

Séance de TP n°5 : L'amplificateur opérationnel et les filtres actifs

Nous avons vu durant le TP précédent que lorsque l'on « chargeait » (c'est-à-dire lorsque l'on met un dipôle ou un autre quadripôle en sortie) un filtre passif, ses propriétés (fréquence de coupure, gain maximal, atténuation...) étaient modifiées. Or il se peut qu'un filtre (ou un quadripôle en général) soit « chargé » avec une charge dont les propriétés varient en fonction de la fréquence et en fonction de l'amplitude du signal en sortie (exemple de la diode), ce qui est le cas notamment pour les hautparleurs dans les enceintes branchées en sortie de votre amplificateur HiFi. Un point crucial est donc de rendre « insensible » le filtre (et de manière plus générale, le quadripôle) à ce qui est placé en sortie, ou, tout du moins, minimiser l'effet de la charge. En effet pour une chaîne stéréo donnée on peut choisir plusieurs modèles d'enceintes, ou pour un baladeur, différents types de casques. Nous allons donc voir dans ce TP comment réaliser de tels filtres et nous verrons que l'AOp joue un rôle fondamental.

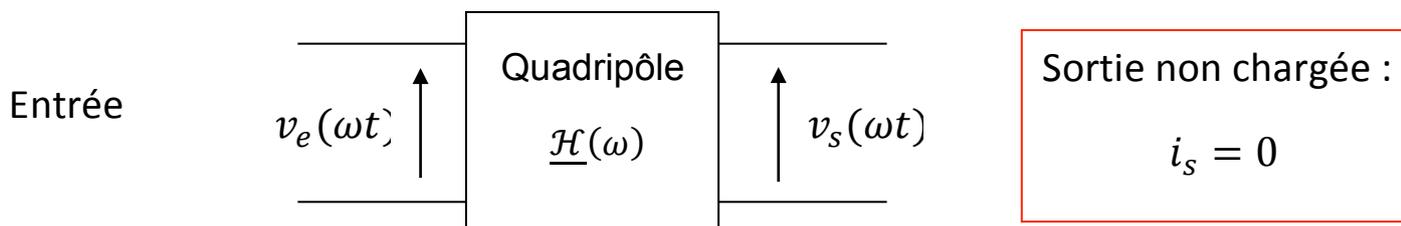
Objectifs du TP :

- Étudier un filtre actif
- Comprendre l'utilité de l'amplificateur opérationnel pour l'adaptation d'impédance
- Réaliser des filtres d'ordre supérieurs à 1 tout en facilitant leur design

Prérequis : Notions élémentaires sur les amplis op.
Maîtriser les notions de gain et de fréquence de coupure

Rappels Théoriques pour la dernière fois (à connaître par cœur !):

- a. Le gain en circuit ouvert d'un quadripôle (actif ou passif) est défini de la manière suivante :



$$\text{Gain en tension : } \mathbf{G}(\omega) = |\underline{\mathcal{H}}(\omega)| = \left| \frac{\underline{v}_s(\omega)}{\underline{v}_e(\omega)} \right| = \frac{V_{s\ c-c}(\omega)}{V_{e\ c-c}(\omega)} = \frac{V_{s\ RMS}(\omega)}{V_{e\ RMS}(\omega)}$$

- b. **La fréquence de coupure ω_c est alors définie comme la fréquence à laquelle le gain maximum en tension du quadripôle est divisé par $\sqrt{2}$.** (ce qui correspond au gain en puissance maximum divisé par 2 !).

$$\mathbf{G}(\omega_c) = \frac{G_{MAX}}{\sqrt{2}}$$

La fréquence à laquelle le gain est maximum dépend du quadripôle. Pour un circuit passif, c'est-à-dire sans amplificateur opérationnel ni transistors, le gain maximum est toujours inférieur ou égal à 1. Dans le cas des filtres passifs déjà étudiés lors de séance de TD n°4 et de la première séance de TP n°4, le gain maximum est égal à 1. Dans le cas d'un filtre passe haut CR le gain maximum est atteint pour des fréquences du signal d'entrée très supérieures à la fréquence de coupure. De manière opposée, pour les filtres passe bas RC, le gain maximum (de 1) est atteint lorsque la fréquence est très inférieure à la fréquence de coupure, idéalement en régime continu (DC). Pour un quadripôle actif le gain maximum peut être très supérieur à 1 ou aussi inférieur à 1.

