

# démarrer en électronique... (10)

Toujours la bobine, mais avec ses applications pratiques dans l'audio.

Eric Bogers (Elektor)

Dans cet épisode, nous continuons avec la bobine. Peu appréciée des électroniciens amateurs, mais ô combien importante.



## Circuits en série et en parallèle

Les circuits résonants (**fig. 1**) sont les circuits qui déterminent la fréquence des oscillateurs. À la fréquence dite de résonance, leur impédance est à son extrémum (minimum ou maximum). À cette fréquence, l'impédance du condensateur est égale à celle de l'inductance ; l'équation suivante s'applique :

$$X_C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f_R \cdot C} = X_L = 2 \cdot \pi \cdot f_R \cdot L$$

$$\Rightarrow f_R = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L \cdot C}}$$

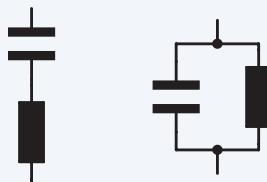


Figure 1. Circuits résonants en série et en parallèle.

Cette formule est valable pour les circuits résonants série et parallèles. La **figure 2** montre les variations d'impédance en fonction de la fréquence. Un circuit série peut être utilisé (entre autres !) dans une enceinte de haut-parleur pour atténuer une petite gamme de fréquences afin de linéariser la caractéristique globale de

l'enceinte. Pour cela, dans la plupart des cas, une résistance doit être connectée en série avec ce circuit résonant série.

## Filtres répartiteurs

La **figure 3** montre les courbes d'impédance et de phase d'un haut-parleur de basse (qui, par ailleurs, est monté dans une enceinte

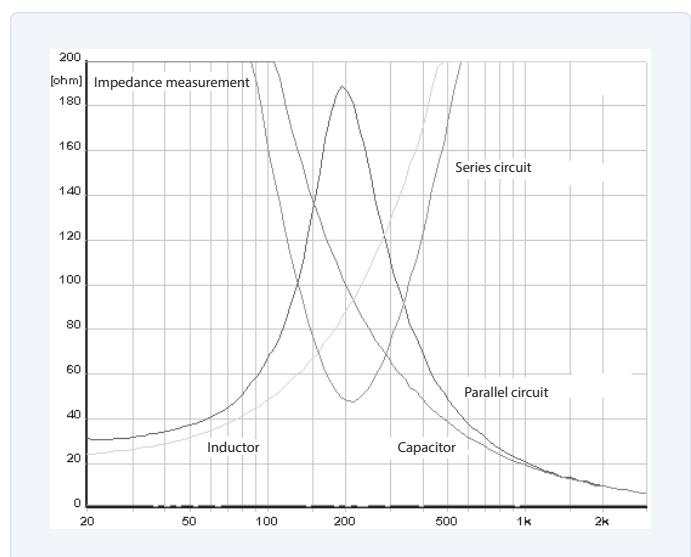
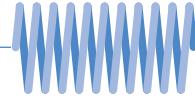


Figure 2. Courbes d'impédance des circuits résonants en série et en parallèle.



à pavillon à charge frontale, détail qu'on peut oublier). La **figure 4** montre la courbe de fréquence de ce système et la **figure 5** donne une idée de son taux de distorsion.

L'ensemble du domaine de fréquences est divisé en quatre régions. La première se situe en dessous de la fréquence de résonance – dans l'exemple de ce haut-parleur, elle va de 0 Hz à environ 30 Hz. Le rendement du haut-parleur y est franchement médiocre et le taux de distorsion très élevé, tandis que le déphasage entre le courant et la tension est compris entre 60° et 90°. Cela signifie également que la puissance dissipée dans l'amplificateur est la plus élevée. Pour ces raisons, ce haut-parleur est inutilisable dans cette gamme de fréquences : il a à la fois un son médiocre et un mauvais rendement, il consomme une puissance électrique excessive, ce qui fera surchauffer l'amplificateur (avec toutes les conséquences néfastes que cela peut entraîner).

