

Comment ça marche ?

Les circuits réactifs (12)

Circuits oscillants parallèles en série

Par le radio-club F6KRRK

Après avoir vu les filtres R-C avec quelques applications pratiques, nous allons passer aux filtres R-L-C en commençant par la mise en série de plusieurs circuits oscillants parallèles. Puis nous allons nous préparer aux circuits couplés avec quelques notions de couplage électromagnétique.

Le circuit oscillant parallèle

Nous avons vu dans un précédent "Comment ça marche" la variation de la magnitude d'un circuit oscillant parallèle en fonction de la fréquence. Nous avons vu qu'elle variait d'autant plus vite que le coefficient de qualité Q était élevé. Nous avons là un moyen d'obtenir un filtrage passe-bande du 2^{ème} ordre en connectant le circuit en parallèle sur la charge d'un amplificateur. Voir le principe sur la figure 1.

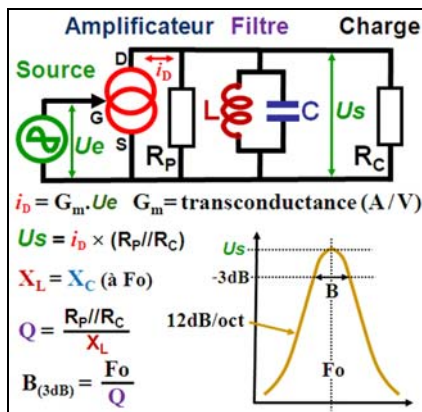


Figure 1.

Le modèle (HF) de la source de courant est celui d'un transistor bipolaire en émetteur commun, d'un effet de champ en source commune, ou celui d'un tube en cathode commune. R_P regroupe la résistance interne du transistor et la résistance équivalente de perte du circuit oscillant. R_C est la résistance d'entrée de l'étage suivant.

Facteur de dissonance

Ce facteur noté Δ est lié au rapport entre la fréquence de résonance du circuit et la fréquence du signal de travail. Il est égal à :

$$\Delta = \frac{1}{2} \left(\frac{F}{F_0} + \frac{F_0}{F} \right)$$

Quand on a affaire à un circuit oscillant unique, la valeur $2Q\Delta$ est égale à ± 1 pour la demie bande passante à -3 dB.

Circuits en cascade

Un circuit oscillant parallèle constitue un pôle de filtrage gaussien avec une pente d'atténuation de 12 dB par octave. En cascade plusieurs étages de la figure 1, on multiplie en théorie la pente par le nombre de circuits. Nous avons sur la figure 2 les courbes d'atténuation d'un filtre gaussien d'ordre n pour une **même bande passante** à -3 dB.

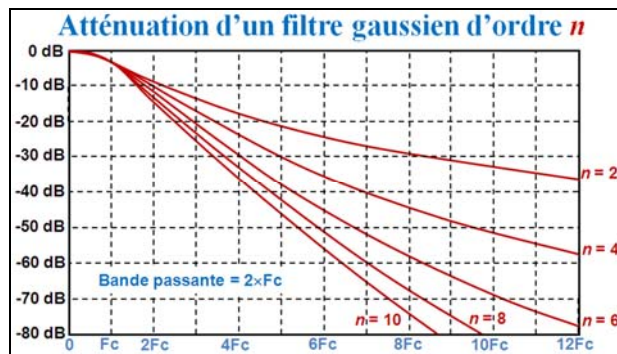


Figure 2.

Noter qu'il faut multiplier par deux le nombre d'étages pour avoir l'ordre du filtre global. Ces courbes correspondent à un filtre passe-bas prototype. Pour un filtre passe-bande, il suffit de remplacer la fréquence zéro par la fréquence centrale F_0 et d'ajouter les réponses "miroir" pour les fréquences inférieures à F_0 . La bande passante du filtre passe-bande est alors égale à deux fois la fréquence de coupure F_c du filtre prototype pour laquelle $2Q\Delta = 1$.

