

Profitions du silence

Filtre secteur pour plus de pureté audio

Joost Waegebaert

À l'écoute d'un CD de prédilection, tout amateur de haute-fidélité aura, un jour ou l'autre, trouvé qu'il sonnait mieux la fois précédente. Ou mieux, cette fois-ci. La cause de cette différence de qualité qui tracasse l'auditeur n'est pas nécessairement à rechercher dans l'un des composants de sa chaîne audio, soigneusement sélectionnée. Pour « fermer toutes les portes » du côté technique, il nous faut un filtre secteur ad hoc qui, une fois pour toutes, mette hors de cause la base de la chaîne hi-fi, son alimentation.

Quand on est mordu de musique, l'idéal est de parvenir à se constituer une chaîne audio complète à partir d'éléments, choisis ou fabriqués soi-même, qui lui procurent la perfection du son. Naturellement, pour atteindre ce but, il n'existe pas de science exacte : il s'agit d'une matière très subjective qui donne lieu à maintes discussions et autant d'opinions différentes. Ce n'est certainement pas l'objet de cet article.

En revanche, nous allons nous concentrer sur ce phénomène : pourquoi une source identique sonne-t-elle mieux un jour plutôt qu'un autre ?

Cachée dans le bruit...

La disposition d'esprit du moment peut jouer un rôle, mais y a-t-il aussi une origine technique à ces différences de sensation ? Une cause physique, on l'oublie trop souvent, c'est la qualité de l'énergie qui alimente l'appareillage audio, celle du réseau de distribution électrique, le secteur.

Le nombre d'appareils branchés sur le réseau domestique augmente de jour en jour. De nombreux ustensiles modernes travaillent sur une alimentation économique à commutation, qui engendre par nature une considéra-

ble quantité de bruit sur le réseau. Citons les ordinateurs, les télévisions, les chargeurs d'accumulateurs et ainsi de suite. On peut supposer que chacun de ces appareils répond aux normes européennes (EMC) de rayonnement électromagnétique et ne contribue que peu à l'envoi de parasites sur le réseau électrique. Mais pour la plupart des appareils, c'est naturellement la somme de tous ces niveaux d'interférence qui détermine l'amplitude totale de bruit du réseau, et elle peut enfler considérablement.

Une autre source de perturbations réside dans l'usage des appareils de

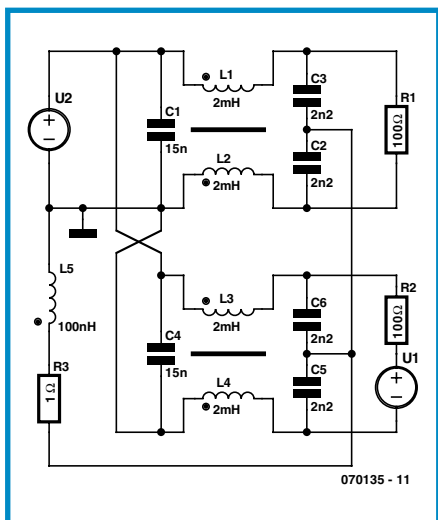


Figure 1. Le schéma équivalent de deux appareils avec filtre secteur que l'on branche en parallèle.

