audible.

Les transformateurs font souvent appel à de l'acier Fe-Si (ou acier au silicium) dont la teneur en silicium varie et contribue à augmenter la résistivité électrique du fer. Un acier à 6% de silicium offre le niveau optimal de réduction de la magnétostriction mais présente l'inconvénient d'être plus fragile.

Effet piézoélectrique

Une autre cause de bruit provient de l'effet piézoélectrique. Le préfixe « piézo » est dérivé d'un mot grec qui signifie « pression ». En 1880, Jacques et Pierre Curie ont découvert qu'une pression exercée sur certains cristaux, comme le quartz, génère une charge électrique. Ils ont appelé ce phénomène « effet piézoélectrique ». Plus tard, ils ont constaté que les champs électriques pouvaient déformer les matériaux piézoélectriques. Cet effet est connu sous le nom « d'effet piézoélectrique inverse ».

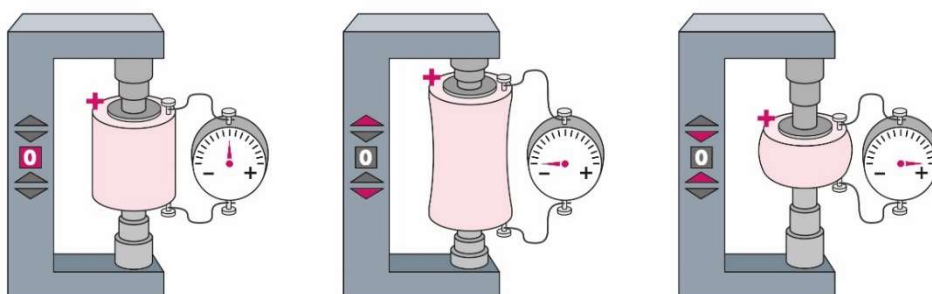


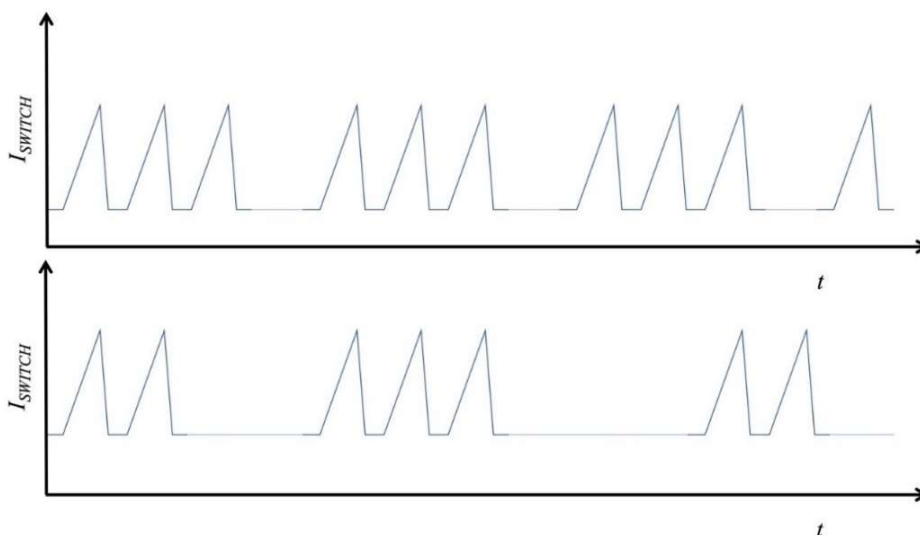
Figure 3 : Effet piézoélectrique observé avec certains matériaux comme le quartz

L'effet piézoélectrique inverse provoque une variation dimensionnelle de ces matériaux lorsqu'on leur applique une tension électrique. Cet effet d'actionneur convertit l'énergie électrique en énergie mécanique. Les variations de tension modifient également la géométrie des condensateurs céramiques, qui se comportent alors comme de minuscules haut-parleurs qui émettent des ondes sonores dans leur voisinage.

Topologies à découpage et boucles de réaction

La recherche d'un rendement de conversion d'énergie toujours plus élevé se traduit par l'introduction de topologies à découpage dans les alimentations électriques les plus courantes. La fréquence de commutation primaire choisie dans ce type de conception est souvent choisie au-dessus de la limite d'audition humaine (> 20 kHz). Cependant, dans le cas de solutions à découpage qui modifient leur fréquence de commutation pour s'adapter aux variations de charge et de tension d'entrée, cette fréquence peut tomber dans la plage audible pour maintenir un rendement de conversion optimal.

Dans le cas de solutions à fréquence fixe, certaines fonctionnalités comme le saut de cycles, ou le fonctionnement en mode rafale, peuvent entraîner un schéma de commutation qui tombe dans la plage audible, même si la fréquence de commutation elle-même reste supérieure à 20 kHz. Si la solution présente des impulsions de commutation régulières, interrompues irrégulièrement par des périodes de deux ou plus impulsions sautées, cela peut indiquer des problèmes dans le circuit de rétroaction (Figure 4). Il peut être utile d'examiner les composants du circuit de rétroaction et la zone de fonctionnement des éventuels photocoupleurs.