Pour ce haut-parleur, il faut utiliser un filtre passe-haut avec une fréquence de coupure d'au moins 50 Hz. Pour la reproduction de fréquences plus basses, il faudra utiliser un autre type de haut-parleur et/ou un autre type d'enceinte.

La deuxième région se situe autour de la fréquence de résonance où l'impédance (et donc aussi le rendement) augmente de façon spectaculaire. Le plus souvent, les caissons de haut-parleurs fonctionnent plutôt bien dans cette gamme de fréquences (ce qui n'est hélas pas le cas dans cet exemple...).

Dans la troisième région, la courbe d'impédance est à peu près horizontale et le rendement est acceptable avec un petit taux de distorsion ; la courbe de phase ne donne pas non plus de raison de s'inquiéter. Dans l'exemple, cette région se situe entre 100 Hz et 1 kHz environ – c'est la gamme de fréquences pour laquelle ce haut-parleur devrait être utilisé. La courbe de distorsion montre une distorsion de second ordre relativement forte (et même des harmoniques), c'est caractéristique des systèmes à pavillon.

Enfin, dans la quatrième région, l'impédance augmente progressivement en raison de l'auto-inductance de la bobine mobile, le niveau de sortie diminue nettement et la distorsion augmente à nouveau. Ce point est la limite supérieure de la fréquence du signal applicable à ce haut-parleur. Si, avec des filtres passifs (voir plus loin), la fréquence de coupure tombe dans cette quatrième région, il faut utiliser une compensation d'impédance (ce sujet sera abordé dans un prochain article).

## Pourquoi des filtres répartiteurs ?

Comme nous l'avons vu dans l'exemple ci-dessus, les haut-parleurs ne peuvent bien reproduire qu'une gamme de fréquences limitée. C'est pourquoi le spectre audio doit être divisé en un certain nombre de régions, chacune d'entre elles étant ensuite envoyée à un haut-parleur conçu spécifiquement pour elle. C'est le rôle du filtre répartiteur (ou d'aiguillage), qui veille à ce que chaque haut-parleur reçoive les fréquences adéquates.

En principe, cela peut se faire de deux manières différentes : le

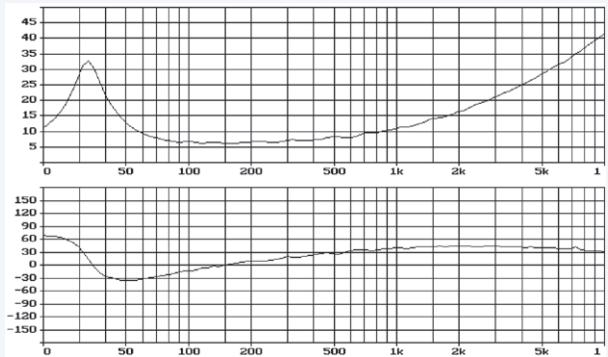


Figure 3. Courbes d'impédance et de phase.

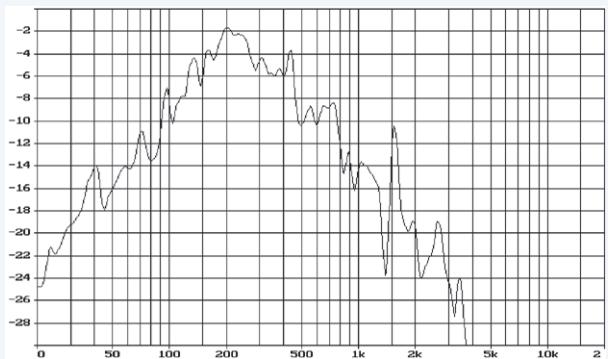


Figure 4. Courbe de fréquence.