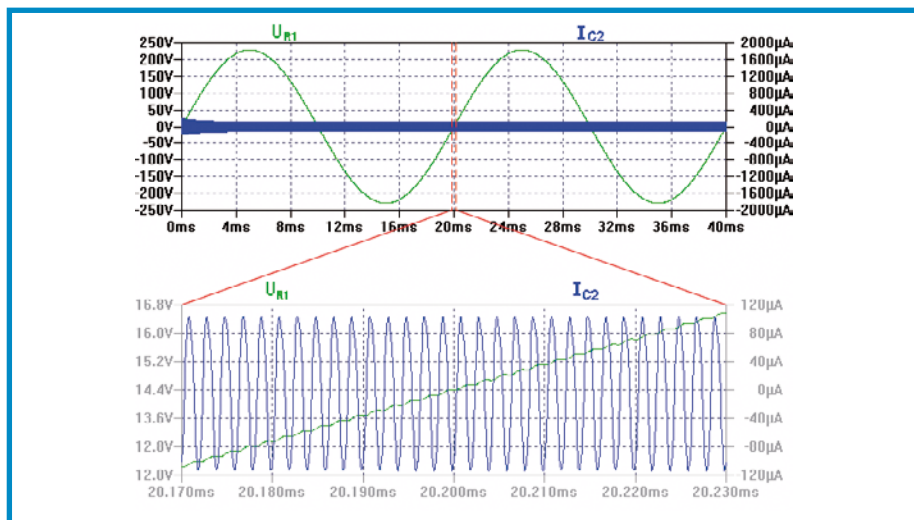


Figure 2. Le courant qui va circuler dans C2 sous l'effet d'une tension d'interférence U_2 .



L'auteur a branché deux transformateurs en miroir de manière à perdre le moins possible et faire en sorte que l'ensemble puisse tenir dans un boîtier de faible hauteur.

communication par le réseau électrique (systèmes d'alarme, appareils de mesure et autres). Ils prennent le secteur à la fois comme source d'énergie et comme vecteur de communication. Les fréquences allouées à cette fin vont de 3 à 148,5 kHz.

Par-dessus le marché, il y a encore les pollueurs traditionnels : les gradateurs pour lampes à incandescence, les moteurs électriques, les lampes fluorescentes etc.

L'un dans l'autre, tout cela peut contaminer sérieusement la source d'énergie disponible pour alimenter nos chers appareils audio. À bien y réfléchir, il est pour le moins impertinent, vis-à-vis des concepteurs qui remuent ciel et terre pour garantir une dynamique de 100 dB (ce qui représente la $1/10^5$ partie d'un signal audio typique à $2 V_{RMS}$, soit $20 \mu V$ de bruit), d'alimenter ces appareils avec une source aussi parasitée. Il n'y a rien d'impensable à ce que cette « friture » s'insinue du secteur jusqu'au trajet des signaux d'un appareil audio et l'empêche de fonctionner de manière optimale.

Une solution

Une échappatoire immédiate pour se débarrasser des interférences indésirables du secteur, c'est d'employer un filtre classique du commerce (cf. **figure 1**). Il est constitué d'un bobinage (L1, L2) et de quelques condensateurs (C1, C2, C3) de qualité X et Y. C'est une ex-

cellente technique, éprouvée jour après jour, mais elle s'applique moins bien au domaine audio. Pour quelle raison ?

Le condensateur X fait son travail convenablement pour l'appareillage audio et élimine les parasites de mode différentiel. Le souci se situe au niveau des condensateurs Y. Ils ont normalement pour mission de conduire gentiment à la terre les interférences de mode commun. Le courant dans le conducteur de terre ne connaît en principe aucune limitation. Il n'y a donc aucune raison de penser que les signaux qui sont déjà présents sur cette ligne ne puissent pas remonter via le condensateur Y pour s'insinuer au sein de l'appareil audio !

La figure 1 dépeint la situation telle qu'elle se présente avec un PC. L'ordinateur est équipé du même filtre secteur que l'appareil audio (L3, L4, C4 à C6). La tension U1 représente la perturbation que génère l'alimentation à découpage du PC. La **figure 2** montre le résultat de la simulation. On y voit clairement que la source de parasites U1 produit un courant dans le condensateur C2 et du coup engendre aussi une interférence aux bornes de R1 (qui symbolise la charge de l'appareil audio raccordé). L'interférence provient donc du PC et atteint l'appareil audio à **travers** le filtre dont le but est précisément de nettoyer la tension du secteur !

