TP1

Électronique

Filtre passif et régime transitoire d'un circuit d'ordre 2

A la fin de ce TP de révision d'électronique de sup', vous devez savoir :

- Utiliser des appareils courants en électroniques (GBF, oscilloscope et multimètre).
- Tracer un diagramme de Bode et l'interpréter.
- Déterminer les caractéristiques d'un filtre, en estimant leurs incertitudes-types (incertitude de type B, avec certaines incertitudes composées).
- Exploiter un régime transitoire pseudo-périodique pour retrouver les caractéristiques du circuit.

Nous allons revoir un bon nombre de savoir-faire classiques d'électronique. Il faut impérativement que vous notiez les points délicats auxquels vous devez faire attention lors de ces manipulations classiques. Et relisez les avant le TP suivant.

I Manipulation des appareils courants d'électronique et grandeurs usuelles des signaux périodiques (30 min)

I.1 GBF, oscilloscope et multimètre

GBF et oscilloscope :

- A l'aide du GBF, générer un signal sinusoïdal de 2 V d'amplitude, de valeur moyenne nulle et de fréquence 10 kHz.
- Afficher directement ce signal à l'oscilloscope. On veillera à régler correctement la base de temps et d'amplitude pour que l'affichage soit "optimal". Vérifier l'amplitude du signal sinusoïdal.
- Avec le GBF, augmenter l'offset du signal sinusoïdal. Observer le rendu à l'oscilloscope. Régler cet offset à 5 V. Quel problème se pose-t-il ? Comment le régler ?

Multimètre :

- Revenir au signal sinusoïdal de valeur moyenne nulle.
- Mesurer la valeur efficace de ce signal à l'aide d'un multimètre.

I.2 Grandeurs usuelles associées aux signaux périodiques

Dans le cas d'un signal périodique $s(t)$ de période T quelconque, on peut introduire deux grandeurs importantes :

- la valeur moyenne
$$\langle s(t)\rangle = \frac{1}{T}\int_T s(t)\mathrm{d}t \tag{I.1}$$
où on intègre sur un intervalle de longueur T.

- la valeur efficace, reliée à des considérations énergétiques (calcul de puissance moyenne, par exemple) :
$$s_{eff} = \sqrt{\langle s^2(t)\rangle} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_T s^2(t)\mathrm{d}t} \tag{I.2}$$

> **Exercice :** Montrer que, pour un signal sinusoïdal $s(t) = S_m\,\cos(\omega t+\varphi)$, la valeur efficace vérifie $s_{eff} = \dfrac{S_\mathrm{m}}{\sqrt{2}}$.

Moyennes et valeurs efficaces à retenir

$$\heartsuit\ \langle\ \cos(\omega t+\varphi)\rangle = 0 \qquad \text{et} \qquad \langle\ \cos^2(\omega t+\varphi)\rangle = \frac{1}{2}$$

$$\heartsuit\ s_{eff} = \frac{S_\mathrm{m}}{\sqrt{2}} \text{ pour } s(t) = S_\mathrm{m}\,\cos(\omega t+\varphi)$$

Sur le secteur, la tension électrique a pour caractéristiques : entre 220 V et 230 V (valeur efficace), 50 Hz.

I.3 Pour conclure : si on souhaite mesurer une amplitude, vaut-il mieux utiliser un oscilloscope ou un multimètre ?

Pour un signal sinusoïdal, il est donc équivalent de mesurer une amplitude ou une valeur efficace.

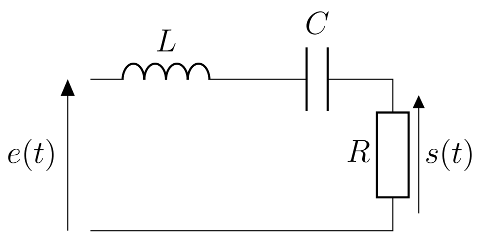
- Vaut-il mieux mesurer l'amplitude en utilisant un oscilloscope ou un multimètre ?

Pour un signal périodique quelconque, il n'y a pas de lien entre l'amplitude et la valeur efficace.

- Vaut-il mieux mesurer l'amplitude en utilisant un oscilloscope ou un multimètre ?

II Diagramme de Bode d'un filtre RLC série (1h45)

On étudie dans cette partie le filtre RLC série en sortie sur R.



On choisira une inductance $L = 12\,\mathrm{mH}$, une capacité $C = 20\,\mathrm{nF}$ et une résistance $R = 150\,\Omega$.

II.1 Étude expérimentale

- Réaliser le circuit ci-dessus. Par convention, prendre l'habitude d'observer l'entrée sur la voie 1 de l'oscilloscope et la sortie sur la voie 2.

> ⚠ Si vous voulez pouvoir débugger rapidement un circuit électronique, il est indispensable que le câblage soit lisible : on commence toujours par câbler le circuit principal, sans faire de noeud dans les fils (on doit voir du premier coup d'oeil la boucle du circuit), puis dans un second temps on ajoute les câbles de visualisation des tensions sur les appareils de mesure.