$I_{\text{Switch}} = I_{\text{Commutation}}$

Figure 4 : Des problèmes dans le circuit de rétroaction peuvent entraîner des périodes irrégulières sans aucune impulsion (courbe du bas) dans le cas de conceptions à fréquence de commutation fixe.

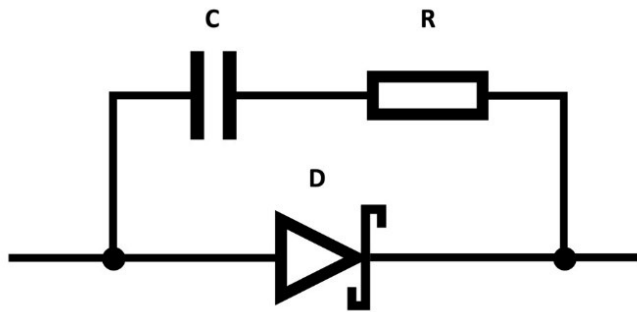
Identifier et résoudre les problèmes de bruit audible

Les alimentations à découpage devenant de plus en plus compactes grâce à des densités de puissance toujours plus élevées, il peut s'avérer difficile de déterminer quel composant précis est la source du bruit audible. En supposant que la conception soit correcte d'un point de vue électrique, une approche consiste à utiliser un objet non conducteur, comme une tige en plastique, pour appliquer une légère pression sur les différents composants de la carte électronique alors que l'alimentation est en fonctionnement. Toute variation ou réduction du bruit, en particulier parmi les principaux candidats, que sont les composants céramiques ou magnétiques, constitue un bon point de départ.

Si vous n'avez aucun outil non conducteur sûr à portée de main, vous pouvez toujours utiliser un cornet acoustique rudimentaire réalisé avec une feuille de papier. Une fois la feuille de papier enroulée en cône, l'ouverture de la pointe peut être dirigée vers les composants suspects pour évaluer les sources de bruit.

Les condensateurs céramiques soumis à de fortes variations de tension (dv/dt) s'avèrent souvent bruyants et sont souvent présents dans les circuits de verrouillage et d'amortissement, ainsi que dans les étages de sortie. Pour vérifier s'ils sont à l'origine du bruit, on peut les remplacer par des condensateurs utilisant une technologie diélectrique différente, comme le film métallique, ou augmenter leur résistance série. Si le bruit audible doit être réduit, un changement permanent de composant doit être envisagé. Modifier les circuits de verrouillage pour utiliser des diodes Zener peut aussi aider. Les condensateurs d'étage de sortie qui posent problème peuvent être remplacés par des composants utilisant un diélectrique différent ou par plusieurs condensateurs céramiques en parallèle présentant une valeur équivalente, si la place le permet.

Figure 5 : Le condensateur dans le circuit d'amortissement peut être remplacé par un équivalent à film métallique, ou présentant une résistance électrique plus importante.



Si des composants magnétiques sont à l'origine du bruit, vérifiez d'abord que la tension d'entrée et la charge de sortie restent toujours bien à l'intérieur des plages prévues. Augmenter la valeur de la capacité d'entrée peut aider s'il arrive que la tension d'entrée chute trop bas. Le vernissage par

immersion des transformateurs, et l'utilisation d'inductances vernies par immersion ou en pot, sont l'une des approches permettant de réduire le bruit. Les transformateurs à noyau long ont aussi tendance à résonner de manière plus sonore que ceux à noyau court. Dans la mesure du possible, envisagez de passer à un noyau plus court permettant malgré tout d'accueillir le nombre de spires nécessaire.

Il faut garder à l'esprit que, malgré toutes les approches potentielles évoquées, de nouvelles vérifications et de nouveaux tests en production seront très probablement nécessaires.

Résumé

Les forces auxquelles sont soumis les conducteurs se trouvant dans les champs magnétiques et l'effet piézoélectrique inverse des condensateurs sont les principaux responsables des bruits audibles émis par les alimentations électriques. De plus, malgré les progrès de la simulation, ces bruits audibles ne se manifestent généralement qu'une fois la conception achevée physiquement, voire une fois qu'un certain nombre d'alimentations de pré-production ont été fabriquées.

Même si la plupart des bruits audibles émis par les alimentations électriques ne doivent pas susciter d'inquiétude au niveau fonctionnalité ni au niveau sûreté, ils peuvent s'avérer gênants et même être perçus comme un problème de qualité par les clients. En suivant les conseils simples fournis ici, les composants sources de bruit peuvent être rapidement identifiés et, en utilisant les approches suggérées, être remplacés, immobilisés ou modifiés, afin de réduire voire d'éliminer les sons indésirables générés.