Sur un filtre classique comme celui-ci, la bobine est branchée en série avec la charge. À première vue, aucun souci,

puisque l'impédance de la self est négligeable à 50 Hz. C'est effectivement vrai pour une charge qui absorbe une intensité constante, mais pas pour un amplificateur de puissance qui restitue un air de musique dans toute sa dynamique. L'appétit de puissance d'un amplificateur suit en effet la dynamique de la musique reproduite. Et tout cela à des fréquences jusqu'à 20 kHz. Alors là, le filtre a une fameuse influence : il limite la vitesse à laquelle le courant pour l'alimentation de l'ampli peut augmenter, avec des différences audibles comme conséquence possible.

Une meilleure solution

Le filtre de la **figure 3** est purement et simplement en parallèle avec le secteur. Il représente en fait un « court-circuit sélectif en fréquence » pour les signaux parasites que nous voulons éliminer. Traduit en termes d'impédance, ce filtre doit offrir la valeur la plus basse possible aux fréquences des signaux perturbateurs.

Le réseau en série L1C1 a une impédance quasi nulle à sa fréquence de résonance ($1/2\pi\sqrt{L1C1}$). Pour amortir la tendance à l'oscillation du réseau LC, on a ajouté R1. L'impédance en haute fréquence en est abaissée. Avec l'addition de C2, les hautes fréquences voient encore un court-circuit plus franc. Le choix de la fréquence de résonance de L1C1 s'est porté sur une gamme particulièrement « sensible »

du signal audio, de manière à ce que le filtre y soit à son maximum d'efficacité. Cette fréquence de résonance doit évidemment tomber aussi loin que possible de 50 Hz.

Comme le creux d'impédance de la combinaison LC présente une assez petite largeur de bande, il serait idéal de mettre en service plusieurs de ces réseaux LC dont les fréquences de résonance seraient espacées d'une octave, par exemple. On réaliserait ainsi une faible impédance sur une large plage de fréquence. Cela coûte vite très cher, c'est aussi lourd et plutôt volumineux. Notre projet se limite donc à une seule combinaison LC. Il semble avoir une influence assez modeste sur la caractéristique de transfert, mais se révèle très utile pour restreindre les conséquences des fluctuations brutales de la tension du secteur.

Autres améliorations

Jusqu'à présent, le filtre agissait seulement sur les interférences de mode différentiel. Les perturbations de mode commun ne subissent aucune influence et, comme on vient de le remarquer, des condensateurs Y seraient pernicieux. Pourquoi n'utiliserions-nous pas un transformateur d'isolement ? 230 V à l'entrée, 230 V à la sortie, une bonne isolation, l'affaire est réglée... Malheureusement, ça ne marche pas. Les interférences de mode commun réapparaissent allègrement au secondaire du transformateur à cause des capacités parasites entre les enroulements primaire et secondaire. Il existe de bons (et coûteux) transformateurs avec plusieurs blindages

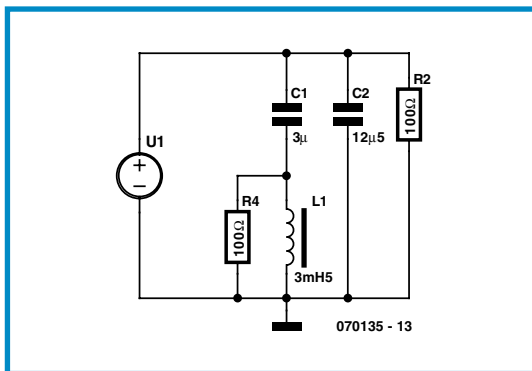


Figure 3. Un filtrage parallèle fonctionne mieux en audio.

