Devoir de vacances de printemps n°1 : Etude de Systèmes Electroniques

IUT DE CACHAN Département GEii1

S.POUJOULY @poujouly http://poujouly.net

Problème n°1 : Un impédancemètre pour filtre 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.

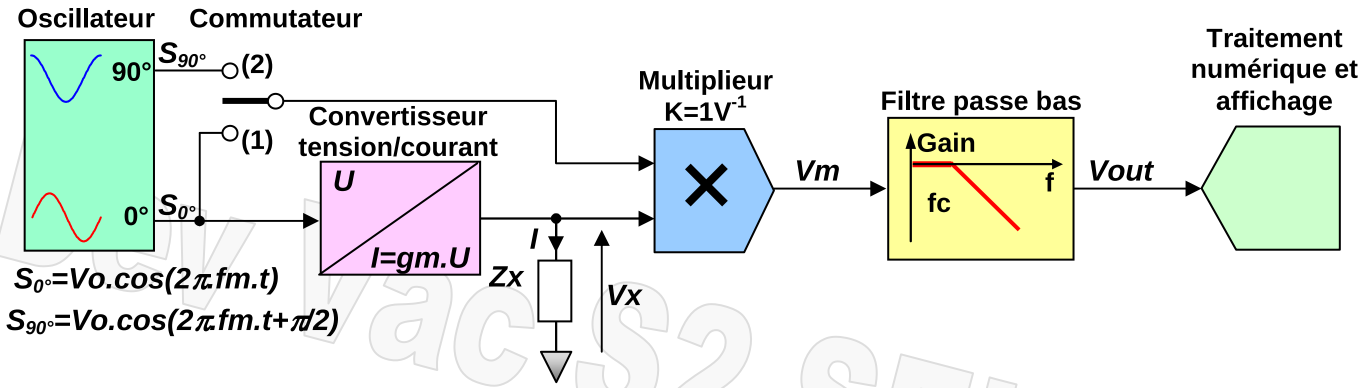

Figure 1 : Schéma synoptique de l'inductance-mètre

Partie 1 : Analyse du fonctionnement de la détection synchrone

En régime permanent la tension Vx peut s'écrire sous la forme : $Vx(t) = gm.Vo.|Zx|.\cos(2\pi fm.t + Arg(Zx))$

Les quantités $|Zx|$ et $Arg(Zx)$ que l'on souhaite déterminer, dépendent bien évidemment de la fréquence de mesure fm. La fréquence fm 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 : gm=1mA/V et Vo=2V.

Q1 : Exprimer le signal Vm 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 2.fm.

Q2 : Montrer que si le filtre passe bas est configuré de telle sorte à éliminer la composante en 2.fm, on obtient une tension de sortie de la forme $Vout = \alpha|Zx|\cos(Arg(Zx))$. Exprimer le coefficient α en fonction de K, gm et Vo

Q3 : Effectuer la même démarche lorsque le commutateur est en position 2 et montrer que Vout peut s'écrire sous la forme $\alpha|Zx|\sin(Arg(Zx))$

Q4 : Pour les 2 positions du commutateur, on numérise la tension Vout. Montrer que l'on peut facilement déterminer les valeurs de $|Zx|$ et $Arg(Zx)$ pour les différentes fréquences fm de test.

Partie 2 : Etude & Dimensionnement du filtre passe bas

Le filtre passe bas doit permettre d'atténuer suffisamment la fréquence 2.fm tout en garantissant un temps de réponse raisonnable car ce dispositif de mesure prend place dans une chaine de montage semi-automatisée.
Si l'on considère que le temps de réponse de ce filtre est de la forme 1/fc (fc : fréquence de coupure à -3dB) cela conduit à définir le gabarit de la figure 2 suivante puisque l'on se place dans le cas le plus défavorable.

Q5 : Justifier le gabarit proposé et en déduire le temps de réponse.

Q6 : En utilisant les abaques fournies (fiches pratiques), déterminer l'ordre nécessaire à la réalisation de ce filtre en utilisant une approximation de Butterworth.

Q7 : Quelle sont les caractéristiques des fonctions d'approximation de Butterworth ? Quelles sont les autres fonctions d'approximations classiques et leurs propriétés ?

Q8 : Synthétiser le filtre sous la forme de cellules élémentaires du 1er et du 2nd ordre en précisant les valeurs des fréquences de coupure pour les 1er ordre et les valeurs des fréquences propres et des coefficients d'amortissements pour les cellules du 2nd ordre.

