TP12– filtrage linéaire

Objectifs :
- Reconnaître une avance ou un retard de phase. Passer d'un décalage temporel à un déphasage et inversement
- Mettre en œuvre un dispositif expérimental illustrant l'utilité des fonctions de transfert pour un système linéaire à un étage.
- Modéliser à l'aide d'un langage de programmation l'effet d'un filtre sur un signal périodique mais non sinusoïdal
- Étudier le filtrage linéaire d'un signal non sinusoïdal à partir d'une analyse spectrale.

Rapport de Jury à lire avant de commencer :

-Certains candidats rencontrent des difficultés pour effectuer des tracés (échelle non présente, choix de l'échelle non adaptée). Beaucoup ne savent pas relever puis exploiter un tracé fréquentiel (identifier un gain statique ou une fréquence de coupure, calculer une pente en échelle logarithmique).

- Plusieurs candidats utilisent l'asymptote en hautes fréquences du tracé fréquentiel d'un filtre passe-bas, pour identifier sa constante de temps alors que c'est moins précis que l'intersection des asymptotes ou l'utilisation de la fréquence de coupure.

-Lors de l'étude de systèmes en électronique (filtres par exemple), **il est fortement conseillé aux candidats de visualiser à la fois les signaux d'entrée et de sortie, afin de s'assurer du bon fonctionnement de la maquette ou de leur montage.** Cela permet notamment de vérifier la linéarité du montage (pas de saturation de la sortie, fréquences des signaux d'entrée et de sortie identiques).
Le choix de la base de temps, sur des oscilloscopes numériques, est souvent mal maitrisé. La détermination du comportement fréquentiel des systèmes est parfois mal maitrisée.

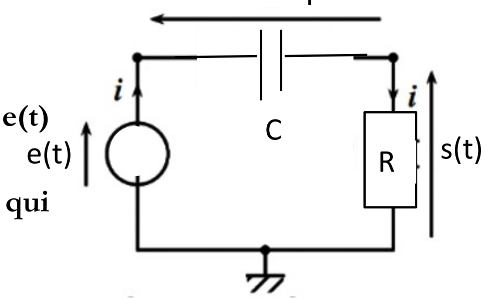
-Pour tracer un diagramme de Bode (comportement fréquentiel), il est important que le signal d'entrée soit un signal sinusoïdal et de vérifier que ce signal reste sinusoïdal et de même fréquence en sortie (on se limite à l'étude de systèmes linéaires). Certains candidats ne semblent pas en connaître la raison.

Partie I :Étude d'un filtre simple

I Filtre passe-haut du premier ordre

I.1 Analyse préliminaire

Schéma 1 :
Circuit électrique étudié



On considère le circuit ci-contre alimenté par un **signal d'entré e(t) sinusoïdal d'amplitude 5V : e(t) = E_0 cos(ωt)**
On s'intéresse à la tension aux bornes du condensateur notée s(t) qui constitue le signal de sortie.

On prendra dans la suite R= 1 k Ω et C= 0,1 µF

Notion de fonction de transfert

La fonction de transfert $\underline{H}(j\omega)$ d'un circuit linéaire est la fonction de la variable complexe jω telle que, pour un signal d'entrée e(t) sinusoïdal de pulsation ω, le signal de sortie s(t) en régime sinusoïdal forcé est donné par :

$$\underline{s}=\underline{H}(j\omega)\times\underline{e}$$

($\underline{s}$ est le signal complexe associé au signal réel s(t) de même pour $\underline{e}$)

Q1. Établir l'expression de la fonction de transfert du circuit et la mettre sous la forme $\underline{H}(j\omega)=\dfrac{j\omega\tau}{1+j\omega\tau}$ avec τ un temps caractéristique à définir en fonction de R et C

Notion de Gain du filtre

Le gain d'un filtre est égale au module de la fonction de transfert du filtre $G(\omega)=|\underline{H}(j\omega)|$

Q2. Donner la relation simple qui relie l'amplitude réelle du signal de sortie S_0 , le gain du filtre G(ω) et l'amplitude E_0 du signal d'entrée si e(t) = E_0 cos(ωt)

En déduire la relation entre le gain en décibel $G_{DB}(\omega)$, S_0 et E_0

Analyse du comportement du filtre.

