TP 11-12-13

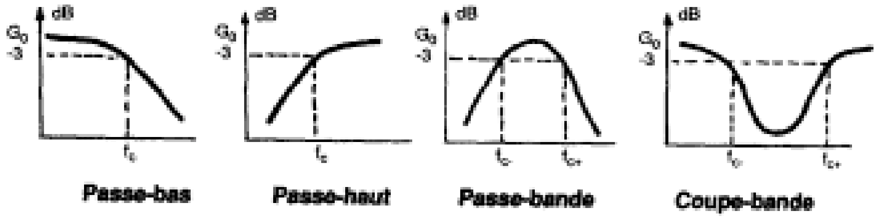
Filtrage

I. FILTRAGE : GENERALITES.

En électronique, il est fréquent de devoir modifier le spectre des signaux dont on dispose : on atténue alors sélectivement certaines composantes par rapport à d'autres. Les exemples d'applications sont nombreux: radiocommunications, traitement du signal etc...

On fait alors passer le signal dans un filtre : c'est un quadripôle dont la fonction de transfert $H(j\omega)=V_S/V_e$ dépend de la fréquence (Figure ci-dessous).

Si la puissance disponible à la sortie est inférieure à celle d'entrée, le filtrage est **passif**; le quadripôle est uniquement constitué d'une association de composants (R,L,C).
Lorsque le quadripôle est constitué d'amplis (opérationels ou non), on parle de filtrage **actif**.
Un filtre est essentiellement caractérisé par sa **fonction de transfert H(jω)** : C'est elle qui fixe le type de réponse. Sur la figure sont représentées les différentes classes de filtre avec leur réponse respective typique.



Nous allons étudier expérimentalement quelques filtres analogiques passifs et actifs.

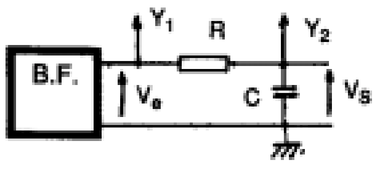
II. FILTRAGE PASSIF

1. Filtre passe bas du 1er ordre

On reprend le montage intégrateur RC du TP intégrateur (déjà vu deux fois, à relire simplement à titre de révision)

La fonction de transfert s'écrit :

$$\frac{V_s}{V_e} = H(j\omega) = \frac{1}{1+j\dfrac{\omega}{\omega_o}} \quad \text{soit } |H(j\omega)| = \frac{1}{\sqrt{1+\left(\dfrac{\omega}{\omega_o}\right)^2}} \quad \text{avec } \omega_o = \frac{1}{RC}$$



L'argument de H(jω) est égal à $-\mathrm{Arctg}(\omega/\omega_o)$.
Cette réponse passe-bas est très répandue en électronique : c'est celle qui donne la réponse des amplis opérationnels en boucle ouverte.
Ce circuit est très utilisé pour prendre la valeur moyenne d'un signal. En effet, en régime périodique, la valeur moyenne du signal de sortie est toujours égale à celle de l'entrée. Le filtre doit être muni d'un suiveur de tension pour lui conserver ses performances.
Rappel : A fréquence élevée ($\omega \gg \omega_o$) le circuit se comporte comme un intégrateur (cf TP intégrateur).

2. Filtrage passe-haut.

Reprendre le même montage qu'en 1) **en permutant** la résistance et le condensateur: on obtient un filtre passe haut de fonction de transfert :

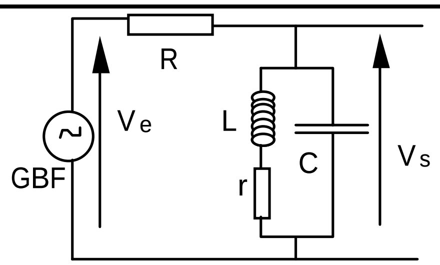
L'argument de H(jω) est égal à $\pi/2$-Arctg(ω/ω_0) .

