

# Mise en cascade de filtres

Au cours de la séance, vous rédigerez un compte-rendu dans votre cahier de TP. Un bon compte-rendu doit faire figurer l'**objectif** de l'expérience, un **protocole** expérimental accompagné d'un **schéma**, l'**allure des signaux** observés et le **résultat** des mesures accompagné d'une discussion des **incertitudes**. Pour vous aider, plus de détails sont parfois donnés au fil de l'énoncé. Bien que n'étant pas toujours rappelés, les éléments cités ci-dessus sont un **minimum** qui doit apparaître à chaque expérience.

Un compte-rendu de TP n'est ni un brouillon, ni une copie : sa vocation première est d'être un outil pour vous aider à réutiliser en autonomie les techniques étudiées. N'hésitez pas à me solliciter si vous vous interrogez sur l'intérêt d'écrire certains détails dans le compte-rendu !

Un binôme présentera son travail au reste de la classe en fin de séance et quelques cahiers seront évalués.

## 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.

## Documents :

- ▷ Fiche « Mesures et incertitudes » (cahier de TP);
- ▷ Notice simplifiée du logiciel Regressi (cahier de TP);
- ▷ Document sur la mise en cascade de blocs fonctionnels;
- ▷ Document présentant des calculs complémentaires sur la cascade de filtres RC;
- ▷ Document sur le câblage du montage suiveur à amplificateur linéaire intégré;
- ▷ Document sur l'intérêt du montage suiveur à amplificateur linéaire intégré dans une cascade de filtres.

L'objectif de la séance 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 sur votre compte-rendu au préalable. Vous pourrez le faire sous forme de schéma-bloc.

## 1 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 l'effet de chacun des filtres en imposant une tension d'entrée bien choisie et en comparant le spectre du signal d'entrée et celui du signal de sortie.

## 2 Mise en cascade sans suiveur

Proposer et mettre en œuvre un protocole permettant de réaliser un filtre passe-bande par mise en cascade de ces deux filtres. La réalisation schématique de gabarits de ces filtres peut vous y aider.

Proposer et mettre en œuvre un protocole permettant de s'assurer que le filtre composé est bien un passe-bande. Proposer et mettre en œuvre un protocole pour mesurer sa bande passante à  $-3$  dB. En déduire la valeur numérique du facteur de qualité du filtre.

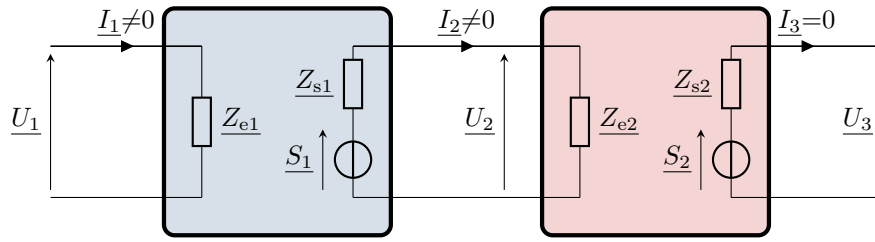
## 3 Mise en cascade avec suiveur

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.

Reproduire le protocole proposé au paragraphe précédent montrant que la nature du filtre n'est pas modifiée par le montage suiveur mais que sa bande passante l'est.

## 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*  $H = S/E$ . En raison des impédances de sortie, les tensions  $U$  correspondent bien aux tensions d'entrée mais pas aux tensions de sortie des différents blocs. On reconnaît un pont diviseur de tension dans la maille centrale, d'où

$$U_2 = \frac{Z_{e2}}{Z_{e2} + Z_{s1}} S_1$$

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

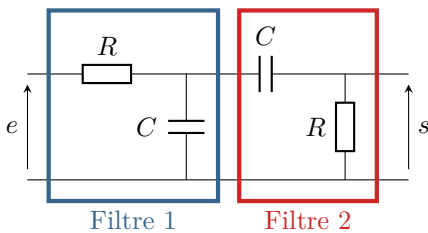
$$U_3 = S_3 = H_2 U_2 \simeq H_2 S_1 = H_2 H_1 U_1,$$

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

$$H = \frac{U_3}{U_1} = H_2 H_1.$$

Notons que dans ce cas on a également  $I_2 = 0$  : 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 :

$$H = \frac{j \frac{\omega}{\omega_0}}{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2 + 3j \frac{\omega}{\omega_0}} \quad \text{avec} \quad \omega_0 = \frac{1}{RC}$$

