

# Mise en cascade de filtres

## Objectifs

- ▷ 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 :

- ▷ Deux résistances variables (boîte à décade) ;
- ▷ Deux condensateurs de capacité variable (boîte à décade) ;
- ▷ Un amplificateur linéaire intégré ;
- ▷ Une alimentation stabilisée +15/ - 15 ;
- ▷ Un générateur basse fréquence ;
- ▷ Un oscilloscope ;
- ▷ Un multimètre ;
- ▷ Une carte d'acquisition interfacée ;
- ▷ Fils et adaptateurs BNC.

L'objectif de ce TP de synthèse est de concevoir et mettre en œuvre un filtre passe-bande par la mise en cascade d'un filtre passe-bas et d'un filtre passe-haut afin d'analyser l'effet de l'adaptation d'impédance sur la mise en cascade de filtre. L'énoncé ne donne que très peu de schémas de montages : vous ne manquerez pas de les tracer au préalable. Vous pourrez le faire sous forme de schéma-bloc.

Un cahier par binôme sera ramassé au hasard et noté. La note sera appliquée aux deux membres du binôme.

## I - Préparation des filtres

À partir du matériel disponible, réaliser un filtre passe-bas et un filtre passe-haut du premier ordre tous deux de même fréquence de coupure  $f_c = 1$  kHz.

Caractériser qualitativement l'effet de chacun des filtres en imposant une tension crête en entrée et en comparant le spectre du signal d'entrée et celui du signal de sortie.

## II - Mise en cascade sans suiveur

Réaliser un filtre passe-bande par mise en cascade de ces deux filtres. Vérifier que le filtre composé est bien un passe-bande.

Proposer et mettre en œuvre un protocole pour mesurer sa fréquence centrale  $f_0$  et sa bande passante à  $-3$  dB. En déduire la valeur numérique du facteur de qualité  $Q$  du filtre.

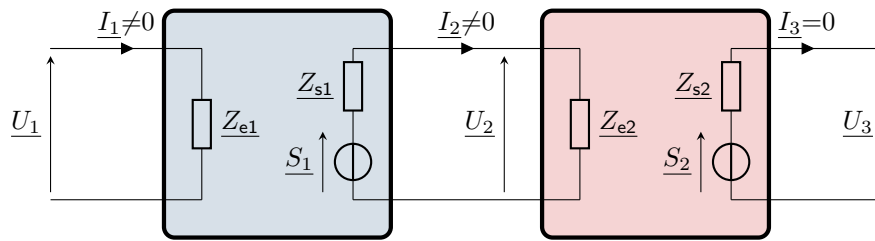
## III - Mise en cascade avec suiveur

Préparer un montage suiveur à ALI et mettre en œuvre un protocole très simple pour vérifier qualitativement son bon fonctionnement. M'appeler une fois le montage câblé.

Insérer le suiveur dans le montage précédent. Vérifier que la nature du filtre n'est pas modifiée par le montage suiveur mais que sa bande passante l'est. Déterminer la valeur numérique du facteur de qualité  $Q'$ .

**Document 1 : Mise en cascade de blocs fonctionnels**

En électronique de commande, les éléments sont décrits par des blocs fonctionnels qui réalisent des opérations bien définies (filtrage, amplification de tension ou de courant, multiplication, intégration, dérivation, etc.). Pour un bon fonctionnement du montage, le comportement de chaque bloc ne doit pas être influencé par les blocs voisins.



**Figure 1 – Schéma de principe d'un montage par blocs.** Chaque bloc est décrit par son impédance d'entrée  $Z_e$  et son impédance de sortie  $Z_s$ .

Considérons le schéma figure 1, où chaque bloc est décrit par son impédance d'entrée  $Z_e$  et son impédance de sortie  $Z_s$ , et modélisé par sa fonction de transfert *en sortie ouverte*  $\underline{H} = \underline{S}/\underline{E}$ . En raison des impédances de sortie, les tensions  $\underline{U}$  correspondent bien aux tensions d'entrée mais pas aux tensions de sortie des différents blocs.

