

Il s'agit d'étudier la réponse des circuits linéaires (suite du TP1) en fonction de la fréquence d'une entrée sinusoïdale et de mettre en évidence leur application dans le domaine du filtrage. La réponse en fréquence de chaque système sera commentée et comparée à sa réponse temporelle.

*Les questions marquées d'un * doivent être préparées pour le bon déroulement du TP. Pendant la séance, il faut consigner un Compte-rendu de la séance ; afin de vous préparer à l'examen de TP. Aucun rapport ne vous sera demandé en fin de séance.*

I. ETUDE DES SYSTEMES DU PREMIER ORDRE

LE POINT DE DEPART

Une petite variation dans le temps

Les systèmes du premier ordre sont les systèmes dont l'évolution dans le temps obéit à une équation différentielle du premier ordre. Par conséquent, nous orientons la première partie de cette étude au système le plus élémentaire, celui qui réalise une simple dérivation dans le temps : le dérivateur (fig.1).

L'opérateur « d/dt » trouve immédiatement son sens physique à travers les grandeurs électriques associées à une bobine ou à un condensateur puisque nous avons toujours :

$$v_L(t) = L \cdot \frac{d i_L(t)}{dt}$$

$$i_C(t) = C \cdot \frac{d v_C(t)}{dt}$$

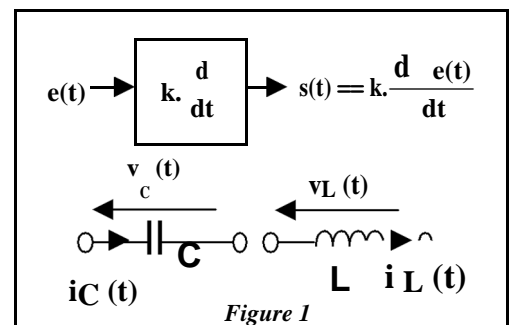


Figure 1

REPONSE D'UN DERIVATEUR

Préparation*. Etablir l'expression théorique de la fonction de transfert du bloc dérivateur (fig.1).

Q1. Saisir le bloc fonctionnel d'un dérivateur et relever sa réponse dans les plans de Bode au moyen de l'instrument Bode Plotter.

- Commenter l'allure des courbes obtenues et cerner l'influence de la constante de temps k.

- Mêmes expériences pour un intégrateur.

- **Vérification : Q0, Q1.**

Et l'intégrateur ?

FILTRAGE : MODELE THORIQUE

Q*2. De la fonction au système (suite TP1)

Les filtres du 1^{er} ordre peuvent être modélisés par une contre réaction autour de la cellule élémentaire d/dt (fig. 3). Pour modifier la réponse d'un dérivateur d/dt de manière à l'opposer à son entrée. C'est ainsi que nous espérons obtenir un filtrage particulier en retranchant à un signal ses propres «variations» (hautes fréquences) ... puisque nous avons toujours :

$$\forall t \quad s_2(t) = e(t) - s_1(t) \quad \text{et} \quad s_1(t) = k \cdot \frac{d}{dt} s_2(t)$$

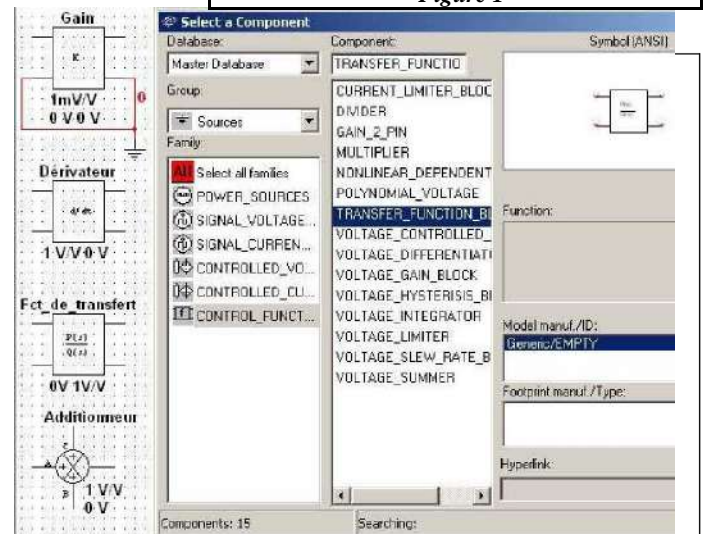


Figure 2 : Saisie de blocs fonctionnels sous MULTISIM12.