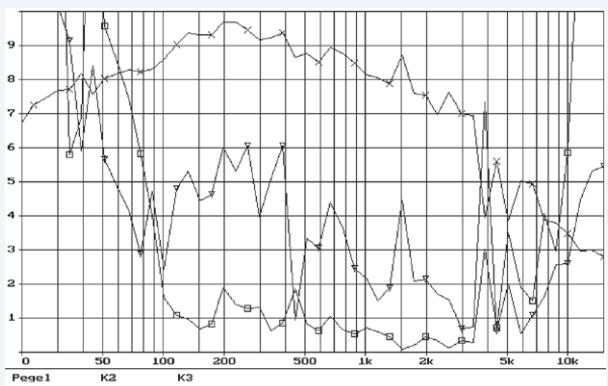


Figure 5. Distorsion.

spectre du signal peut être divisé après l'amplificateur de puissance à l'aide d'un réseau de filtres passifs (qui comprend des inductances et des condensateurs), ou bien il peut être divisé en amont selon les différentes régions, avec pour chacune son propre amplificateur de puissance et son propre haut-parleur. Dans ce cas, on parle d'un filtre répartiteur actif.

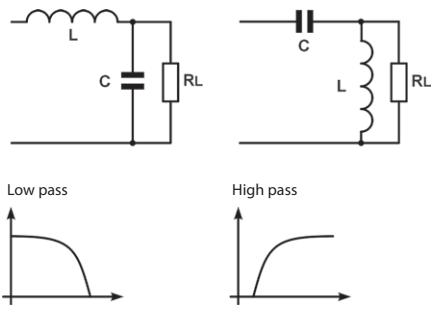


Figure 6. Filtres passifs passe-bas et passe-haut avec une pente de 12 dB/octave.

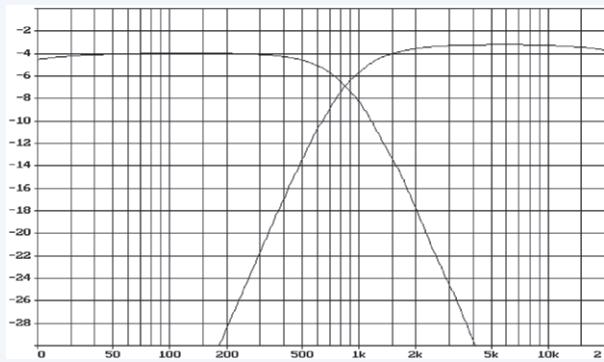


Figure 7. Courbes de fréquence d'un filtre passe-haut et d'un filtre passe-bas.



Figure 8. Courbes de phase d'un filtre passe-haut et d'un filtre passe-bas.

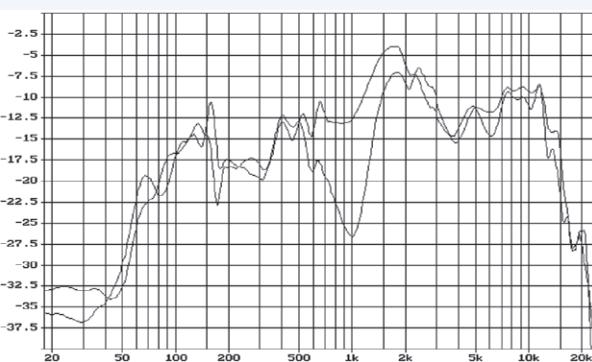


Figure 9. Filtre répartiteur correctement et incorrectement connecté.

Par ailleurs, une forme hybride est également possible : dans ce cas, les basses fréquences sont séparées du reste au moyen d'un filtre actif, et pour ce reste, on utilise un filtre passif. C'est ce qu'on appelle parfois la bi-amplification.

Nous poursuivons ci-dessous l'étude des filtres passifs ; les filtres actifs feront l'objet d'un article ultérieur.

### Filtres passe-haut passifs

La **figure 6** montre les schémas d'un filtre passe-bas et d'un filtre passe-haut avec une pente de 12 dB/octave. Les pentes de 6 dB/octave, respectivement réalisables avec une inductance ou un condensateur en série, doivent être évitées dans les applications audio. La **figure 7** illustre les courbes de fréquence de ces filtres. La fréquence de coupure d'un filtre est la fréquence à laquelle le niveau du signal de sortie est réduit de 3 dB par rapport au signal d'entrée. La **figure 8** montre qu'à la fréquence de coupure, la phase du signal de sortie est décalée de +90° (filtre passe-haut) ou de -90° (filtre passe-bas) par rapport à la phase du signal dans la bande passante.