Manip 1. Tracer l'allure théorique du diagramme de Bode .
Manip 2. Mesurer (méthode des 4 carreaux) la fréquence de coupure f_C du filtre passe-haut réalisé et tracer la droite asymptotique de pente 20 dB/décade.Comparer avec la fréquence calculée, $f_{cth}=1/(2\pi RC)$.
Manip 3. Montrer, (en mode xy) que les signaux d'entrée et de sortie sont en phase en très haute fréquence (dans la bande passante), et en quadrature en bande atténuée (fonctionnement dérivateur : cf plus bas).
Manip 4. Observer à différentes fréquences (de part et d'autre de la fréquence de coupure) la forme du signal de sortie pour un signal d'entrée respectivement sinusoïdal., carré et triangulaire .Conclusion

En régime périodique, la valeur moyenne du signal de sortie est toujours nulle, indépendante de celle du signal d'entrée. On le montre en agissant sur le décalage continu (offset) du générateur BF. Ce circuit est très utilisé pour extraire la composante alternative d'un signal. Par exemple la position AC des entrées de l'oscilloscope fait passer le signal à travers un tel filtre passe-haut.
D'autre part à très basse fréquence, $\omega \ll \omega_0$, la fonction de transfert tend vers jRCω : le montage a le comportement d'un dérivateur .

3. Filtre passe bande (2eme ordre) passif par circuit bouchon.

MATERIEL :	Résistance de qq kΩ (R) Self 0,1 H de résistance r Condensateur de 0,1 µF Générateur BF Oscilloscope Fréquencemètre Bodemètre



A préparer avant la séance de TP.

En supposant $r \ll L\omega$ (circuit bouchon peu amorti) montrer que la fonction de transfert peut se mettre sous la forme :

$$H(j\omega) = H_o \frac{2jm\omega/\omega_o}{1+2jm\omega/\omega_o - \omega^2/\omega_o^2}$$

Pour $\omega_o = \frac{1}{\sqrt{LC}}$, $H(j\omega)$ est réel, égale à $H_o = \frac{L}{L+RrC}$. L'amortissement m est égal à $\frac{(L+RrC)}{R}.\frac{\omega_o}{2}$ et le facteur de qualité Q=1/2m.

Manipulation

Manip 1. Relever sur la bobine la valeur de sa résistance interne ou la mesurer au multimètre.

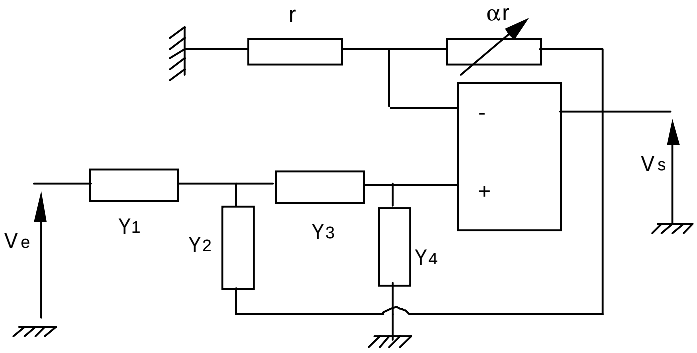
Mesurer la fréquence de résonance (en position XY on obtient une droite ,V_e et V_S étant en phase) , le gain à la résonance, les fréquences de coupure f_1 et f_2 et en déduire le facteur de qualité Q. Comparer les valeurs obtenues par la mesure à celles obtenues par le calcul. Déduire de la mesure de la fréquence de résonance la valeur de l'inductance L.

Manip 1. Sur le diagramme de Bode, tracer les droites asymptotiques de pente ± 20 dB/décade.

Manip 2. Observer la réponse du filtre à un signal carré de fréquence 530 Hz . Interpréter.

III. FILTRAGE ACTIF

De nombreuses structures existent, nous avons choisi une structure simple se prêtant bien à la plupart des réalisations: les filtres de Sallen et Key.

