

TP 29 : Mise en cascade de filtres

Les points du programme :

- Mettre en œuvre les fonctions de base de l'électronique réalisées par des blocs dont la structure ne fait pas l'objet d'une étude spécifique.
- Associer ces fonctions de base pour réaliser une fonction complexe en gérant les contraintes liées aux impédances d'entrée et/ou de sortie des blocs.
- Effectuer l'analyse spectrale d'un signal périodique à l'aide d'un oscilloscope ;
- Élaborer un signal électrique analogique périodique simple à l'aide d'un GBF ;
- Visualiser un signal électrique et réaliser des mesures à l'oscilloscope.

Matériel : 2 résistances de 1 k Ω , 2 condensateurs de 100nF, GBF, oscilloscope, plaque d'essai, fils, câbles BNC.

Méthode : Plaque d'essai

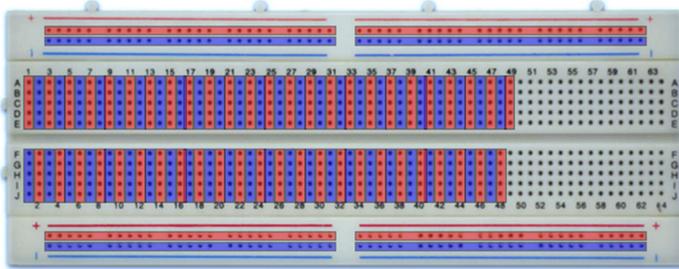
La plaque d'essai est un outil très pratique qui permet aux scientifiques et aux techniciens de réaliser des tests et des expériences.

Une plaque d'essai est d'une très grande utilité pour réaliser des montages électroniques sans soudure.

La plaque d'essai s'utilise avec des straps, bouts de fils en cuivre monobrin.

Il existe des connexions internes sur la plaque :

- Tous les points d'une même ligne du bus d'alimentation (en haut et en bas de la plaque) sont connectés entre eux.
- Tous les points d'une demi-colonne sont connectés entre eux.
- Les colonnes sont coupées en deux par le rail central qui permet de mettre des composants « à cheval ».



<https://iea.org.lb/CMGuide/material.html>

1. Caractérisation d'un filtre (rappel)

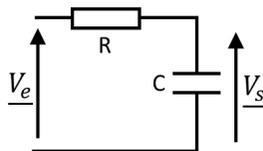
a. Etude théorique

On considère le filtre schématisé ci-contre.

Q1. Etablir la fonction de transfert complexe $H(j\omega)$ de ce filtre.

Q2. Exprimer la fonction de coupure ω_c en fonction de R et C . En déduire la fréquence de coupure f_c . Faire les applications numériques.

Q3. Donner le diagramme de Bode asymptotique puis l'allure du diagramme de Bode réel.



b. Étude expérimentale : tracé du diagramme de Bode

Montage :

- Proposer un montage (= schéma où apparaissent les branchements de l'oscilloscope) permettant de suivre à l'oscilloscope la tension d'entrée $V_e(t) = E_0 \cdot \cos(\omega t)$ et la sortie $V_s(t)$ du filtre
- Réaliser ce montage après accord de l'enseignant. Faire vérifier avant la mise sous tension.

Étude qualitative :

- Effectuer un balayage grossier en fréquence afin de repérer si oui ou non le filtre se comporte comme un filtre passe-bas.
- Noter vos observations.

Tracé du diagramme de Bode

En gain :

- Proposer et mettre en œuvre un protocole qui permet de tracer le diagramme de Bode en gain (en dB) de ce filtre. On ira d'environ 50 Hz à une dizaine de kilohertz en réalisant une dizaine de mesures. Attention à bien répartir les fréquences sur l'*échelle logarithmique* (utiliser le papier *semilog* fourni).
- Une fois le diagramme réalisé, tracer les asymptotes et vérifier que la pente est bien de -20 dB/décade à hautes fréquences

En phase :

- Mesurer le déphasage à basse fréquence, à haute fréquence, et pour $\omega = \omega_c$.
- Tracer alors le diagramme de Bode en phase asymptotique.

Q4. Votre tracé est-il en accord avec la théorie ?

2. Réalisation d'un filtre passe-haut

- Proposer un montage constitué d'une résistance et d'un condensateur permettant de réaliser un passe-haut de même fréquence de coupure que le filtre précédent.
- Réaliser ce montage après accord de l'enseignant. Faire vérifier avant la mise sous tension.
- Effectuer un balayage grossier en fréquence afin de repérer si oui ou non le filtre se comporte comme un filtre passe-haut.

3. Réalisation d'un filtre passe-bande

On souhaite associer les deux filtres précédents afin de réaliser un filtre passe-bande.

On va dans un premier temps simplement mettre les deux filtres en cascade : on relie la sortie du filtre passe-bas à l'entrée du filtre passe-haut.

