

# Etude de systèmes électroniques : Caractéristiques d'un Ampli-op réel & Filtre du 2nd ordre

A l'occasion des vacances de printemps je propose un premier devoir reprenant les thèmes abordés lors des dernières séances :

- Caractéristiques d'un amplificateur opérationnel réel : Produit Gain Bande & Slew Rate
- Filtre passe bas du 2nd ordre : Forme canonique, Identification & Réponse fréquentielle, Calcul de structure
- Filtre passe haut du 2nd ordre : Forme canonique, Identification & Réponse fréquentielle, Calcul de structure
- Simulation LTSpice : Analyse AC

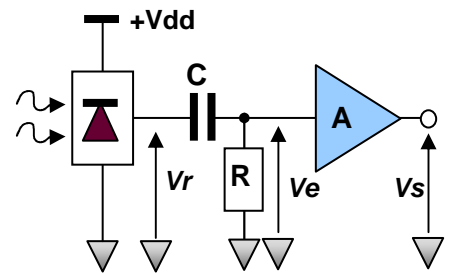
Ce premier devoir donnera lieu à un corrigé publié d'ici une semaine. Afin de vérifier le bon dimensionnement des montages je propose quelques fichiers de simulation LTSpice.



Illustration : julie alice chappell

## Exercice 1 : Etude d'un amplificateur pour télémètre LASER

Pour effectuer la mesure de distance sur un télémètre LASER il est nécessaire d'amplifier la composante sinusoïdale du signal de réception  $V_r(t)$  en sortie de la tête optique. La fréquence de travail  $f_1$  est fixée à 8MHz et c'est la mesure du déphasage  $\varphi$  qui permet de déduire la distance. On donne :  $V_r(t) = E_{r_0} + E_{r_1} \cdot \sin(2\pi f_1 t + \varphi)$  avec  $E_{r_0} = V_{dd}/2$  et  $E_{r_1} = 50mV$ . Par ailleurs on fixe  $R = 51\Omega$ .



**Q1 :** Quelle est la nature du filtre formée par C & R ? Afin de ne pas modifier la composante sinusoïdale du signal de réception  $V_r$  on se fixe une fréquence de coupure de 800kHz en déduire la valeur du condensateur C.

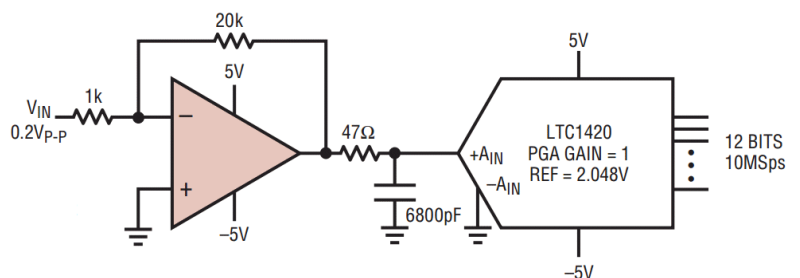
**Q2 :** Quel est l'effet du filtre sur une composante continue ? Représenter alors le signal  $V_e$  au cours du temps.

**Q3 :** On désire concevoir un amplificateur de gain 26dB utilisant un amplificateur opérationnel sans inversion de signe. Proposer un schéma de montage et effectuer le dimensionnement de ce montage en sachant que la plus petite de ces résistances est de 430Ω.

**Q4 :** Que représente le produit gain bande (GBW) pour un amplificateur opérationnel ? Dans une application quelle doit être la valeur de GBW ?

## Exercice 2 : Une interface d'entrée pour convertisseur analogique-numérique

On considère le schéma d'application ci-contre issue de la documentation constructeur du convertisseur analogique numérique LTC1420.



**Q1 :** Le convertisseur analogique travaille avec une fréquence d'échantillonnage  $F_e = 10MSps$ . Que désigne l'unité MSps ?

**Q2 :** Quelle est la nature du filtre se trouvant entre la sortie de l'amplificateur opérationnel et l'entrée du convertisseur analogique numérique ? Quelle est sa fréquence de coupure ? En déduire l'atténuation apportée par ce filtre pour  $F_e/2$ .