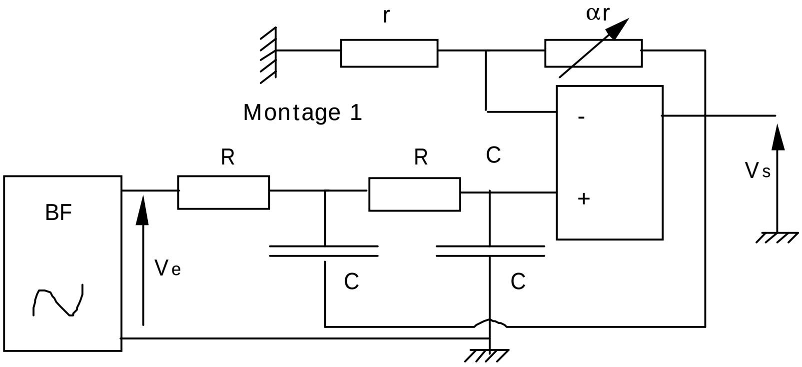


A préparer avant la séance de TP.

Montrer que le gain du montage précédent peut se mettre sous la forme :

$$\frac{V_s}{V_e} = H(j\omega) = \frac{(1+\alpha)Y_1Y_3}{Y_1(Y_3+Y_4)+Y_4(Y_2+Y_3)-\alpha Y_2Y_3}$$

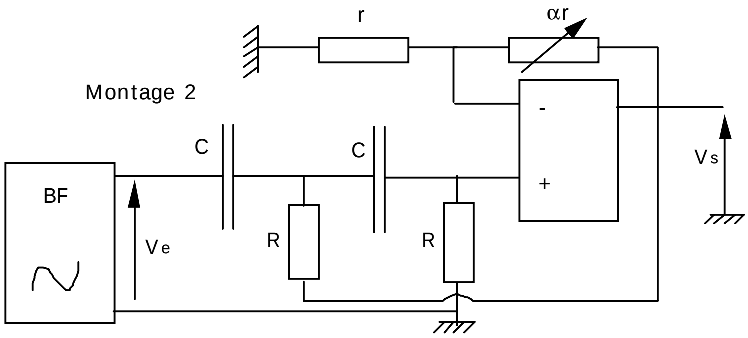
En fonction des admittances choisies on obtient un passe-bas, passe-haut ou passe-bande.



Montrer que le gain du montage 1 peut se mettre sous la forme :

$$\frac{V_s}{V_e} = H(j\omega) = \frac{A}{1+2mj\frac{\omega}{\omega_o}-\frac{\omega^2}{\omega_o^2}} \quad \text{avec} \quad A = 1+\alpha,\ m = 1-\frac{\alpha}{2},\ et\ \omega_o = \frac{1}{RC}$$

Remarque: l'amortissement du filtre peut être très faible, où même s'annuler: si α =2, le filtre entre en résonance.



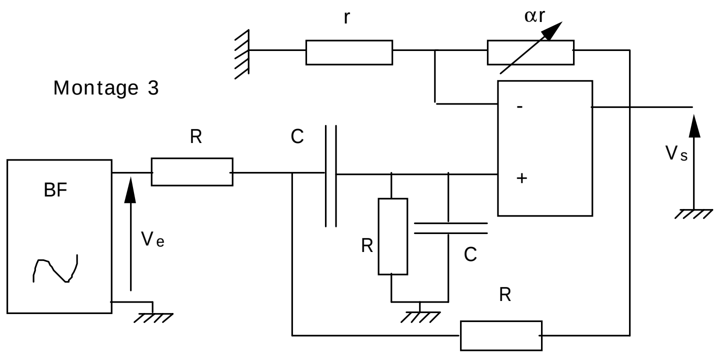
Montrer que le gain du montage 2 peut se mettre sous la forme :

$$\frac{V_s}{V_e} = H(j\omega) = \frac{-A\frac{\omega^2}{\omega_o^2}}{1+2mj\frac{\omega}{\omega_o}-\frac{\omega^2}{\omega_o^2}} \quad \text{avec} \quad A = 1+\alpha,\ m = 1-\frac{\alpha}{2},\ et\ \omega_o = \frac{1}{RC}$$

La stabilité du filtre impose m>0 --> α<2.

