

Comment ça marche ?

Les circuits réactifs (20)

Quelques filtres actifs

Par le radio-club F6KRR

Les filtres actifs sont en général composés d'une cascade d'amplificateur sélectifs du premier ou du second ordre (R-C). Jadis ils utilisaient des transistors aujourd'hui remplacés par des amplificateurs opérationnels. Nous allons voir deux exemples : filtres passe-bas de type Butterworth et filtre passe-bande gaussien du deuxième ordre.

Filtres Passe-bas à réponse de Butterworth.

Cette architecture a la particularité d'utiliser des cellules R-C identiques quel que soit l'ordre du filtre. Nous avons déjà vu que l'on pouvait obtenir un filtre à réponse de Butterworth en cascader des circuits oscillants plus ou moins sur-couplés. Ici, c'est le même principe appliqué à une architecture passe-bas. On rappelle que le sur-couplage a lieu quand l'indice de couplage dépasse l'unité et par ailleurs qu'il est égal à $K \times Q$. Il y a donc deux manières de l'augmenter : soit augmenter K (coefficient de couplage), soit augmenter Q (coefficient de surtension). C'est ce qui est fait ici grâce à la méthode du Q-multiplier que nous avons vue également. Nous avons sur la figure 1 tout ce qu'il faut pour concevoir de tels filtres.

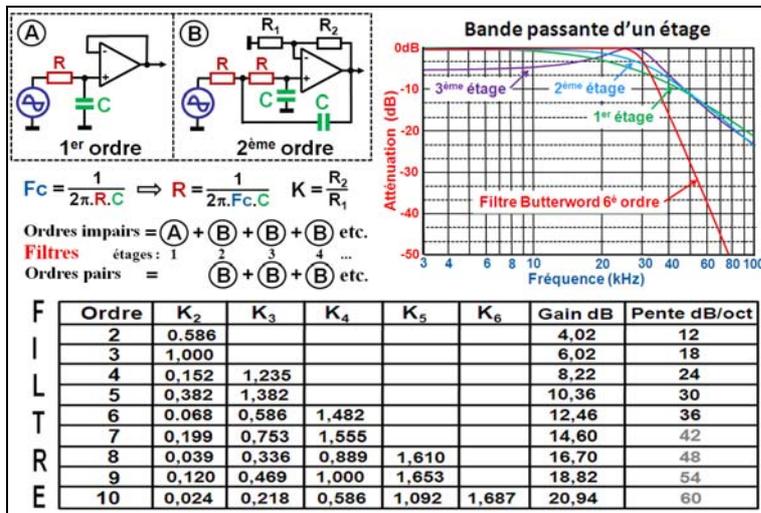


Figure 1

L'étage du premier ordre est gaussien d'ordre 1 et n'appelle pas de commentaire. L'étage du second ordre a une architecture "Sallen-Key" (noms des premiers concepteurs). Les deux cellules R-C sont d'autant plus couplées que le gain de l'amplificateur est important, comme on peut le voir avec les courbes de réponse de l'exemple. Le gain de chaque étage est égal à $1+K$ (coefficient K de l'étage). En additionnant point par point les courbes de l'exemple (avec échelle verticale linéaire), on obtiendrait la courbe générale du filtre. Noter que pour une

dynamique de 60 dB, la pente en dB/octave n'atteint plus la valeur théorique (en grisé dans le tableau). Cette valeur est "asymptotique" pour une atténuation d'autant plus grande que l'ordre est élevé.