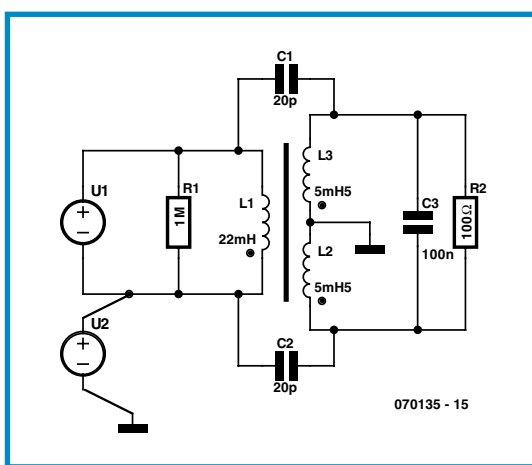


Figure 4. Pour atténuer des parasites de mode commun, nous pouvons utiliser ce schéma-ci.

entre les enroulements qui affaiblissent étonnamment bien les interférences. Mais pour y parvenir, il faut absolument que les écrans soient reliés à la terre. Et voilà l'indésirable couplage capacitif entre terre et secondaire du filtre.

Une autre approche pour se débarrasser de la contamination par le mode commun, c'est l'utilisation d'un bobinage à prise médiane au secondaire du transformateur. On relie la prise médiane à la terre et il en résulte que les tensions de mode commun sur les extrémités se retrouvent en opposition de phase et s'annulent (figure 4). U2 est la source de perturbation de mode commun. À cause des condensateurs parasites dans le transfo (C1 et C2), ce signal se retrouve à la sortie et donc sur la charge R2. De par la construction du transformateur, ces signaux sont en déphasage de 180 degrés. Ils disparaissent donc dans la charge raccordée.

Le transformateur idéal pour ce filtre doit avoir une faible capacité entre bobinages en combinaison avec (autour de 50 Hz) une bande passante étroite, donc constituer un filtre par lui-même, mais c'est hors de prix. On parvient au même résultat avec deux transformateurs standard montés dos à dos.

La figure 5 présente le schéma complet. Il offre en même temps une possibilité supplémentaire de filtrage par C3. La varistance R2 protège en outre des pointes de surtension incidentes. Ce ne serait pas une bonne idée d'ajouter des varistances entre les lignes de phase et de neutre et la terre parce que ces varistances souffrent d'une capacité parasite de 350 pF environ et formeraient alors une espèce de condensateur Y. Si après tout ce qui vient d'être dit, la tentation vous vient de ne pas du tout brancher cette « sale » ligne de