Considérons par exemple la maille centrale. On y reconnaît un pont diviseur de tension, d'où

$$\underline{U}_2 = \frac{Z_{e2}}{Z_{e2} + Z_{s1}} S_1$$

Autrement dit, la tension d'entrée du second bloc est influencée par la résistance de sortie du premier bloc, ce qui est contraire au cahier des charges. Néanmoins, si  $|Z_{e2}| \gg |Z_{s1}|$  cette dépendance devient négligeable. Dans ce cas, et *uniquement dans ce cas*, on a donc

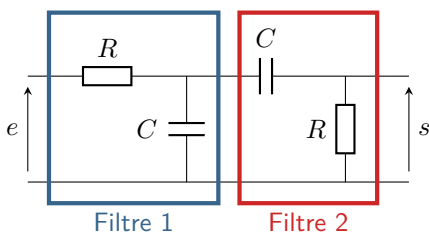
$$\underline{U}_3 = \underline{S}_3 = \underline{H}_2 \underline{U}_2 \simeq \underline{H}_2 \underline{S}_1 = \underline{H}_2 \underline{H}_1 \underline{U}_1,$$

ce qui permet à la fonction de transfert de l'association de valoir

$$\underline{H} = \frac{\underline{U}_3}{\underline{U}_1} = \underline{H}_2 \underline{H}_1.$$

Notons que dans ce cas on a également  $\underline{I}_2 = 0$  : tout se passe comme si les deux blocs étaient utilisés en sortie ouverte.

**Document 2 : Calculs complémentaires sur la mise en cascade de filtres RC**



Fonction de transfert du filtre complet : on pose  $\omega_0 = 1/RC$

$$\underline{H} = \frac{j \frac{\omega}{\omega_0}}{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2 + 3j \frac{\omega}{\omega_0}} \quad (Q = 1/3)$$

Fonction de transfert en sortie ouverte de chacun des filtres mis en cascade :

$$\underline{H}_1^{so} = \frac{1}{1 + j \frac{\omega}{\omega_0}} \quad \text{et} \quad \underline{H}_2^{so} = \frac{j \frac{\omega}{\omega_0}}{1 + j \frac{\omega}{\omega_0}}$$

Produit des fonctions de transfert en sortie ouverte :

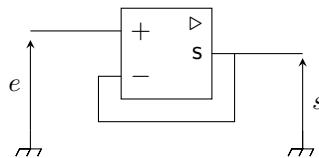
$$\underline{H}_1^{so} \underline{H}_2^{so} = \frac{j \frac{\omega}{\omega_0}}{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2 + 2j \frac{\omega}{\omega_0}} \neq \underline{H}. \quad (Q = 1/2)$$

**Document 3 : Câblage d'un montage suiveur à amplificateur linéaire intégré**



Un amplificateur linéaire intégré ou amplificateur opérationnel (abrégé ALI ou AO) est un quadripôle actif qui fait l'objet d'une large partie du cours d'électronique de PT. Comme il s'agit d'un composant actif, il doit être alimenté par une source extérieure, en l'occurrence une source de tension continue  $\pm 15\text{ V}$ . L'alimentation de l'ALI doit être mise en place *avant* de lui envoyer un signal d'entrée quel qu'il soit.

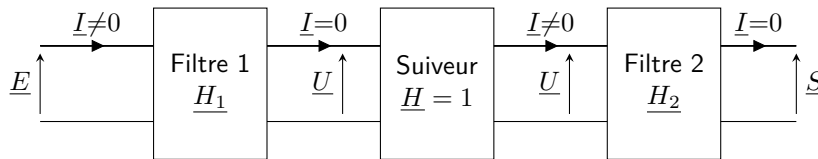
Différents bouclages entre les bornes +, - et s de l'ALI permettent de réaliser une multitude de fonctions différentes. Pour réaliser un montage suiveur, les bornes doivent être reliées entre elles comme indiqué ci-dessous. Dans ce cas, la tension de sortie  $s$  est exactement égale à la tension d'entrée  $e$ . Un montage suiveur peut donc sembler de peu d'intérêt dans le cadre du traitement signal : le document 4 explique pourquoi il s'agit d'une mauvaise impression.



**Figure 2 – Câblage d'un montage suiveur.** Comme de coutume en électronique, les fils d'alimentation de l'ALI ne sont pas représentés pour ne pas surcharger le schéma.

**Document 4 : Rôle d'un montage suiveur**

Lorsque les blocs fonctionnels ont des impédances d'entrée et de sortie qu'il n'est pas possible de modifier, pouvoir insérer un étage supplémentaire dans la cascade ayant une impédance d'entrée quasiment infinie et une impédance de sortie quasiment nulle devient très intéressant : c'est le rôle du montage suiveur à ALI. Comme sa fonction de transfert vaut exactement 1, il ne modifie pas les signaux, mais il permet de réaliser l'adaptation d'impédance entre les deux filtres qui, eux, ont un effet direct sur le signal.



**Figure 3 – Mise en cascade de filtres et d'un montage suiveur.** Les deux filtres sont décrits par leur fonction de transfert  $H$ .

Avec les notations de la figure 3, la mise en cascade des trois blocs est équivalente à un filtre de fonction de transfert

$$H = \frac{S}{E} = \frac{S}{U} \frac{U}{E} = H_2 H_1.$$

Tout se passe donc comme si le filtre complet était composé des deux filtres 1 et 2 utilisés en sortie ouverte.