Conception des filtres :

- Déterminer l'ordre du filtre en tenant compte du facteur de forme désiré en partant d'une pente de 6dB/oct.
- Choisir une valeur de capacité C normalisée de valeur suffisante pour que les capacités parasites soient négligeables, avec une réactance (à F_c) telle que l'impédance d'entrée des amplificateurs opérationnels ait une influence négligeable. Par exemple pour $F_c=30\text{kHz}$, prendre $C=1\text{nF}$ et alors $R=5305\Omega$.
- Prendre pour R_1 une valeur du même ordre de grandeur que R .
- Calculer les R_2 de chaque étage ($R_2=K \times R_1$).
- Prendre des amplificateurs opérationnels qui ont un déphasage très faible à F_c ($<5^\circ$) pour des gains de 1 à 3 en boucle fermée ⁽¹⁾.
- Construire le filtre et mesurer sa courbe de réponse qui doit être "bonne du premier coup" avec des composants à 1% (appariés les condensateurs).

Filtre Passe-bande gaussien du 2^{ème} ordre.

Nous avons déjà vu une manière de réaliser un filtre passe-bande gaussien en synthétisant une inductance à partir d'un condensateur grâce au gyrateur. Ainsi on peut obtenir un circuit oscillant équivalent L-C de grande qualité. Ici, on combine une cellule passe-bas avec une cellule passe-haut et on obtient un Q relativement élevé grâce au Q-multiplier que nous avons vu également. Le procédé est limité par le gain demandé à l'amplificateur qui atteint 40 dB pour un Q de 100. Ainsi plus le Q sera élevé et plus la fréquence maximum sera réduite pour un même composant amplificateur. Nous avons sur la figure 2 tout ce qu'il faut pour calculer le circuit avec un exemple de réalisation.

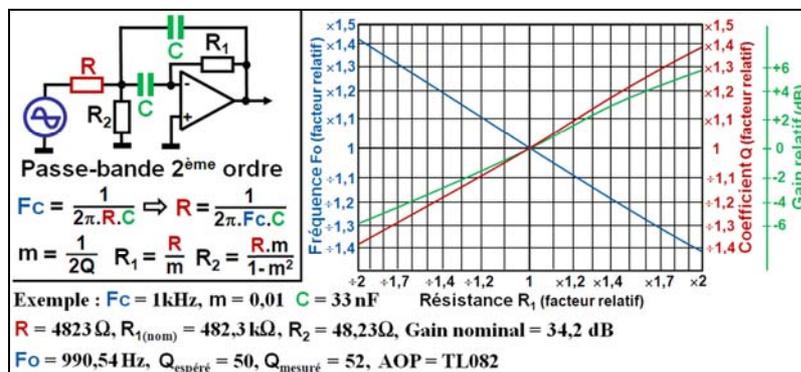


Figure 2

Ce circuit a quand même un avantage. En effet, il est facile de changer la fréquence d'accord en ne modifiant qu'une seule résistance. L'exemple montre qu'avec un Q de départ de 50 on peut facilement obtenir une plage de fréquence d'une octave. On peut cascader deux étages avec un potentiomètre double, voire plus. Si les potentiomètres ne sont pas parfaitement appariés, on utilisera la même méthode que pour "la commande unique" des récepteurs radiophoniques : "padding" et "trimmer".

Influence des composants :

Les condensateurs C doivent être égaux. Ils influent directement sur la fréquence et peu sur le Q et le gain.

La résistance R que l'on prend égale à la résistance nominale de calcul de F_c a peu d'influence sur les paramètres.

La résistance **R1** a un maximum d'influence sur la fréquence et sur le Q, mais en sens inverse (le Q augmente quand la fréquence diminue). Elle a aussi une influence directe sur le gain. La résistance **R2** a une influence conjointe sur le Q et la fréquence (plus R2 diminue et plus le Q et la fréquence augmentent) et peu d'influence sur le gain. En modifiant conjointement le couple R1-R2 on a un moyen d'ajuster le Q tout en gardant la fréquence d'accord.

Ceci terminera la série sur les filtres. Ce n'était qu'un "survol" mais sans doute suffisant pour le radioamateur. Dans le prochain "Comment ça marche" nous aborderons l'utilisation des circuits réactifs en adaptation avec les transformateurs large bande.

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) *Jusqu'à $F_c=100\text{kHz}$, un genre "TL082" va très bien (ils traînent dans tous les fonds de tiroir).*