Q3. Justifier rapidement le fait qu'on qualifie le filtre de **passe-haut**

Q4. Que vaut le gain lorsque $\omega = \frac{1}{\tau}$? Exprimer dans ce cas S_0 en fonction de E_0 .

Q5 Que vaut le gain statique ? C'est à dire en régime stationnaire (quand $\omega=0$) ?

On appelle fréquence de coupure du signal f_c la fréquence telle que $\omega_c = 2\pi f_c = \frac{1}{\tau}$

Q5. Exprimer f_c en fonction de R et C puis la calculer.

1.2 Analyse expérimentale

Dans cette partie, on veut tracer le **diagramme de Bode du filtre** passe-bas réalisé. Vous pouvez rentrer vos mesures sur le fichier texte TP12-mesures.dat et tracer la courbe avec **TP12_traitement.py** (cahier de prépa)

- ➔ **Pour la courbe de GAIN** : mesurer, pour plusieurs fréquences (de 50Hz à 100kHz) la valeur de l'amplitude du signal d'entrée et de sortie, puis représenter, sur python, $G_{dB}(f) = 20\log(|\underline{H}|)$ en fonction de f, en utilisant l'échelle logarithmique pour f.
- ➔ **Pour la courbe de PHASE** : mesurer, pour les mêmes fréquences que précédemment (de 50Hz à 100kHz) la valeur du déphasage φ entre le signal d'entrée et le signal de sortie (attention au signe de φ), puis représenter, sur le logiciel, φ en fonction de f, en utilisant l'échelle logarithmique uniquement pour f.

On attendra un titre et une légende pour chaque graphique

Q6 Rajouter les asymptotes à la courbe de Gain en dB (pour $f \ll f_C$) et ($f \gg f_c$) dont on indiquera la pente. La fréquence à l'intersection des deux asymptotes est la fréquence de coupure f_c . Déterminer la valeur expérimental de cette fréquence et la comparer à f_c

Aide pour la mesure du déphasage

Remarque : En pratique o**n peut directement mesurer le décalage temporel à l'aide des curseurs ou le déphasage de l'onglet mesure sur l'oscilloscope**

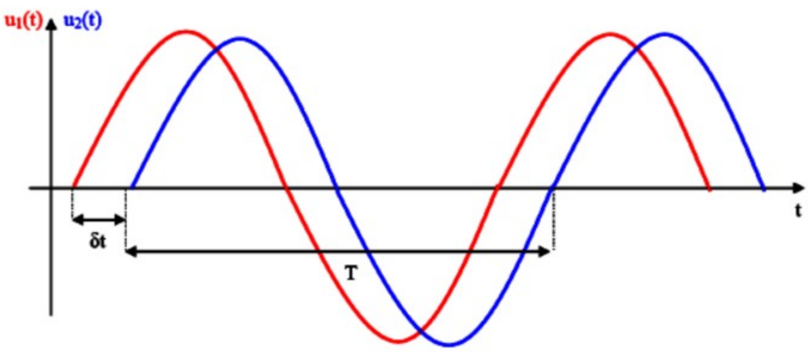
On considère deux signaux sinusoïdaux *de même fréquence*. On peut alors leur donner les expressions suivantes :

$$u_1(t) = a\cos(\omega t + \varphi_1) \quad \text{et} \quad u_2(t) = b\cos(\omega t + \varphi_2)$$

On définit le déphasage $\Delta\varphi$ par la différence entre les phases des deux signaux :

$$\Delta\varphi = \Phi_2(t) - \Phi_1(t) = \varphi_2 - \varphi_1$$

Le déphasage est défini à 2π près. On choisit de se restreindre à l'intervalle $]-\pi, \pi]$. Il apparaît clairement que les deux signaux doivent être de même fréquence si l'on veut pouvoir définir le déphasage comme une grandeur indépendante du temps.



$$\Delta\varphi = -2\pi\frac{\delta t}{T}$$

La figure ci-dessus représente l'évolution temporelle des deux signaux. On voit que les deux signaux sont décalés en temps. Il suffit de translater la courbe rouge (u_1) vers la droite pour qu'elle se superpose à la courbe bleue (u_2). On notera qu'en plus d'être de même fréquence, les deux signaux ont ici la même amplitude. C'est un cas particulier.