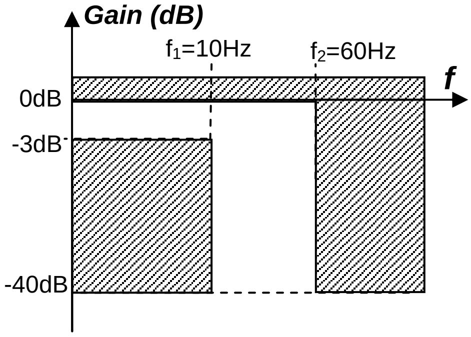

Figure 2 : Gabarit du filtre passe bas

Partie 3 : Implantation du filtre passe bas

Afin de réaliser la structure passe bas du second ordre, on propose le montage de la figure 3 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.

Q9 : En utilisant le théorème de Millman exprimer Va(jω) en fonction de Ve(jω), Vs(jω), R, C1 et jω

Q10 : Quel montage simple reconnaît-on entre Va(jω) et Vs(jω) ? En déduire une relation entre Va(jω) et Vs(jω)

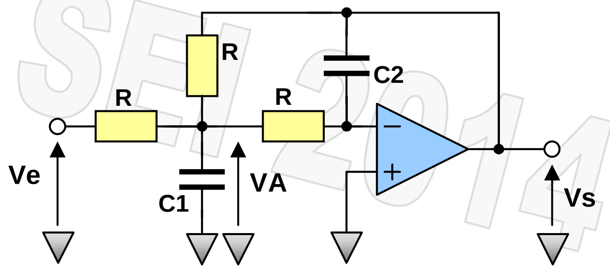

Figure 2 : Cellule de Rauch passe bas

Q11 : En utilisant les résultats précédents, montrer que la fonction de transfert du montage peut s'écrire sous la forme : $T(j\omega)=\dfrac{Vs(j\omega)}{Ve(j\omega)}=\dfrac{-1}{1+3RC_2(j\omega)+R^2C_1C_2(j\omega)^2}$

Q12 : Montrer que cette fonction peut se mettre sous une forme canonique et exprimer les paramètres caractéristiques m et ωo en fonction des éléments du montage.

Q13 : On fixe C_1=270nF. En déduire les valeurs de R et C_2 répondant à l'application proposée.

Q14 : Proposer un montage simple à amplificateur opérationnel permettant de compléter la structure du filtre définie à la question 8. Vous choisirez une structure permettant de compenser l'inversion apportée par le filtre passe bas du 2nd ordre précédent. Proposer un dimensionnement de la structure envisagée.

Problème n°2 : Filtrage électrique pour un signal audio

On vous propose d'étudier une chaine de traitement audio pour un microphone et constituée d'un préamplificateur et d'un ensemble de filtres comme le montre la figure 1 ci-contre. Afin de réduire l'influence du 50Hz présent sur les lignes électriques et limiter la bande passante audio on met en œuvre un filtre passe haut et un filtre passe bas de telle sorte à obtenir une bande passante utile comprise entre 250Hz et 4,5kHz.

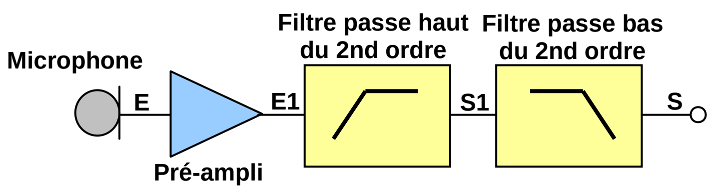

Figure 1 : Chaine de traitement audio

Le schéma proposé pour la réalisation de ces 2 filtres est donné ci-contre dans lequel on suppose que les amplificateurs opérationnels sont parfaits et fonctionnent en régime linéaire. On vous propose d'étudier les 2 montages et d'effectuer le dimensionnement de l'ensemble afin de répondre au cahier des charges fixé.

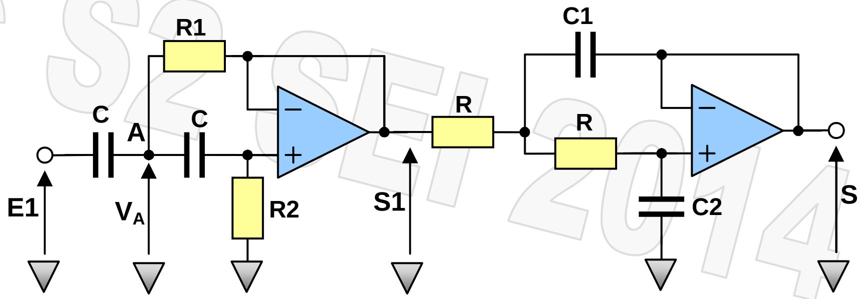

Figure 1 : Filtres passe haut et passe bas

Etude & dimensionnement du filtre passe haut du 2nd ordre

Q1 : Quel est le nom de la structure de ce filtre ?