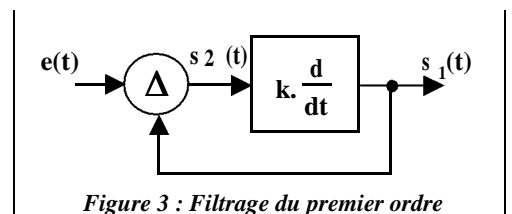


Figure 3 : Filtrage du premier ordre

Réponse
harmonique

- Quelle est l'expression théorique de la fonction de transfert: $G_2=S_1M/EM$?
- Quelle est l'expression de la fréquence de coupure f_c du filtre ?
- Quelle est le filtrage réalisé sur la sortie $s_2(t)$?

Pour cela il faut utiliser la notation complexe $e^{j\omega t}$

Q3. Saisir les blocs fonctionnels nécessaires à la synthèse de cette opération de filtrage avec $k=159 \cdot 10^{-6}s$.

- Relever les courbes de réponses du filtre dans les plans de Bode en optimisant les axes comme cela est indiqué dans le tableau ci-contre. Justifier les comportements asymptotiques.
- Commenter l'allure des courbes obtenues et cerner l'influence de la constante de temps k .

	Left axis		ax
	G	ϕ	G_{dB} / ϕ
Min	-60	-90	1
Max	0	90	10^6
Total ticks	12	6	9
Minor	2	3	9
Precision	0	0	0

Réponse

temporelle

Q4. Relever le chronogramme de la sortie $s_2(t)$ du filtre pour une entrée carrée d'amplitude 1V et de fréquence $f=f_c/10$. Effectuer la même expérience pour $f=10.f_c$. Commentaires :

Vérification Q2, Q3 et Q4.

Le filtrage
complémentaire

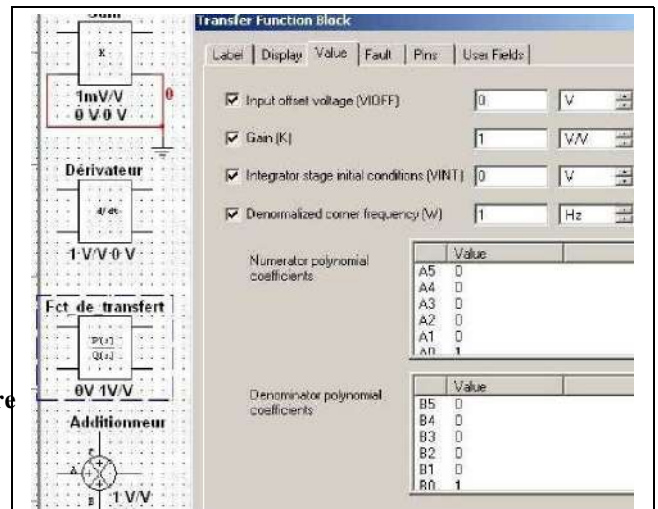
Q5. **Remarque.** Nous pouvons réaliser le filtrage complémentaire en prélevant la sortie s_1 du filtre. Reproduire alors toutes les études conduites de Q2 à Q3. On notera $G_1=S_1M/EM$ la nouvelle fonction de transfert.

FUNCTION
DE TRANSFERT

Q6. L'opération de filtrage peut aussi être programmée par la simple saisie d'une fonction de transfert dans MULTISIM10. Il suffit alors d'entrer les coefficients de deux polynômes $A(j\omega)$ et $B(j\omega)$ de la variable ($j\omega$ ou s) tels que :

$$G(j\omega) = \frac{A(j\omega)}{B(j\omega)}$$

- Programmer la fonction de transfert du **filtre passe-haut du premier ordre** et relever sa réponse dans les plans de Bode.