**Q3 :** Si l'on considère que l'amplificateur opérationnel est parfait, exprimer le signal sur sa sortie  $V_{OUT}(t)$

lorsque l'entrée est de la forme  $V_{IN}(t) = U \cdot \sin(2\pi \cdot f_{IN} \cdot t)$ . Exprimer la quantité  $\left. \frac{dV_{OUT}}{dt} \right|_{max}$  en fonction de U et  $f_{IN}$ . En

déduire la valeur minimale du Slew rate que vous exprimerez en  $V/\mu s$  pour l'amplitude mentionnée sur le schéma et une fréquence d'entrée  $f_{IN} = 300kHz$ .

**Q4 :** On sélectionne un amplificateur opérationnel avec un Slew rate de  $4V/\mu s$ . Que devient le signal de sortie  $V_{OUT}$  si l'on applique sur l'entrée un signal sinusoïdal de fréquence  $f_{IN}=500kHz$  et d'amplitude  $0,4V_{p-p}$  ?

**Exercice 3 : Filtrage audio pour qualité téléphonique**

Afin de limiter la bande passante audio d'un signal capté par un microphone on propose le filtre passe bas du 2nd ordre suivant. On choisit une fréquence de coupure de 3,4kHz correspondant au standard de la qualité audio téléphonique. On montre que la fonction de transfert de ce montage peut s'écrire :

$$T(j\omega) = \frac{S(j\omega)}{E(j\omega)} = \frac{1}{1 + jC_2\omega(R_1 + R_2) + (j\omega)^2 C_1 C_2 R_1 R_2}$$

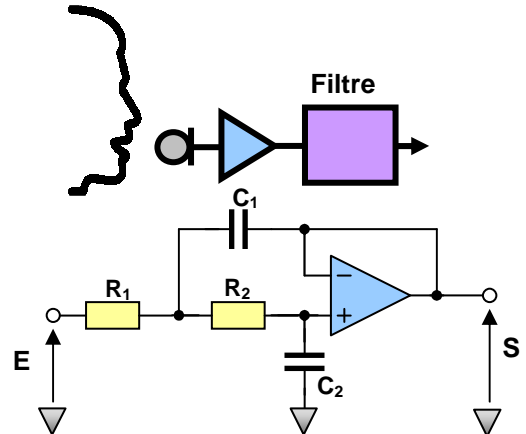
**Q1 :** Montrer que cette fonction peut se mettre sous une forme canonique d'un filtre passe bas du 2<sup>nd</sup> ordre et exprimer les paramètres caractéristiques  $m$  et  $\omega_0$  en fonction des éléments du montage.

**Q2 :** Quelle valeur de  $m$  doit-on choisir pour obtenir une fréquence de coupure  $f_c$  identique à la fréquence propre  $f_0$  ?

**Q3 :** En déduire les valeurs de  $C_2$  et  $R=R_1=R_2$  si l'on fixe  $C_1=2,2nF$

**Q4 :** Tracer l'allure du diagramme de Bode de ce filtre en précisant les pentes et points caractéristiques. Vérifier en effectuant une simulation LTSpice.

**Q5 :** Pour un filtre passe bas du 2nd ordre, quelle méthode expérimentale simple proposez vous pour déterminer les paramètres  $m$  et  $f_0$  de façon générale ?



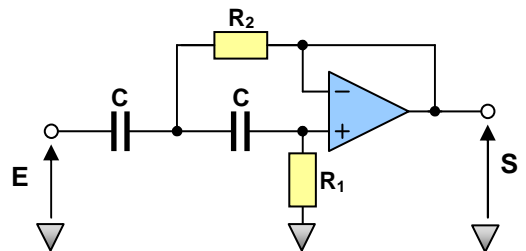
**Exercice 4 : Conception d'un filtre passe haut**

Le filtre proposé ci-contre est une cellule Sallen & Key passe haut.