L'idée est que le premier filtre coupe les hautes fréquences, le second les basses fréquences, et donc l'ensemble forme un passe bande. C'est bien correct, mais nous allons chercher à savoir ce que vaut précisément la fonction de transfert de cet assemblage.

Notons $H_1 = \frac{s_1}{e_1}$ et $H_2 = \frac{s_2}{e_2}$ les fonctions de transfert des filtres 1 et 2 lorsqu'ils sont en "sortie ouverte", c'est-à-dire lorsque rien n'est connecté sur leur sortie (comme sur le schéma du haut ci-contre).

Comme nous relierons la sortie s_1 à l'entrée e_2 (cf. schéma précédent, donc $s_1 = e_2$), nous nous attendons simplement à avoir :

$$H_{tot} = \frac{s_2}{e_1} = \frac{s_2}{e_2} \times \frac{e_2}{e_1} = \frac{s_2}{e_2} \times \frac{s_1}{e_1} = H_2 \times H_1$$

c'est-à-dire une multiplication entre elles des fonctions de transfert.

Si on admet ceci, alors un calcul rapide montre qu'on a :

$$H_{tot} = H_2 \times H_1 = \frac{Z_R}{Z_C + Z_R} \times \frac{Z_C}{Z_C + Z_R} = \frac{j \cdot \omega_0}{1 - \frac{\omega^2}{\omega_0^2} + 2j \cdot \omega}$$

avec $\omega_0 = 1/R.C$. C'est la fonction de transfert d'un filtre passe-bande de facteur de qualité $Q = 1/2$.

Nous allons tester si c'est bien le cas expérimentalement.

a. Mise en cascade sans adaptation d'impédance

- Réaliser l'association des deux filtres en cascade, comme sur le schéma précédent.
- Proposer alors un protocole permettant de mesurer les deux fréquences de coupure (rappeler la définition de ces fréquences).
- Mettre en œuvre ce protocole.

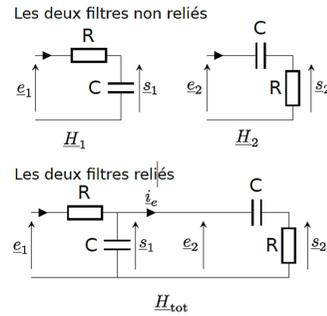
Pour un passe-bande, le facteur de qualité est donné par $Q = f_0/\Delta f$, avec Δf la largeur de la bande passante et ici $f_0 = 1/(2\pi.RC)$ la fréquence de résonance.

Q5. En déduire la valeur du facteur de qualité de votre montage.

Q6. Ceci est-il compatible avec la valeur $Q = 1/2$ attendue si $H_{tot} = H_2 \times H_1$?

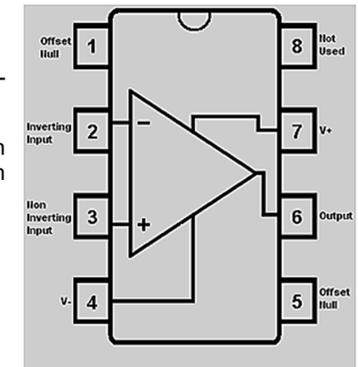
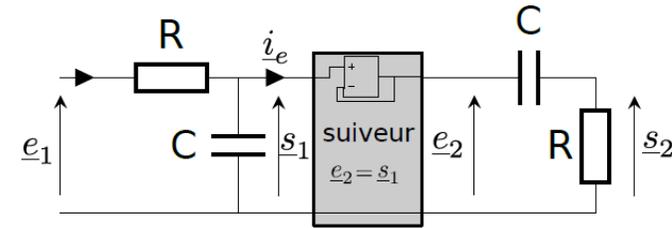
Q7. Déterminer la fonction de transfert réelle à partir du schéma. En déduire la véritable valeur du facteur de qualité. Est-elle compatible avec vos mesures ?

Explication du problème : l'expression de H_1 utilisée n'est valable que si le filtre est « en sortie ouverte », c'est-à-dire le courant i_e est nul. Or en rajoutant le deuxième filtre, ce n'est plus le cas !



b. Solution pour pouvoir multiplier les fonctions de transfert

Il faut garantir que le courant i_e reste nul malgré la présence du second filtre. On utilise pour cela un montage suiveur qui utilise un amplificateur linéaire intégré (A.L.I.) étudié en détail en 2^{ème} année.



Le schéma de câblage de l'ALI est donné ci-contre :

Il est nécessaire de l'alimenter avec une tension continue (+12V/-12V), et de relier la masse de son alimentation aux autres masses du montage.

- Réaliser la mise en cascade des deux filtres, en intercalant entre les deux un suiveur (**éteindre le GBF et m'appeler avant de le remettre en marche**).
- En procédant comme précédemment, mesurer le facteur de qualité du filtre.

Q8. Vos mesures sont-elles en accord avec $Q = 1/2$?