On remarquera que la pente d'atténuation d'un système à cinq étages (ordre 10) n'est au mieux que de 40 dB/octave pour une dynamique de 80 dB alors que l'on pourrait espérer 60 dB/oct. (10×6 dB). De fait, pour garder une bande passante identique, quand on augmente le nombre d'étages, on est obligé d'augmenter la bande passante de chaque étage ⁽¹⁾. Alors on rejoint la pente maximum espérée d'autant plus loin de F_0 et pour une atténuation d'autant plus importante que le nombre d'étages est élevé. Ainsi, pour une dynamique de 80 dB, on voit sur la figure 2 que l'on gagne peu en réjection au-delà de quatre étages. C'est la limite de ce système ⁽²⁾.

Couplage électromagnétique

1) Self-induction ou inductance

La self-induction d'une bobine est liée à la réciprocité du phénomène électromagnétique : Quand un conducteur est parcouru par un courant variable il génère un champ électromagnétique et quand un conducteur "baigne" dans un champ électromagnétique variable il est le siège d'un courant. On parle alors d'induction électromagnétique. Quand les conducteurs sont confondus, nous avons une "self-induction". Celle-ci est mesurée par un coefficient en henrys et est encore appelée "inductance". Dans le cas d'une bobine, si le flux magnétique généré par une spire traverse en totalité toutes les autres spires, l'inductance est proportionnelle au carré du nombre de spires. Si le flux généré par une spire ne traverse que partiellement les autres spires, l'inductance est proportionnelle pour partie au carré du nombre de spires et pour partie au nombre de spires. C'est le cas des bobines cylindriques à air.

2) Bobines couplées

Quand deux bobines sont très proches l'une de l'autre on dit qu'elles sont couplées. Admettons que l'une des bobines soit "primaire", c'est-à-dire génératrice de champ E-M et l'autre "secondaire", c'est-à-dire "baignant" dans le champ E-M primaire. La proportion du flux E-M de la bobine primaire traversant la bobine secondaire détermine un coefficient de couplage **K** qui varie entre 0 (aucun couplage) et 1 (couplage maximum). Pour deux bobines à air, **K** reste nettement inférieur à 1. Il est maximum quand les bobines sont parallèles et très proches, voire imbriquées, et il est plus faible quand les bobines sont en ligne, comme montré sur la figure 3.

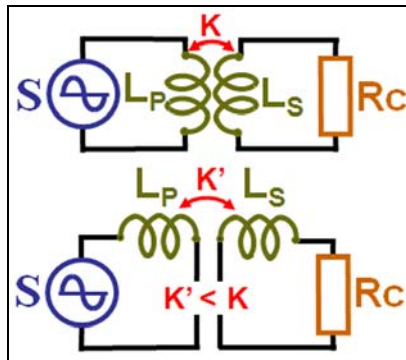


Figure 3.

Noter par ailleurs que le couplage est minimum quand les bobines sont perpendiculaires entre elles.

K est une valeur sans dimension. Le couplage peut aussi être exprimé par un coefficient d'induction mutuelle **M** en henrys, encore appelé "inductance mutuelle". Nous avons l'identité remarquable suivante :

$$\mathbf{M} = \mathbf{K} \times \sqrt{L_P \times L_S} \text{ (Henrys)}$$

L'utilisation de **K** ou de **M** dépend du contexte.

Nous ne développerons pas ici les conséquences du coefficient de couplage avec de simples bobines. Cela fera l'objet d'un futur "Comment ça marche" sur les transformateurs HF. Dans celui du mois prochain, nous verrons l'effet du coefficient de couplage quand les bobines font partie de circuits oscillants parallèles.

La Rubrique "Comment ça marche ?" est une activité collective du radio-club F6KRK (<http://www.f6krk.org>). Pour une correspondance technique concernant cette rubrique : "f5nb@ref-union.org".

Notes.

- 1) Dans un rapport de 1,46 pour $n=4$, 1,96 pour $n=6$, 2,3 pour $n=8$ et 2,6 pour $n=10$.
- 2) Par exemple, il est employé dans la FI d'un analyseur de spectre analogique avec un maximum de cinq étages.