On appelle ***décalage temporel*** la durée $\delta t = t_2 - t_1$ représentée sur la figure.

1.3 Filtrage d'un signal créneau

Télécharger le programme **filtrage.py** sur cahier de prépa
Travail a effectuer
→ Lancer le programme. Appeler la fonction diagramme() et visualiser la courbe qui s'affiche : c'est la courbe de gain en décibel d'un filtre.
Q7 Est-ce la fonction de transfert du filtre étudié ?
la fonction $H(w,H_0,w_0)$ du programme permet de définir la fonction de transfert
→ Modifier cette fonction pour que la fonction de transfert soit celle du filtre étudier et appeler de nouveau diagramme() pour vérifier

Appeler la fonction trace_spectre(creneau, 2000)
Elle permet de tracer le spectre d'un signal créneau de fréquence 2000 Hz, d'amplitude 5V et d'offset 4V en entrée du filtre (en bleu) mais aussi le spectre du signal en sortie du filtre (
l'axe des abscisses est gradué en numéro de l' harmonique : la composante continue correspond à n=0 , la composante fondamentale correspond à n=1 , la première harmonique à n=2 etc.…

Q8 Justifier la différence entre les deux spectres, Quelle composante est principalement atténué ?

On veut vérifier ce résultat expérimentalement :
Travail a effectuer :
- générer un créneau de fréquence 2000 Hz, d'amplitude 5V et d'offset 4V . Envoyer ce signal en entrée du filtre passe-haut et observer à l'oscilloscope le signal de sortie s(t)

→ Cliquer sur le bouton **MATH,** puis en haut de l'écran cliquer sur le menu **OPÉRATION**
→ cliquer enfin sur **FFT (transformée rapide de Fourier)**

La courbe rose qui s'affiche est une approximation du spectre du signal de sortie s(t)