**Q1 :** Montrer que la fonction de transfert de ce montage est :

$$T(j\omega) = \frac{S(j\omega)}{E(j\omega)} = \frac{(j\omega)^2 C^2 R_1 R_2}{1 + 2jR_2 C\omega + (j\omega)^2 C^2 R_1 R_2}$$

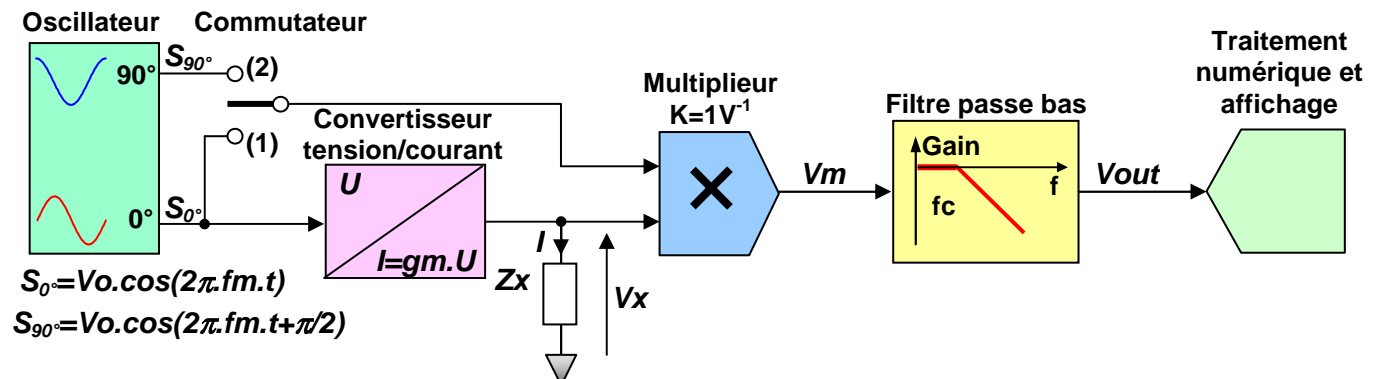
**Q2 :** Proposer un dimensionnement de ce montage afin d'obtenir une réponse de Butterworth ( $m=0,707$ ) avec une fréquence de coupure de 300Hz. Vérifier votre dimensionnement en effectuant une simulation LTSpice.



**Exercice 5 : Impédancemètre pour composants passifs**

**Contexte :**

Afin de vérifier et mesurer les composants passifs (inductance & condensateur) utilisés dans les filtres passifs pour les enceintes acoustiques (voir photo ci-contre) on utilise un dispositif basé sur une détection synchrone fonctionnant à basse fréquence. Pour ce principe de mesure on utilise 2 signaux sinusoïdaux en quadrature comme le montre le schéma synoptique de cet instrument sur la figure 1. Nous vous proposons dans une première partie d'étudier le principe de fonctionnement et nous effectuerons ensuite l'étude, le dimensionnement et l'implantation du filtre passe bas de sortie.



**Figure 1 :** Schéma synoptique de l'inductance-mètre

**Partie 1 : Analyse du fonctionnement de la détection synchrone**

En régime permanent la tension  $V_x$  peut s'écrire sous la forme :  $V_x(t) = g_m \cdot V_o \cdot |Z_x| \cdot \cos(2\pi f_m \cdot t + \text{Arg}(Z_x))$

Les quantités  $|Z_x|$  et  $\text{Arg}(Z_x)$  que l'on souhaite déterminer, dépendent bien évidemment de la fréquence de mesure  $f_m$ . La fréquence  $f_m$  est choisie parmi les valeurs suivantes : 30Hz, 100Hz, 300Hz, 1kHz, 3kHz et 10kHz afin de couvrir la gamme des fréquences audio.

Par ailleurs on donne les quantités suivantes :  $g_m = 1\text{mA/V}$  et  $V_o = 2\text{V}$ .