Q2 : Quel est le nom du montage réalisé par l'amplificateur opérationnel entre la borne + et la sortie S1 ? En déduire une relation entre S1 et V+ (potentiel au borne de la borne +).

Q3 : Appliquer le théorème de Millmann au point A et exprimer V_A en fonction de E1, S1, C, R1 et $j\omega$.

Q4 : Déterminer la relation reliant V+ et donc S1 à Va, C, R2 et $j\omega$.

Q5 : En utilisant les équations précédentes, exprimer la fonction de transfert de ce montage et montrer qu'elle peut s'écrire sous la forme : $\frac{S1}{E1} = \frac{(j\omega)^2 C^2 R1.R2}{1 + 2jR1C\omega + (j\omega)^2 C^2 R1.R2}$

Q6 : Montrer que la fonction de transfert précédente peut se mettre sous la forme d'une fonction de transfert d'un filtre passe haut du 2^{nd} ordre dont vous donnerez les expressions de ωo et m en fonction des grandeurs du montage. Rappeler les noms des grandeurs ωo et m.

Q7 : Pour $m = \frac{1}{\sqrt{2}}$ la fréquence de coupure à -3dB correspond à la fréquence fo. On fixe R1=11kΩ. A partir du cahier des charges initial, en déduire les valeurs de R2 et C.

Dimensionnement du filtre passe bas du 2nd ordre & analyse du filtre

On peut montrer que la fonction de transfert du filtre passe bas peut se mettre sous la forme donnée ci-contre.

$$\frac{S}{S1} = \frac{1}{1 + 2jRC2\omega + (j\omega)^2 R^2 C1.C2}$$

Q8 : On conserve la même valeur pour m et on fixe C2=3,3nF. En déduire les valeurs de C1 et R afin de répondre aux données du cahier des charges.

Q9 : Tracer l'allure du diagramme de Bode de la fonction de transfert constituée par les 2 filtres. Préciser les pentes et points caractéristiques.

Problème n°3 : Etude d'un filtre pour un analyseur de spectre audio

Afin de réaliser un analyseur de spectre audio, il est possible d'utiliser un grand nombre de filtres passes bandes qui couvrent ainsi l'ensemble des bandes audio. Une détection d'amplitude couplé à un circuit de conversion pour chaque bande permet d'obtenir la représentation fréquentielle souhaitée. Toutefois afin de réduire le nombre d'éléments nous proposons un dispositif à base d'un filtre unique comme le montre la figure ci-dessous.

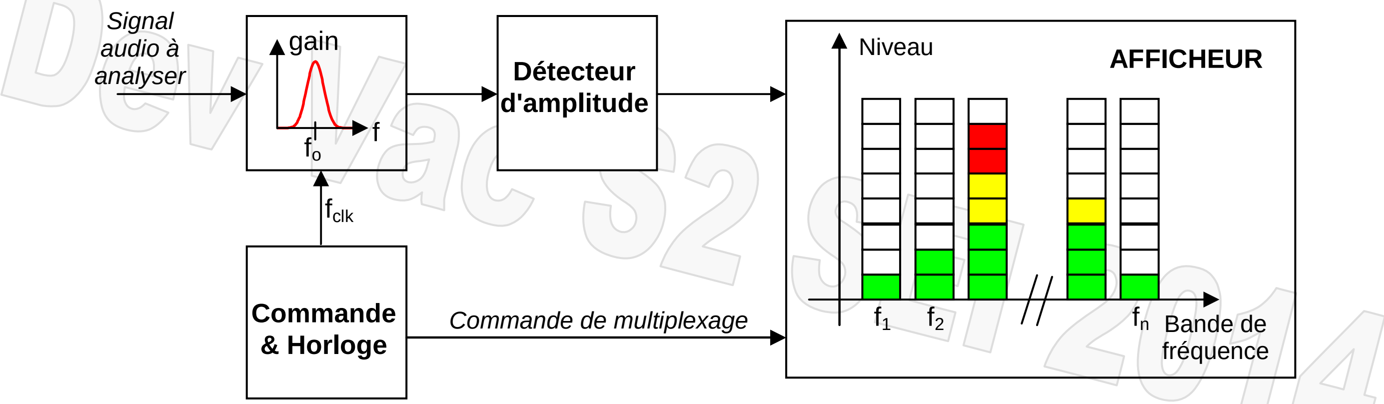

Figure 1 : Principe d'un analyseur de spectre audio

Le filtre d'analyse que nous vous proposons d'étudier dans ce problème est un filtre à capacités commutées MF10 dont la fréquence centrale fo est commandée par une fréquence d'horloge externe telle que fo=fclk/100. Afin de simplifier le problème nous conserverons une analyse classique de la structure proposée en adoptant une approche en temps continu (Par opposition à une approche en temps discret ou échantillonné)

Le composant MF10 propose plusieurs modes de fonctionnement et nous vous proposons le mode 1 dont le schéma est représenté sur la figure 2 suivante. Celui-ci fait appel à deux blocs intégrateur pur dont la fréquence fo = fclk/100.