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

$$\frac{H_1^{so}}{H_1} = \frac{1}{1 + j \frac{\omega}{\omega_0}} \quad \text{et} \quad \frac{H_2^{so}}{H_2} = \frac{j \frac{\omega}{\omega_0}}{1 + j \frac{\omega}{\omega_0}}$$

Produit des fonctions de transfert en sortie ouverte :

$$\frac{H_1^{so} H_2^{so}}{H_1 H_2} = \frac{j \frac{\omega}{\omega_0}}{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2 + 2j \frac{\omega}{\omega_0}} \neq H.$$

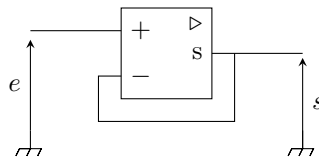
### Document 3 : Câblage d'un montage suiveur à amplificateur linéaire intégré



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.**

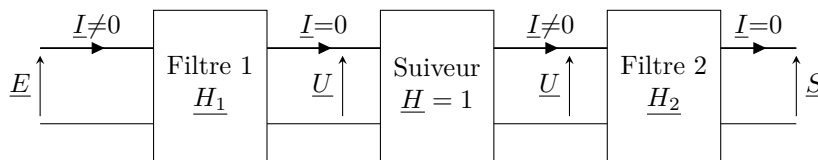
Différents bouclages entre les bornes +, - et s de l'ALI permettent de réaliser une multitude de fonctions différentes. Pour réaliser un montage suiveur, les bornes doivent être reliées entre elles comme indiqué ci-dessous. Dans ce cas, la tension de sortie  $s$  est exactement égale à la tension d'entrée  $e$ . Un montage suiveur peut donc sembler de peu d'intérêt dans le cadre du traitement signal : le document 3 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.

## Évaluation

En plus des savoirs-faire exigibles en autonomie figurant dans le programme, les points les plus importants du TP sont indiqués d'une étoile (\*).

Au vu du travail au cours de la séance et de la présentation, un savoir-faire semble (A) acquis ; (B) à consolider ; (C) en cours d'acquisition ou (D) pas encore acquis.

Savoir-faire	Compétence	Éval.
<p><b>(*) Compétences exigibles en autonomie (extrait du programme) :</b>            Élaborer un signal électrique analogique périodique simple à l'aide d'un GBF.            Visualiser une tension à l'oscilloscope et l'acquérir par un logiciel adapté.            Effectuer l'analyse spectrale d'un signal à l'aide d'un logiciel adapté.            Gérer les contraintes de liaison entre les masses dans un circuit électrique.            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.</p>	Réaliser Réaliser Analyser, réaliser Analyser, réaliser Réaliser Analyser, réaliser	
<p><b>Comprendre et s'approprier une problématique scientifique :</b>            (*) Rechercher, extraire et organiser de l'information.            Énoncer une problématique d'approche expérimentale et définir les objectifs correspondants.</p>	S'approprier S'approprier, analyser	
<p><b>Obtenir des résultats de mesure :</b>            Mettre en œuvre un protocole avec précision et rigueur.            (*) Utiliser le matériel et les logiciels de manière adaptée, éventuellement à l'aide d'une notice.</p>	Réaliser Réaliser	
<p><b>Analyser des résultats de mesure :</b>            (*) Représenter graphiquement des résultats expérimentaux.            Analyser les résultats de manière critique, maîtriser les unités et les ordres de grandeur.            (*) Confronter un modèle à des résultats expérimentaux, confirmer ou infirmer une hypothèse.            Proposer des améliorations de la démarche ou du modèle.</p>	Réaliser Valider Valider Analyser, valider	
<p><b>Présenter des contenus scientifiques dans un discours adapté :</b>            Présenter les différentes étapes du travail : problématique, dispositif et protocole de mesure, exploitation des résultats, conclusion.            S'appuyer sur des supports graphiques pertinents (schémas et courbes).            Rédiger ou mener la présentation orale avec précision et rigueur en utilisant un vocabulaire scientifique adéquat.            Parler sans attendre d'approbation et imposer le rythme de la présentation.</p>	Communiquer Communiquer Réaliser, communiquer Être autonome et faire preuve d'initiative	
<p><b>Faire preuve d'écoute et de réactivité :</b>            Travailler seul ou en équipe, confronter son point de vue en faisant preuve d'écoute.            Solliciter une aide de manière pertinente.            S'impliquer, prendre des décisions, anticiper.</p>	Être autonome et faire preuve d'initiative Être autonome et faire preuve d'initiative Être autonome et faire preuve d'initiative	