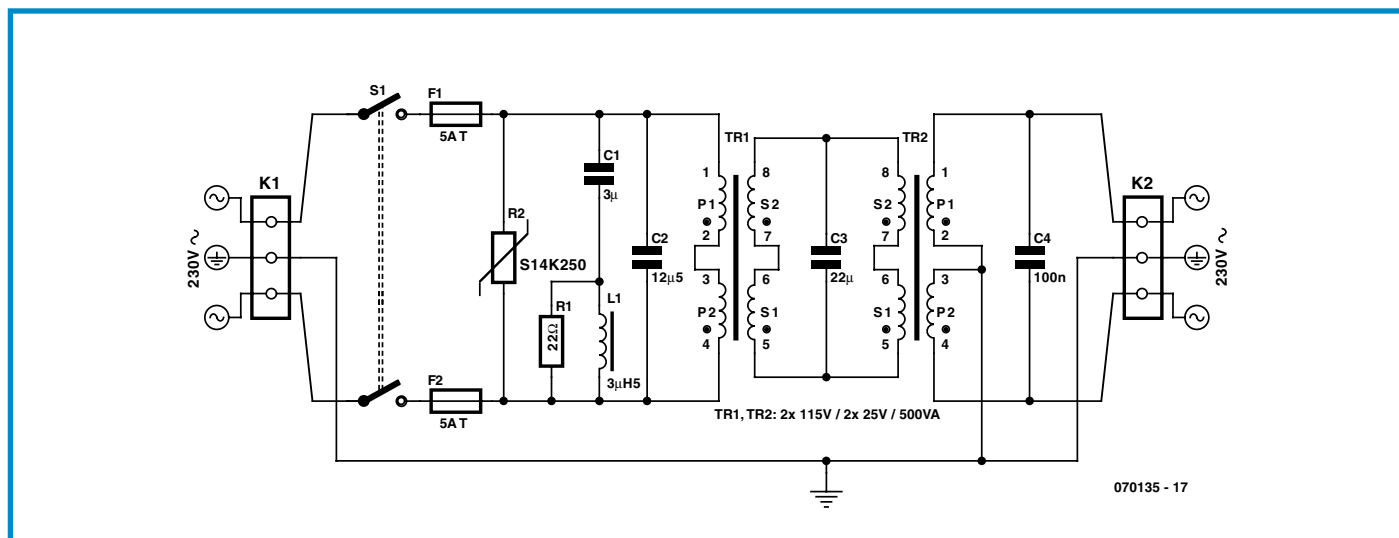


Figure 5. Le schéma complet du filtre secteur.

terre aux appareils, n'y cédez surtout pas ! C'est elle qui doit toujours vous protéger d'un défaut d'isolement susceptible de se produire à tout moment.

Composants

En outre et en priorité, il faut signaler que le filtre complet de la figure 5 est relié au réseau de distribution électrique. Il y a donc présence de tensions mortelles sur les composants et il ne faut jamais y toucher lorsque la fiche est branchée dans la prise !

Les composants pour le filtre différent sensiblement des minuscules CMS que l'on emploie dans les projets électroniques « normaux ». Il faut les acheter chez les commerçants dont l'assortiment se destine entre autres à la commande de moteurs. On trouve les condensateurs par exemple chez Epcos dans la série « *Power electronic capacitors for General purpose applications* » (cf. [1]). La bobine est disponible entre autres chez Siemens sous l'appellation « *Single Phase Reactor* » (cf. [2]).

Pour les transformateurs, n'importe quel modèle entre 300 et 500 VA avec un secondaire entre 36 et 50 V peut convenir. Les primaires doivent se répartir entre deux enroulements de 115 V. Le prototype a été construit avec des transformateurs toriques pour réduire la hauteur et le poids du montage. Autre avantage, le champ magnétique de perte en est minimalisé.

Résultats

Les premiers tests d'audition n'ont pas suscité de cris de joie tels qu'il est de mise dans divers forums, du genre « la musique est tellement plus ouverte, plus profonde, plus large... ». La conviction de l'efficacité concrète du filtre n'est arrivée que lorsque le système a été retiré. Le son était devenu indubitablement différent. C'est surtout l'aigu qui profite nettement

des bienfaits du filtre.

Pour étayer les résultats sur le plan technique, nous avons procédé à quelques mesures sur ce filtre. La **figure 6** en retrace la caractéristique de transfert. Le graphique montre que le filtrage commence déjà assez bas. Au-dessus de 5 kHz, la courbe plonge. Les parasites de haute fréquence du réseau sont donc filtrés très efficacement.

Les **figures 7 et 8** exposent comment le filtre atténue proprement un signal carré à 1 kHz et donc travaille à l'assainissement de la tension du secteur. On évite ainsi de se retrouver confronté à des signaux indésirables, propagés par l'alimentation de la chaîne audio jusque dans le signal musical.

Conclusion

L'usage d'un filtre du commerce n'a généralement pas l'effet désiré sur les composants d'une chaîne audio. En cause, le plus souvent, les condensateurs Y qui transmettent les tensions parasites du conducteur de terre au secteur sans aucun filtrage. Heureusement, une autre configuration de filtre peut apporter une meilleure solution.

À partir des résultats exposés ici, chacun peut décider s'il vaut la peine de filtrer la source d'énergie électrique avant de l'appliquer à son installation audio. Nous n'irons pas prétendre qu'il y a un monde de différence, mais ce qui est sûr, c'est que le circuit étudié améliore la situation.