LES CIRCUITS
ANALOGIQUES

Comparer avec Q3 ?

La synthèse du filtre de la figure 3 impose l'implémentation de trois fonctions: • La première étant la dérivation.

- La seconde Δ réalisant une différence : $s_2(t) = e(t) - s_1(t)$
- La troisième : la conversion (associée au facteur de conversion k) des E/S des différents blocs en grandeurs de même nature (ex : CVI, CIV) dans le cas où ces E/S ne seraient pas de même nature.

Le circuit de la figure 4 illustre la façon la plus simple de réaliser un filtrage du premier ordre. Dans ce circuit les grandeurs d'E/S sont des tensions et les trois fonctions citées plus haut sont réalisées de la manière suivante :

- Le câblage lui-même réalise la fonction de différence puisque : $v_C(t) = v_E(t) - v_R(t)$.
- Le condensateur réalise la fonction du dérivateur puisque le courant dans le circuit s'écrit : $i(t) = C \cdot dv_C(t)/dt$.
- La résistance réalise la fonction d'un CIV puisque $v_R(t) = R \cdot i(t)$.

Identifier les deux filtrages réalisés par ce circuit (fig.4).

- Saisir ce filtre avec $R=1k\Omega$ et $C=159nF$.
- Relever les réponses du circuit (V_R et V_C) après avoir paramétré une Analyse Harmonique (AC Analysis : cf copies d'écrans).

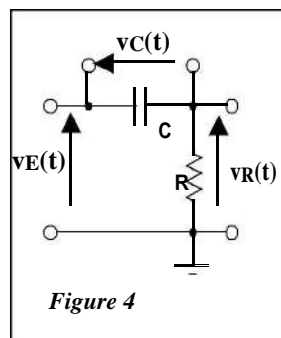
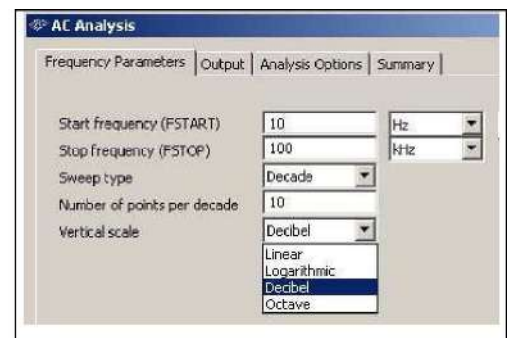
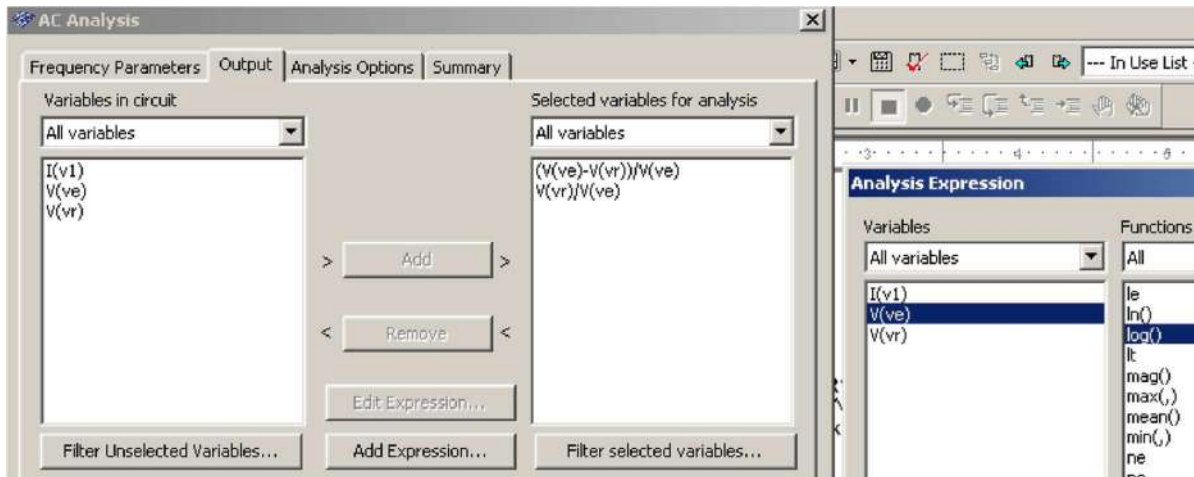


Figure 4





II. ETUDE DES SYSTEMES DU SECOND ORDRE

Préparation*. Etude d'un circuit du II^o ordre.

