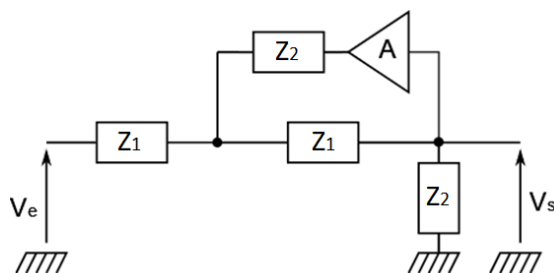


Dans la continuité des trois dernières semaines où vous avez étudié les systèmes du second ordre, vous allez dans ce TP étudier encore une fois un filtre ... Vous vous souvenez du circuit de l'exercice 3 du TD de la semaine 10 ? Et bien vous allez le tester !

Préparation

Soit la structure de Sallen et Key ci-dessous où est rappelée sa fonction de transfert $H(j\omega)$ (la redémontrer est un très bon exercice !). Le gain A de l'amplificateur employé sera positif.



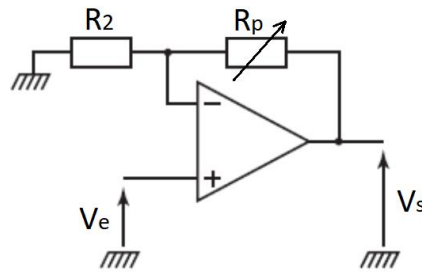
$$H(j\omega) = \frac{Z_2^2}{Z_1^2 + Z_2^2 + (3 - A)Z_1Z_2}$$

Dans la suite, on prendra les valeurs ci-dessous qui seront toujours les mêmes !

$$R=10 \text{ k}\Omega \quad C=10 \text{ nF}$$

- 1) Dans le cas où Z_1 est une résistance de valeur R et Z_2 un condensateur de valeur C , exprimez la fonction de transfert $H(j\omega)$. Faites de même si on inverse Z_1 et Z_2 . Quels sont respectivement les types de filtre obtenus ?
- 2) Donnez l'expression de la fréquence caractéristique f_0 , du facteur d'amortissement m et du facteur de qualité Q des fonctions de transfert obtenues. Calculez ces valeurs.
- 3) Justifiez le fait que le gain A est limité à une valeur maximale telle que $A_{\max}=3 \text{ V/V}$.

L'amplificateur de gain A sera réalisé en utilisant un amplificateur opérationnel comme montré ci-dessous (on utilisera un TL081 de préférence mais un vénérable LM741 pourra faire l'affaire). Ici la résistance variable est un potentiomètre de valeur R_p qui vous est fourni soudé à deux fils de connexion. Dans les calculs, la position du curseur, notée α , sera comprise entre 0 et 1.



$$R_p = 100 \text{ k}\Omega$$

$$R_2 = 47 \text{ k}\Omega$$

- 4) Rappelez l'expression du gain A de l'amplificateur en fonction des composants employés.
- 5) Donnez les valeurs extrêmes du gain A qu'il est possible d'obtenir et les valeurs de m et de Q qui y correspondent.

Note : dans certains cas, afin d'avoir un gain A stable et donc une valeur de Q bien contrôlée, on pourra avantageusement employer à la place du potentiomètre, une résistance, un assemblage de résistances, ou encore une boîte à décades !

Câblage du circuit et test rapide via un balayage en fréquence

- 1) Câblez l'amplificateur de gain A (alimentation $\pm 15 \text{ V}$) et testez son bon fonctionnement en jouant sur son gain via le potentiomètre.

Câblez le filtre dans sa configuration passe-bas de telle sorte que l'on puisse observer à l'oscilloscope les signaux à son entrée (voie 1/A) et à sa sortie (voie 2/B).

Afin d'appréhender rapidement le comportement fréquentiel d'un filtre, il est courant d'appliquer à son entrée un signal sinusoïdal que l'on balaie rapidement en fréquence dans la zone d'intérêt. Nous allons ici le faire mais automatiquement en employant une fonctionnalité du GBF !

- 2) Testez qualitativement le filtre en imposant à son entrée un signal sinusoïdale (amplitude maximale de l'ordre de 1 V_{cc}) balayé en fréquence (touche "Mod" du GBF, $f_{\min} \approx 10 \text{ Hz}$, $f_{\max} \approx 4 \text{ KHz}$ et temps de balayage rapide de l'ordre de 2 s).
- 3) Observez l'impact de Q en jouant sur la position du potentiomètre et identifier les deux régimes de fonctionnement : le régime amorti et le régime résonnant. Observer le comportement du circuit dans la zone d'instabilité.
- 4) Vérifier que le gain en bande-passante, hors résonance, est bien égal à celui attendu.