Un quadripôle peut présenter plusieurs fréquences de coupures. Citons comme exemple un filtre passe bande (vu en L1) qui possède deux fréquences de coupures ω_{c1} et ω_{c2} . Le gain maximum est obtenu pour une certaine fréquence ω_0 dite fréquence centrale du filtre passe bande. La bande de fréquence qui laisse passer le signal de l'entrée vers la sortie est alors définie par la fréquence de coupure basse ω_{c1} (inférieur à ω_0) et la fréquence de coupure haute ω_{c2} (supérieur à ω_0). Pour ces deux fréquences le gain vaut : $G(\omega_{c1}) = G(\omega_{c2}) = \frac{G_{MAX}}{\sqrt{2}} = \frac{G(\omega_0)}{\sqrt{2}}$

c. Echelle décibel

Le gain en tension en décibel a pour définition :

$$\mathbf{g}_{dB}(\omega) = 20 \log (G(\omega))$$

Ce qui donne pour la fréquence de coupure :

$$\begin{aligned}
 g_{dB}(\omega_c) &= 20\log(G(\omega_c)) = 20\log\left(\frac{G_{MAX}}{\sqrt{2}}\right) = 20\log(G_{MAX}) - 20\log(\sqrt{2}) \\
 &= 20\log(G_{MAX}) - 3
 \end{aligned}$$

Voilà pourquoi on parle de fréquence de coupure à -3dB ! C'est la même chose que de dire que le gain en tension est divisé par $\sqrt{2}$.

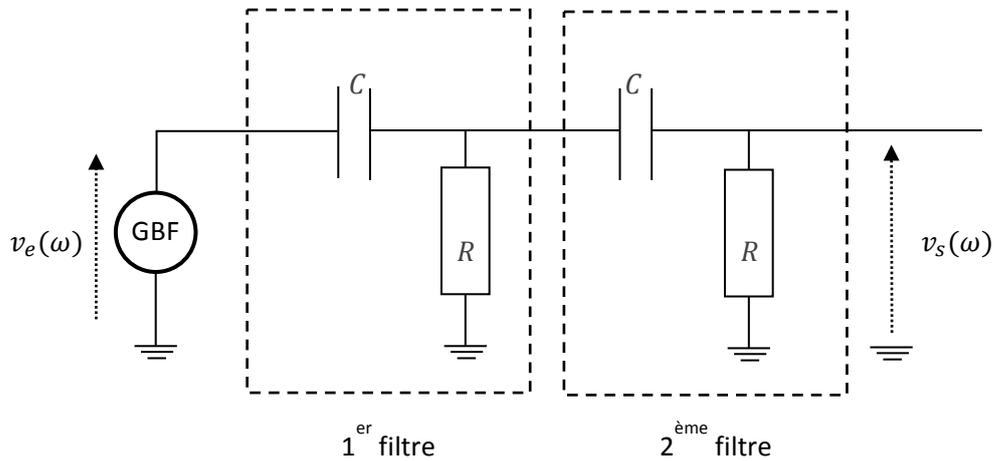
I. Filtre actif d'ordre 1

- Dessiner le schéma du montage correspondant à un filtre passe haut **actif** d'ordre 1 et de gain maximum égal à 1.
- Réaliser le montage en prenant $R = 1\text{k}\Omega$ et $C = 1\mu\text{F}$. Recherchez la fréquence de coupure à -3dB (voir rappels théoriques) ainsi que la pente de ce filtre sans tracer le diagramme de Bode de manière précise (4 points bien choisis suffisent). Vous noterez précisément la méthode adoptée. Pour la détermination de la pente de coupure, vous veillerez à travailler avec un signal d'entrée sinusoïdal qui ne soit pas trop faible (tout en évitant de saturer l'AO). Vous indiquerez la valeur crête à crête ainsi que les fréquences choisies pour déterminer la pente du filtre.
- Placer à la sortie de ce filtre une résistance de charge variable R_s . On pourra utiliser le potentiomètre $1\text{k}\Omega$ en série avec la résistance de protection (intégré) de 200Ω . Faire le schéma du montage. Faire varier la résistance de charge et relevez pour 3 valeurs de R_s le rapport V_s/V_e pour un signal d'entrée à la pulsation ω_c , précédemment déterminée. Est-ce que cette fréquence correspond toujours à la fréquence de coupure ?
- Vérifiez que le gain du filtre est indépendant de la valeur de R_s pour différentes fréquences.
- Conclusion sur l'intérêt de ce montage. Vous comparerez par rapport à un filtre CR passif du 1^{er} ordre étudié lors de la séance de travaux pratiques n°4.

