

Comment ça marche ?

Les circuits réactifs (16)

Circuits décalés et circuits en cascade

Par le radio-club F6KRRK

Après avoir vu différentes méthodes de couplage entre deux circuits oscillants parallèles, nous allons poursuivre avec quelques filtres gaussiens obtenus par combinaison de circuits oscillants simples ou de circuits couplés en dessous du couplage transitionnel.

Facteur de forme d'un filtre

Le facteur de forme à X_{dB} d'un filtre est le rapport entre la bande passante à $-X_{dB}$ et la bande passante à $-3dB$ ⁽¹⁾. En général on prend $X=60$. Quand on étudie un filtre on cherche à obtenir le meilleur facteur de forme avec le minimum de pôles. Mais on sait que cela se paiera par une variation rapide du temps de propagation de groupe.

Ondulations dans la bande passante

Pour se rapprocher du filtre idéal à caractéristique rectangulaire, il faut non seulement que le facteur de forme tende vers 1, mais aussi que les ondulations dans la bande passante tendent vers zéro. Or on a vu qu'avec des circuits oscillants en cascade (même F_0), l'ondulation dans la bande restait égale à 3 dB.

Gabarit de filtrage

Le gabarit de filtrage est une façon de formuler graphiquement les exigences résultant du cahier des charges. Voir un exemple sur la figure 1 (filtre prototype).

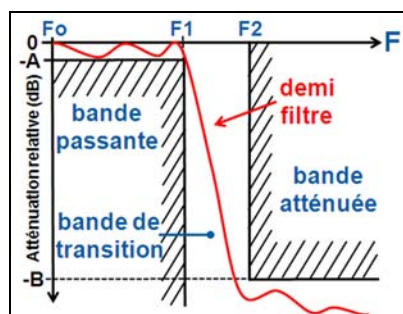


Figure 1

On suppose ici que le gabarit est symétrique. F_0 est la fréquence centrale. $\{A_{dB}\}$ est l'ondulation dans la (demi) bande passante $\{F_1-F_0\}$. $\{B_{dB}\}$ est l'atténuation hors bande à partir de F_2 . La fréquence F_1 est appelée "Fréquence de transition" (F_T). C'est la frontière

entre la bande passante pour une ondulation de A_{dB} et la bande de transition. Nous y reviendrons.

Circuits décalés

Les avantages de ces filtres résident dans la simplicité des calculs et les facilités de réglage. Voir sur la figure 2 un exemple de filtre 3 pôles avec méthode de calcul et réponses.

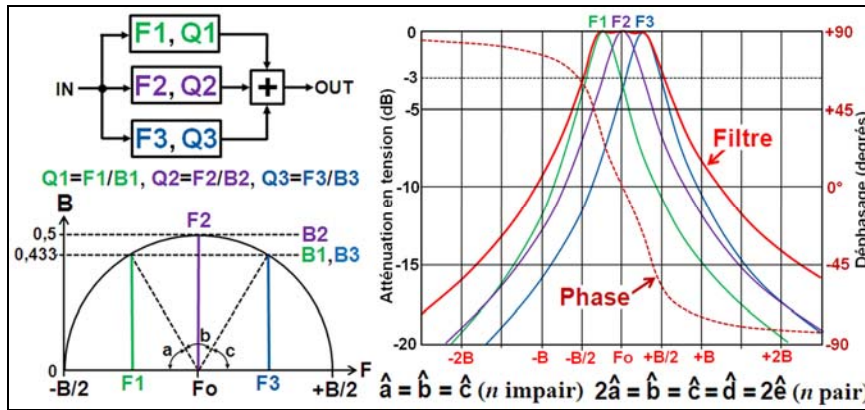


Figure 2

Avant l'avènement des ordinateurs et des simulateurs les circuits décalés permettaient de réaliser "à la main" des filtres large bande à réponse plate avec un temps de propagation de groupe constant dans la bande (s'il est bien réalisé, sans aucune ondulation) ⁽²⁾. En contre partie, l'amélioration du facteur de forme est médiocre (comme racine de n pôles).

Circuits en cascade

Au contraire des circuits décalés, les circuits en cascade utilisent des circuits oscillants ayant la même fréquence de résonance et couplés deux par deux. La mise en série va encore améliorer le facteur de forme. La diminution de l'ondulation dans la bande est réduite grâce à la superposition de réponses résultant de Q différents et d'indices de couplage multiples : couplage(s) critique(s) et sur-couplage(s). Voir le principe sur la figure 3 (filtre 4 pôles à deux étages)

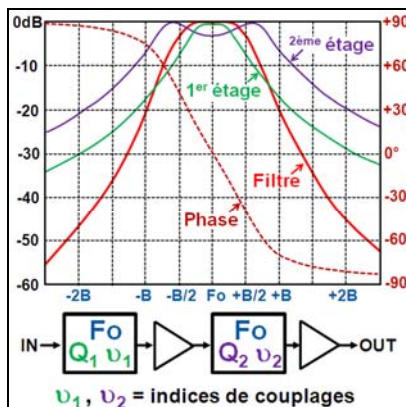


Figure 3

La réalisation peut comporter des circuits L-C avec couplages inductifs et/ou capacitifs (circuits parallèles avec couplage en tête ou circuits série avec couplage en pied). Noter l'excellente linéarité de la phase dans une bande à -6dB. Mais ce n'est vraiment un filtre gaussien que si l'on n'a que des couplages en dessous du couplage transitionnel pour lequel

$\nu=1$. Cascader des circuits couplés au couplage transitionnel a longtemps été la méthode employée pour le filtrage FI dans les récepteurs de radiodiffusion ⁽³⁾.

Le filtre de la figure 3 a une réponse monotone dans la bande. Cela ne peut être obtenu qu'avec des Q et des indices de couplage particuliers. On les détermine à partir d'un polynôme de Butterworth.

Supposons maintenant que l'on augmente le sur-couplage du deuxième étage. On va alors élargir le filtre et améliorer le facteur de forme (la pente augmente) ⁽⁴⁾. Mais cela va se payer par une ondulation dans la bande et une variation du temps de groupe. En résumé, si l'indice de couplage augmente, l'ondulation augmente également et le facteur de forme s'améliore (il se rapproche de 1). Les Q et les indices de couplage en fonction de l'ondulation que l'on s'autorise sont déduits des polynômes de Tchebychev.

Dans le prochain "Comment ça marche" nous discuterons sur ces filtres qui ont leurs fonctions de transfert basées sur des polynômes complexes particuliers (Butterworth, Tchebychev, Cauer, etc.).

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) Certains utilisent une bande passante à -6dB. Cela améliore (?) le facteur de forme, surtout pour les fabricants de filtres.
- 2) Ici, il reste une ondulation en amplitude de 0,15 dB, ce qui entraîne une légère ondulation dans la pente de la variation de phase (donc variation du temps de groupe).
- 3) Le réglage de ces filtres peut se faire simplement, au maximum de réponse à la fréquence F_0 avec un générateur HF et un voltmètre. S'ils comportent des circuits sur-couplés, il faut impérativement utiliser un vobuloscope et manifester un savoir-faire qui relève plus de l'intuition que de la technique.
- 4) Revoir les deux précédents "Comment ça marche" sur le couplage des circuits oscillants).