Réponse indicielle du filtre passe-bas résonnant

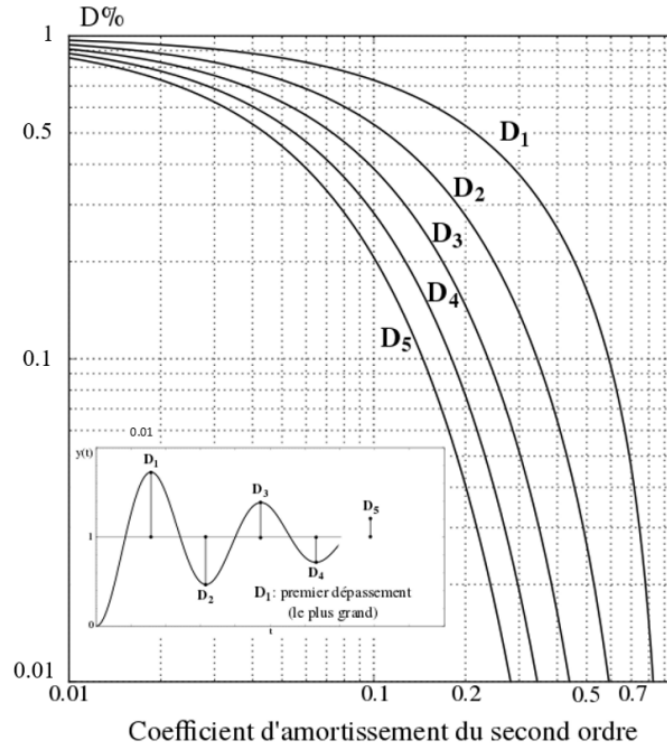
La réponse indicielle est la réponse d'un système dynamique (comme un filtre !) à une fonction de type échelon. Nous allons dans la suite appliquer une fonction échelon de manière "répétitive" au circuit : ceci revient à lui appliquer un signal carré !

Pour la configuration passe-bas, appliquez à l'entrée un signal carré compris entre 0 et 1 V et de basse fréquence ($f \approx 20 \text{ Hz}$).

- 5) Observez, là aussi en jouant sur la position du potentiomètre, les deux régimes de fonctionnement du filtre.
- 6) Pour Q très faible ($A=1$), où il est bien difficile de voir la différence avec un filtre d'ordre 1, comment vérifier que l'on est bien en présence d'un filtre d'ordre 2 ?

- 7) Pour un coefficient Q élevé, relevez la fréquence des pseudo-oscillations. Cette fréquence peut être ici assimilée à f_0 : comparer la valeur mesurée à la théorie.

Pour déterminer expérimentalement la valeur de Q (pour des valeurs pas trop élevées), une méthode simple consiste à mesurer la valeur du premier dépassement de la réponse indicielle (voir graphique donné ci-dessous). Cette mesure peut être réalisée de manière automatique, à l'oscilloscope, via la mesure de la "suroscillation".



Valeurs des différents dépassements en fonction du coefficient d'amortissement m.

- 8) Réglez, via cette méthode, le filtre de manière à avoir la réponse de Butterworth ($Q=m \approx 0,707$). Quelle est sa particularité ? En repassant en régime harmonique forcé, vérifiez que l'on a bien, à la fréquence caractéristique f_0 , le gain auquel on s'attend.
- 9) Faites de même pour $Q=2,5$ ($m=0,2$) et $Q=5$ ($m=0,1$).

Mise en évidence des harmoniques d'un signal carré

Ici, on utilisera le filtre dans sa configuration pas-se-haut avec un coefficient de qualité Q élevé. On appliquera à l'entrée du filtre un signal carré centré d'amplitude 1 Vcc et on observera le signal de sortie tout comme son spectre (plage de 0 à 5 kHz, échelle en tension linéaire).

Pour rappel, la décomposition en série de Fourier d'un signal carré et impair, est rappelée ci-dessous.

$$v(t) = \frac{2A_{cc}}{\pi} \cdot \sum_{n=0}^{+\infty} \frac{\sin[2\pi(2n+1)ft]}{2n+1} \quad \text{où } A_{cc} \text{ est l'amplitude crête à crête du signal}$$

- 10) En partant de $f > f_0$, abaissez la fréquence du signal d'entrée de manière à observer les différents harmoniques ($f, 3.f, 5.f \dots$) amplifiés successivement par le filtre à la résonance.

- 11) Notez l'amplitude des harmoniques amplifiés à la résonance et vérifiez que l'on retrouve bien l'évolution prédite par la théorie.

Isolez les différents harmoniques d'un signal carré, facile à faire en électronique, via des filtres sélectifs et employé dans certains systèmes afin de synthétiser les signaux harmoniques avec des rapports de fréquence entiers et parfaitement synchrones !

Détermination du pic de résonance d'un filtre à fort Q via l'injection de bruit blanc

Note : Afin de gagner du temps, cette partie, assez délicate, pourra être faite par l'enseignant.

Le GBF utilisé est capable de fournir un signal aléatoire de type bruit blanc (en fait rose...) qui présente un spectre continu et constant sur une large bande de fréquence. Nous allons employer ce signal pour mettre en évidence le pic de résonance de notre filtre !

- 12) Réglez Q à une valeur très élevée pour l'une des configurations (passe-bas ou passe-haut). Pour réaliser ceci, on pourra avantageusement employer une boîte à décades à la place du potentiomètre !
- 13) Appliquez à l'entrée du filtre le signal de type "bruit" et observez le spectre (FFT) du signal de sortie (utiliser une plage restreinte de 0 à 5 kHz, avec une fenêtre rectangulaire et une échelle en tension linéaire). Conclusion(s) ?

Fini ...