II. Filtre passe haut d'ordre 2 passif :

On cherche **maintenant** à améliorer l'**atténuation** du filtre CR en ajoutant un deuxième filtre CR (Schéma ci-dessous). Ce qui, comme nous le verrons, revient à dire que l'on augmente l'ordre du filtre

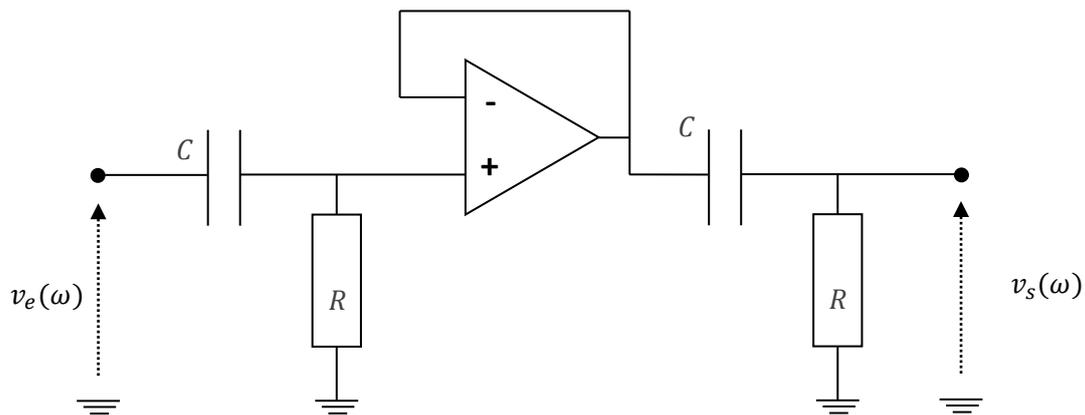
Prendre $C=1\mu\text{F}$, $R=1\text{k}\Omega$, $V_e=2\text{V}_{\text{RMS}}$



- Déterminer expérimentalement, la fréquence de coupure à -3 dB et la pente de cette cascade de filtres CR montés en série ($C=1 \mu\text{F}$, $R=1 \text{ k}\Omega$). On choisira judicieusement pour cela les valeurs de fréquences du signal d'entrée. Comparer la pente obtenue à la valeur attendue pour un seul filtre. Identifiez la courbe correspondante sur le graphique fourni. Conclure.
- Comment calculeriez-vous la fonction de transfert de ce filtre. Appelez-le chargé de TD et expliqué lui la méthode que vous emploieriez. Concluez quant à la facilité de dimensionner ce type de montage.

III. Filtre passif + suiveur : adaptation d'impédance en tension.

On souhaite maintenant réaliser un filtre d'ordre 2 dont la fonction de transfert est directement le carré de la fonction de transfert des filtres CR. On intercale alors entre deux filtres CR passifs un montage suiveur à ampli OP.



- Donner l'expression du gain en tension de ce montage. Justifiez l'utilisation d'un tel montage.
- Déterminer expérimentalement la fréquence de coupure à -3 dB de ce montage. A partir des mesures du gain en dB de ce montage pour quatre fréquences différentes bien choisies, retrouver la courbe théorique parmi celles proposées (graphique distribué).

- Comparer la courbe de gain de ce filtre à celle correspondant au montage précédent. Commentez
- La caractéristique de ce filtre serait elle modifiée si on plaçait une résistance de charge en aval du montage (à la sortie)