**Q1 :** Exprimer le signal  $V_m$  lorsque le commutateur est en position 1 et montrer qu'elle peut s'écrire sous la forme d'une composante continue et d'une composante fréquentielle de fréquence  $2f_m$ . On rappelle que  $2\cos(a) \cdot \cos(b) = \cos(a + b) + \cos(a - b)$

**Q2 :** Montrer que si le filtre passe bas est configuré de telle sorte à éliminer la composante en  $2 \cdot f_m$ , on obtient une tension de sortie de la forme  $V_{out} = \alpha |Z_x| \cos(\text{Arg}(Z_x))$ . Exprimer le coefficient  $\alpha$  en fonction de  $K$ ,  $g_m$  et  $V_o$

On montre que lorsque le commutateur est en position 2 alors  $V_{out} = \alpha |Z_x| \sin(\text{Arg}(Z_x))$  ce qui permet lorsque l'on numérise la tension  $V_{out}$  de déterminer les valeurs de  $|Z_x|$  et  $\text{Arg}(Z_x)$  pour les différentes fréquences  $f_m$  de test.

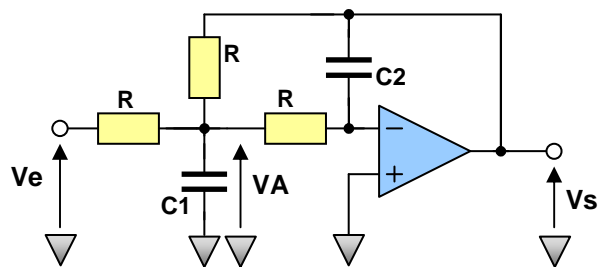
**Partie 2 : Etude & Dimensionnement du filtre passe bas**

Le filtre passe bas doit permettre d'atténuer suffisamment la fréquence  $2 \cdot f_m$  tout en garantissant un temps de réponse raisonnable car ce dispositif de mesure prend place dans une chaîne de montage semi-automatisée.

Si l'on considère que le temps de réponse de ce filtre est de la forme  $1/f_c$  ( $f_c$  : fréquence de coupure à -3dB) cela conduit à choisir une fréquence de coupure de 10Hz. Dans le cas le plus défavorable  $2f_m = 60\text{Hz}$  et l'on propose de réaliser un filtre passe bas du 3ième ordre afin de garantir une atténuation d'au moins 40dB.

Ce filtre est alors constitué d'un filtre passe bas du 2nd ordre dans lequel on fixe les paramètres  $f_o = 10\text{Hz}$  &  $m = 0,5$  suivi d'un filtre passe bas du 1er ordre dans lequel on fixe  $f_c = 10\text{Hz}$ .

Afin de réaliser la structure passe bas du second ordre, on propose le montage de la figure 2 ci-contre qui est une cellule de Rauch. Pour l'étude de ce montage on considère que l'ampli-opérationnel est parfait et fonctionne en régime linéaire.



**Figure 2 :** Cellule de Rauch passe bas

**Q3 :** En utilisant le théorème de Millman exprimer  $V_a(j\omega)$  en fonction de  $V_e(j\omega)$ ,  $V_s(j\omega)$ ,  $R$ ,  $C_1$  et  $j\omega$

**Q4 :** Quel montage simple reconnaît-on entre  $V_a(j\omega)$  et  $V_s(j\omega)$  ? En déduire une relation entre  $V_a(j\omega)$  et  $V_s(j\omega)$

**Q5 :** En utilisant les résultats précédents, montrer que la fonction de transfert du montage peut s'écrire sous la forme :  $T(j\omega) = \frac{V_s(j\omega)}{V_e(j\omega)} = \frac{-1}{1 + 3RC_2(j\omega) + R^2C_1C_2(j\omega)^2}$

**Q6 :** Montrer que cette fonction peut se mettre sous une forme canonique et exprimer les paramètres caractéristiques  $m$  et  $\omega_o$  en fonction des éléments du montage.

**Q7 :** On fixe  $C_1 = 270\text{nF}$ . En déduire les valeurs de  $R$  et  $C_2$  répondant à l'application proposée.

**Q8 :** Proposer un montage simple à amplificateur opérationnel permettant de compléter la structure du filtre définie en introduction de cette partie. Vous choisirez une structure permettant de compenser l'inversion apportée par le filtre passe bas du 2<sup>nd</sup> ordre précédent. Proposer un dimensionnement de la structure envisagée.

**Q9 :** Proposer une simulation LTSpice de l'ensemble afin de vérifier le cahier des charges de ce filtre.