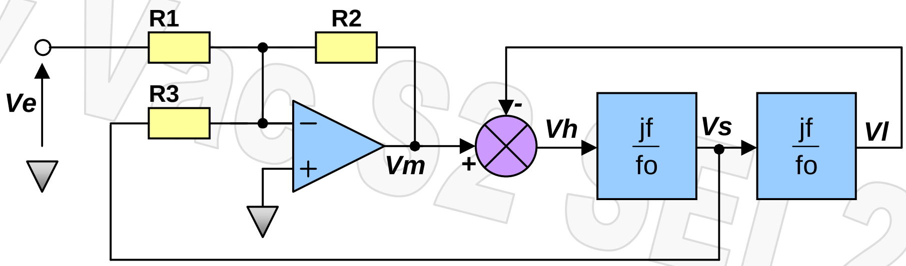

Figure 2 : Mode 1 pour le filtre à capacités commutées MF10

Q1 : Exprimer Vm(jf) en fonction de Ve(jf), Vs(jf) R1, R2 et R3

Q2 : Exprimer Vh(jf) en fonction de Vl(jf) et Vm(jf) autour de la fonction soustracteur.

Q3 : Exprimer les relations Vs(jf) en fonction de Vh(jf) et Vl(jf) en fonction de Vs(jf) autour des 2 blocs intégrateurs.

Q4 : En utilisant les relations précédentes, exprimer la fonction de transfert de ce filtre $T(jf)=\frac{Vs(jf)}{Ve(jf)}$ et montrer qu'il s'agit d'un filtre passe bande. Exprimer la fréquence centrale, le facteur de qualité Q et l'amplification maximale en fonction des éléments du montage.

Q5 : On souhaite un gain maximum de 0dB et un facteur de qualité $Q=\sqrt{2}$. On fixe R2=3,6kΩ. En déduire les valeurs de R1 et R3.

Q6 : Tracer l'allure du diagramme de Bode lorsque Fclk=100kHz. Vous préciserez les deux fréquences de coupure à -3dB et les « pentes » de votre tracé.

Problème n°4 : Un filtre de réception pour réseau CPL

Dans le cadre d'une transmission audio sur un réseau CPL on utilise un filtre de réception passe bande du 2nd ordre dont le schéma est représenté sur la figure ci-contre. On désire obtenir les performances suivantes :
Fréquence centrale : fo=145kHz
Bande passante à -3dB : BP=17kHz
Gain maximal : Variable entre 10 et 30dB

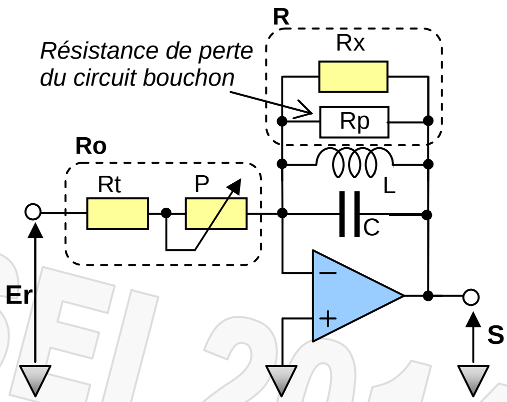

Figure 1 : Passe bande du 2nd ordre

Q1 : Rappeler la forme canonique d'un filtre passe bande du 2nd ordre en utilisant les grandeurs suivantes : ωo, Q et Amax où Q désigne le facteur de qualité et Amax l'amplification maximale.

On utilise une bobine L dont le constructeur donne les valeurs suivantes : L=1mH et Q_L=Rp/(L.2π.fo)=30 pour fo=145kHz

Q2 : Exprimer la résistance équivalente R en fonction de Rx et Rp.

Q3 : Exprimer l'impédance équivalente Zeq constituée par R, L et C.

Q4 : Montrer que la fonction de transfert de ce montage peut s'écrire simplement en fonction de Zeq et Ro.

Q5 : En utilisant les résultats précédents, mettre la fonction de transfert sous la forme d'un filtre passe bande du 2nd ordre en utilisant la forme demandée à la question Q1.

Q6 : Calculer la valeur de C afin d'obtenir un filtre centré sur la valeur de fo.

Q7 : Calculer le facteur de qualité du filtre et en déduire la valeur de Rx.

Q8 : Calculer les valeurs de Rt et P afin d'obtenir les variations de gain indiquées.

Q9 : Quelle est l'atténuation réalisée par ce circuit pour la composante fréquentielle du secteur ?