(070135-1)

Liens Internet :

- [1] www.epcos.com/inf/20/50/ds/B3236X.pdf
- [2] www.automation.siemens.com/cd-static/material/catalogs/e86060-k2803-a101-a4-7600.pdf
- [3] www.epcos.com/inf/70/db/var_01/01590173.pdf
- [4] www.epcos.com/inf/20/25/ds/b32320_22.pdf

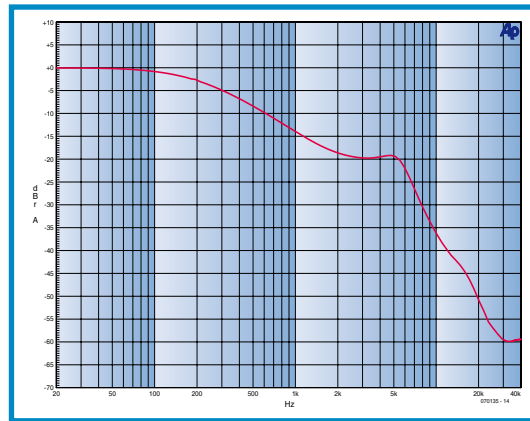


Figure 6. Caractéristique de transfert du filtre complet. On remarque nettement que les fréquences les plus élevées sont largement filtrées.

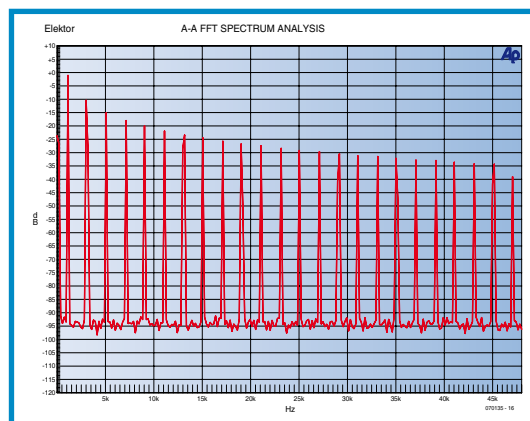


Figure 7. Une FFT d'une onde carrée à la fréquence de 1 kHz. Les harmoniques impaires caractéristiques s'atténuent lentement à mesure que la fréquence s'élève.

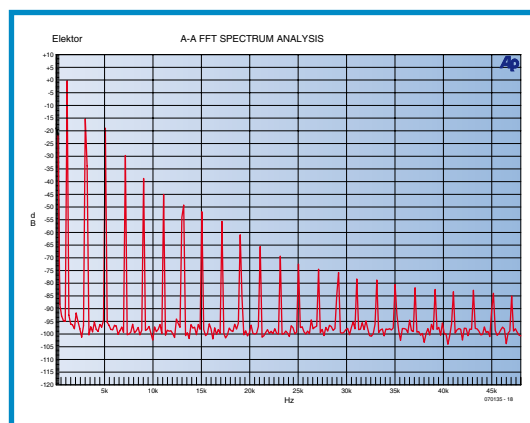


Figure 8. La même onde carrée, mais mesurée ici derrière le filtre. Il est clair que l'amplitude des harmoniques les plus élevées chute beaucoup plus vite. Ici, le signal de 1 kHz est atténué de 15 dB par rapport à la figure 7.

Liste des composants

Résistances :

- R1 = 22 Ω/1 W
- R2 = varistor 250 tel que, par exemple, S14K250 V (Epcos) cf. [3]

Condensateurs :

- C1 = 3 à 3μF/250 V_{CA} tel que, par exemple, B32360A4305J080 (Epcos) cf. [1]
- C2 = 10 à 15 μF/250 V_{CA}, tel que, par exemple, B32360A2106J050 ou B32360A2156J050 (Epcos) cf. [1]
- C3 = 20 à 25 μF/100 V_{CA} cf [4]
- C4 = 100 nF/250 V_{CA} condensateur X

Divers :

- L1 = self de choc 50 Hz de 3 à 4 mH telle que, par exemple, 4EM4700-0CB00 (Siemens) cf. [2] page 24
- F1, F2 = fusible retardé 5 A
- TR1, TR2 = transfo 2x115 V au primaire, 36 à 50 V/300 à 500 VA au secondaire