Lorsque les haut-parleurs sont connectés avec les mêmes polarités, leurs signaux dans la région de la fréquence de coupure sont en opposition de phase et vont donc s'annuler. Il en résulte un « creux » dans la caractéristique du système, comme on peut le voir sur la courbe inférieure de la **figure 9**.

En principe, peu importe lequel des deux haut-parleurs doit avoir ses bornes inversées, mais pour garantir que deux enceintes placées l'une à côté de l'autre soient en phase, il est recommandé de s'en tenir à la « norme » internationale : le haut-parleur basse fréquence est connecté normalement et le haut-parleur haute fréquence est connecté avec une polarité inversée.

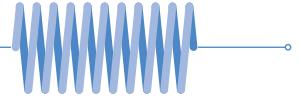
Cela dit, en pratique, nous ne pouvons pas nous fier aveuglément à la façon dont le fabricant repère les bornes de ses haut-parleurs – d'abord parce qu'il est libre de faire ce qui lui plaît, et ensuite parce qu'en raison d'un retard, on peut se retrouver avec une opposition de phase à la fréquence de coupure. Que ce soit avec des filtres actifs ou passifs, la polarité des haut-parleurs doit toujours être vérifiée dans la pratique.

Pour les valeurs des composants, la règle suivante s'applique (pour une caractéristique Butterworth) :

$$C = \frac{1}{2 \cdot \sqrt{2} \cdot \pi \cdot f \cdot Z} = \frac{0.1125}{f \cdot Z}$$

$$L = \frac{Z}{\sqrt{2} \cdot \pi \cdot f} = \frac{0.2251 \cdot Z}{f}$$

La conception des filtres répartiteurs repose sur différents critères, chacun ayant ses avantages et ses inconvénients en ce qui concerne la pente à la fréquence de coupure et le comportement impulsionnel. Pour plus de détails, nous vous renvoyons à la littérature technique sur le sujet.



La **figure 10** montre le schéma de base d'un filtre passe-bande, qui n'est en fait qu'un montage en série d'un filtre passe-bas et d'un filtre passe-haut. Les fréquences de coupure supérieure et inférieure sont ensuite calculées selon la méthode habituelle.

210564-04

La série d'articles « démarrer en électronique » est basée sur le livre « Basic Electronics Course » de Michael Ebner, publié par Elektor.

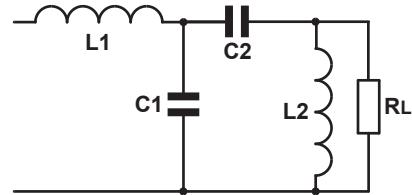


Figure 10. Filtre passe-bande.

## Des questions, des commentaires ?

Contactez Elektor ([redaction@elektor.fr](mailto:redaction@elektor.fr)).

## Contributeurs

Idée et illustrations : Michel Ebner  
Texte et rédaction : Eric Bogers  
Traduction : Helmut Müller  
Mise en page : Giel Dols



## PRODUITS

- B. Kainka, *Initiation à l'électronique et programmation de montages pour débutants*  
[www.elektor.fr/19339](http://www.elektor.fr/19339)
- R. Mallard, *L'électronique pour les débutants*  
[www.elektor.fr/15662](http://www.elektor.fr/15662)

# Vous souhaitez publier votre montage dans le magazine ?

Rendez-vous sur la page du labo d'Elektor :  
[www.elektormagazine.fr/labs](http://www.elektormagazine.fr/labs) pour y enregistrer votre projet.

Cliquez sur « Créez un projet ». Connectez-vous (créez un compte gratuit si vous n'en avez pas encore). Remplissez les différents champs du formulaire.

Votre proposition de montage sera examinée par l'ensemble des rédacteurs du magazine. Si votre projet est retenu pour sa publication dans le magazine, un rédacteur prendra contact avec vous pour vous accompagner dans la rédaction de l'article.



Labo d'Elektor :  
[www.elektormagazine.fr/labs](http://www.elektormagazine.fr/labs)  
créer > partager > vendre