Montrer que le gain du montage 3 peut se mettre sous la forme :

$$\frac{V_s}{V_e} = H(j\omega) = A\frac{2mj\frac{\omega}{\omega_o}}{1+2mj\frac{\omega}{\omega_o}-\frac{\omega^2}{\omega_o^2}} \quad \text{avec} \quad A = \frac{1+\alpha}{4-\alpha},\ m = \sqrt{2}\left(1-\frac{\alpha}{4}\right),\ et\ \omega_o = \frac{\sqrt{2}}{RC}$$



La stabilité du filtre impose m>0 : α<4 .Pour α proche de 4 (faibles amortissements) les précautions devront être prises pour éviter la mise en oscillation spontanée du montage (fils courts, alimentation découplée, etc ...).-

Manipulation

MATERIEL :	Aop TL O81 ou 741 Résistances de qq kΩ Condensateurs (qq nF) Potentiomètre Alimentation ±15V Générateur BF Oscilloscope Fréquencemètre Bodemètre Papiers semi-log

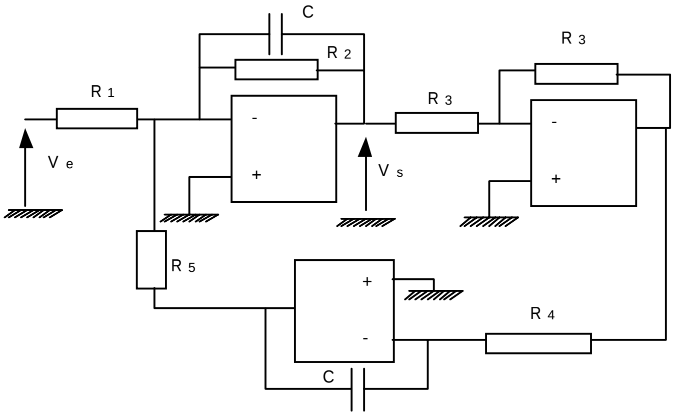
On peut par exemple prendre r=10kΩ , R=10kΩ et C=100 nF.

Manip 1. Pour les montages 1 et 2 donner sucessivement à **m** les valeurs 0,1 , O,707 et 1, et relever la réponse en fonction de la fréquence dans chaque cas. Tracer les diagrammes de Bode du gain. Commenter.
Manip 2. Pour le montage 3 déterminer la fréquence de résonance (position XY) . Comparer avec la valeur théorique. Pour **m** =0,1 et pour **m**=0,707 , déterminer les fréquences de coupure à -3 dB (méthode des 4 carreaux), en déduire la facteur de qualité $Q=f_o/\Delta f_c$, comparer avec la valeur théorique $Q_{thé}=1/(2m)$.
Manip 3. Pour chaque valeur de m (O,1 et 0,707) relever la courbe de réponse dans le plan de Bode sur le même papier semi-log. Commenter.

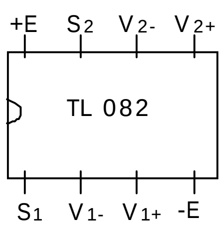
IV. REALISATION D'UN FILTRE PASSE-BANDE SELECTIF (UNIQUEMENT S'IL RESTE DU TEMPS...)

MATERIEL :	AOP TL 082 (Amplis "double") Résistances (6) Condensateurs (2) (qq nF) Alimentation ±15V Générateur BF Oscilloscope Fréquencemètre Bodemètre

Réaliser le montage ci-dessous :



On peut par exemple prendre R_1=100kΩ , R_2=1MΩ, R_3=22kΩ, $R_4=R_5$=4,7kΩ et C=100nF.



Le montage réalise un filtre passe-bande sélectif ,vérifier que :

$$\underline{H} = -\frac{G_o}{\left(1+jQ\left(x-\frac{1}{x}\right)\right)} \quad où\ x = \frac{\omega}{\omega_o} = \frac{f}{f_o}, \omega_o = \frac{1}{C\sqrt{R_4R_5}}, Q = \frac{R_2}{\sqrt{R_4R_5}}, G_o = \frac{R_2}{R_1}.$$

Manip 1. Mesurer Go, fo et les fréquences de coupure à -3dB. En déduire le facteur de qualité expérimental.
Manip 2. Faire apparaître les harmoniques d'un signal triangle et d'un signal carré d'amplitude 5V et de fréquence f_o/n (n=1,2,3,4 ,5....). En déduire l'amplitude de ces différentes harmoniques . Conclusion (On pourra déterminer par le calcul la décomposition en série de Fourier du signal triangle et carré).