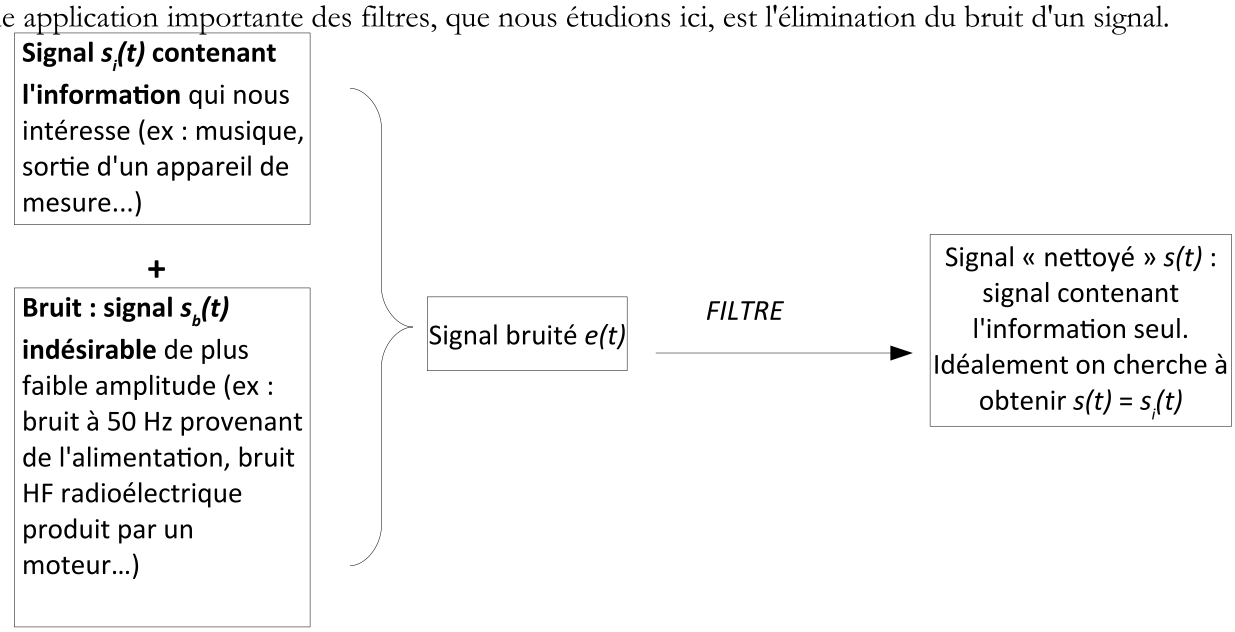
→ Vérifier l'absence de pic à 0 Hz

Partie II : filtrage d'un signal bruité

Rappel : un filtre est un quadripôle capable de modifier le spectre d'un signal d'entrée. Si le filtre est linéaire alors il ne peut que modifier l'amplitude des différentes harmoniques (en atténuer certaines et éventuellement en amplifier d'autres).

Nous n'envisagerons dans ce TP que des filtres linéaires.

Une application importante des filtres, que nous étudions ici, est l'élimination du bruit d'un signal.

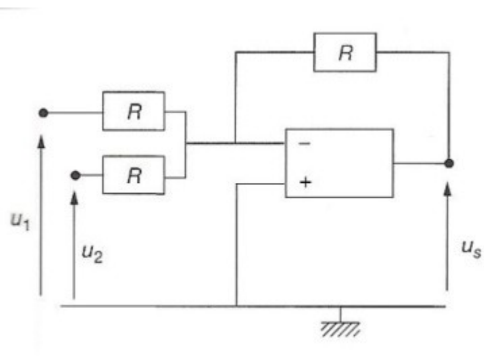


2.1 Préliminaire - fabrication du signal bruité

Ne disposant pas à priori de signal bruité à traiter, nous le fabriquerons artificiellement avec le matériel disponible.

On suppose que le signal informatif, issu d'un signal sonore (sinus à 1 kHz), est parasité par un bruit HF :

- voie 1 du GBF (CH1) : $s_i(t)$ signal sinusoïdal de fréquence environ 1 kHz et d'amplitude 8V
- voie 2 du GBF (CH2) : $s_b(t)$ signal sinusoïdal de fréquence environ 15 kHz et d'amplitude 1V



Pour créer le signal bruité $e(t) = s_i(t) + s_b(t)$, on utilise un montage sommateur à amplificateur opérationnel (AO) :

Avec les notations du schéma, ce montage assure

$$u_s = -(u_1 + u_2)$$

<u>Attention :</u> pour éviter les risques de détérioration de l'AO, il faut s'assurer qu'il est toujours alimenté par sa source extérieure (-15V ; +15V) non représentée sur le schéma.

On prendra R = 1 kΩ

Vous pouvez alors visualiser le signal bruité *e(t)*.

Distingue-t-on bien les deux composantes du signal (info et bruit) ?

Vous pouvez aussi visualiser le spectre (fonction FFT de l'oscilloscope ou Fourier de LatisPro) de *e(t)*.

Distingue-t-on bien, sur le spectre, les deux composantes du signal (info et bruit) ?

2.2 Filtrage du signal

<u>Travail à effectuer :</u> concevoir un filtre permettant de « nettoyer » ce signal.

<u>Démarche proposée :</u>

1. Choisir un type de filtre (passe-bas, passe-bande, passe-haut) et son ordre

2. Choisir (à partir des exemples de filtres déjà vus en classe, d'ouvrages d'électronique, d'internet...) les types de composants (R, C ou L) à utiliser et le montage correspondant

3. Regrouper les résultats de l'étude théorique de ce filtre (allure du diagramme de Bode en gain et en phase, expression des fréquences de coupure)

4. Choisir la valeur de la (ou des) fréquence(s) de coupure souhaitée(s)

5. En déduire les valeurs des composants

6. Tester le filtre

<u>Lignes directrices pour la rédaction du compte-rendu :</u>

- Choix effectués pour la conception du filtre

- Test du filtre : comparaison des signaux temporels e(t) et s(t) et comparaison de leurs spectres respectifs (joindre les courbes obtenues).

- commentaires sur l'efficacité du filtre

- propositions d'amélioration du filtrage (par exemple avec un ordre plus élevé pour le filtre)