Son modèle fait donc appel à deux éléments (L et C) dont les impédances dépendent des fréquences différemment.

Donner les impédances de L et C et en déduire l'impédance Globale du circuit R-L-C : Z

Donner la variation de Z en fonction de la fréquence (ou de ω).

Que remarquez-vous ?

2 2

Du circuit à la fonction

Régime harmonique

Contrairement à l'exercice précédent, considérons donc le circuit de la figure 5 ci-contre qui ne diffère du premier que par la présence d'une inductance et partons du circuit pour remonter au modèle du système (sa fonction).

Q8. Donner l'expression de $V_R(t)$ en fonction de $V_E(t)$: en déduire le coefficient (ou gain) de tension $k(\omega) = V_R(t)/V_E(t)$
Montrer que ce circuit réalise donc un filtrage passe-bande.
(La nature du filtrage réalisée par ce circuit est évidente puisque l'amplitude du courant prend sa valeur maximale pour une valeur particulière de la fréquence du signal d'entrée voir la préparation. Par conséquent, ce circuit présente une réponse préférentielle en courant pour $\omega_0 = (LC)^{-1/2}$)

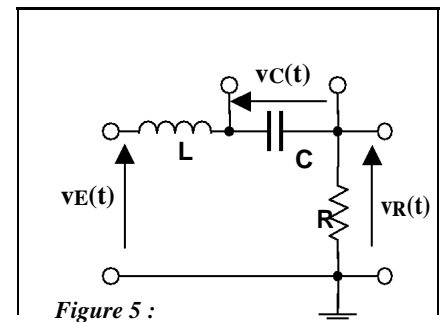


Figure 5 :
Un circuit du II^o ordre

De la même manière, vers les limites en BF et en HF, l'impédance Z tendant vers l'infinie et le courant tend vers zéro

Q9. Saisir le filtre de la figure 5 sous MULTISIM avec $C=0,8\mu\text{F}$, $L=32\text{mH}$ et $R=10\Omega$.

- Relever les réponses du circuit (V_R et V_C) après avoir paramétré une Analyse Harmonique (AC analysis). Que remarquez-vous ?
- Comparer avec l'expression théorique : conclusion.
- Mettre la bobine L en parallèle avec le condensateur C .
- Faire une analyse harmonique pour juste V_R
- comparer avec la question précédente : conclusion. Vérification

REPONSE
HARMONIQUE

- Transférer les résultats numériques vers le sous-programme graphique de MULTISIM et optimiser les axes pour : $10\text{Hz} < f < 10\text{kHz}$ $-50\text{dB} < G_{\text{dB}} < 0$ $-90^\circ < \phi < 90^\circ$
- Mesurer graphiquement la fréquence centrale f_0 de cette réponse ainsi que la pente correspondant à ses asymptotes en BF et en HF. Justifier ces résultats numériques. Commentaires.
- Manipuler la valeur de R de manière à cerner son influence sur la sélectivité du circuit (largeur de la bande passante).

REPONSE
TEMPORELLE

Q10. Générer un signal carré d'amplitude 1V et de fréquence 1kHz à l'entrée du filtre.

- Relever le chronogramme du signal de sortie. Mesurer graphiquement sa fréquence et son amplitude.
- Réaliser les mêmes mesures à 333Hz, puis à 200Hz.
- Commenter ces résultats en considérant la composition spectrale du signal carré.

MODELISATION
DES FILTRES

Bonus. Synthétiser le même filtre au moyen de deux blocs dérivateur et d'un soustracteur.

Manipuler les facteurs k_1 et k_2 de manière à respecter le cahier des charges suivant :

- Bande passante : [100Hz, 15kHz]
- Comportement asymptotique en dehors de la bande passante (+/-20dB/dec).