- Déterminer rapidement et expérimentalement la nature du filtre : passe-bas, passe-bande, passe-haut.

- Estimer grossièrement la fréquence de résonance du circuit. On commencera le diagramme de Bode une décade avant et on le finira une décade après cette fréquence de résonance.

- Tracer le diagramme de Bode sur papier semi-logarithmique.

Interprétation du diagramme de Bode :

- L'allure du diagramme de Bode est-elle cohérente avec la nature du filtre déterminée ci-dessus ?

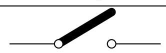
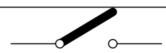
- Déterminer les pentes asymptotiques basses et hautes fréquences.

- Dans quelle bande de fréquences le filtre se comporte-t-il comme un dérivateur ? un intégrateur ?

II.2 Étude théorique

a Nature du filtre

Pour déterminer rapidement la nature d'un filtre, on dessine les circuits équivalents basse fréquence (BF) et haute fréquence (HF).

Dipôle	Impédance complexe	Composant équivalent BF	Composant équivalent HF
Condensateur	$Z_C = \dfrac{1}{jC\omega}$		
Bobine	$Z_L = jL\omega$		

- Déterminer théoriquement la nature du filtre étudié.

b Fonction de transfert

- Déterminer la fonction de transfert $\underline{H} = \dfrac{\underline{s}}{\underline{e}}$.

- Montrer que cette fonction de transfert peut se mettre sous la forme

$$\underline{H} = \frac{H_0}{1 + jQ\left(\dfrac{\omega}{\omega_0} - \dfrac{\omega_0}{\omega}\right)}$$

Donner les noms usuels des grandeurs H_0, ω_0 et Q, ainsi que leurs expressions en fonction de R, L et C dans le cas présent. Calculer leurs valeurs numériques.

Ces expressions de ω_0 et Q sont tellement usuelles en électronique qu'il faut les connaître par coeur !!!

c Diagramme de Bode asymptotique

- En utilisant des équivalents basses et hautes fréquences de la fonction de transfert $\underline{H}$, retrouver la valeur des pentes du gain en décibels à basses et hautes fréquences. Comparaison aux valeurs expérimentales ?
- De même, retrouver la valeur de la phase à basses et hautes fréquences. Comparaison aux valeurs expérimentales ?

d Diagramme de Bode réel

- En reprenant l'expression exacte de la fonction de transfert, donner l'expression du gain linéaire en fonction de ω. On fera apparaître H_0, ω_0 et Q.
- Montrer qu'il existe une pulsation de résonance ω_r et donner son expression en fonction de ω_0.
- Donner l'expression du gain en décibel en fonction de ω et l'expression de la phase en fonction de ω.

II.3 Bonus : observations expérimentales

S'il vous reste du temps :

- Rappeler la modélisation de Thévenin d'un générateur de tension. En déduire alors pourquoi la tension d'entrée $e(t)$ mesurée varie proche de la fréquence de résonance.
- A partir d'un signal d'entrée triangulaire, vérifier expérimentalement que vous arrivez à obtenir en sortie l'intégrale du signal d'entrée. Idem pour un signal d'entrée créneau.
- De même, à partir d'un signal d'entrée triangulaire, vérifier expérimentalement que vous arrivez à obtenir en sortie la dérivée du signal d'entrée. Idem pour un signal d'entrée créneau. Quelle difficulté se pose-t-il ?

III Valeurs expérimentales des grandeurs caractéristiques du filtre RLC série et incertitudes (45 min)

III.1 Théorie : bande passante à $-3\,\mathrm{dB}$ du filtre passe-bande d'ordre 2

Définition : Bande-passante à $-3\,\mathrm{dB}$

Ensemble des pulsations vérifiant que : $G_{dB}(\omega) \geq G_{\mathrm{dB,\,max}} - 3\,\mathrm{dB}$, avec $G_{dB}(\omega)$ le gain en décibel. Les pulsations à la limite de la bande-passante s'appellent des pulsations de coupure ω_c.

Propriété équivalente :

La bande-passante à $-3\,\mathrm{dB}$ correspond aussi à l'ensemble des pulsations vérifiant que : $G(\omega) \geq \dfrac{G_{\max}}{\sqrt{2}}$, avec $G(\omega)$ le gain linéaire.

Cas du passe-bande d'ordre 2 :

Dans le cas d'un circuit passe-bande d'ordre 2, on peut montrer que :

- aux pulsations de coupure, le déphasage $\varphi(\omega_c) = \pm 45°$
- ♡ largeur de bande-passante à $-3\,\mathrm{dB}$: $\boxed{\Delta\omega = \dfrac{\omega_0}{Q}}$ avec ω_0 la pulsation propre du passe-bande

III.2 Mesures expérimentales des caractéristiques du filtre

- Proposer un protocole de mesure de la fréquence propre f_0 du passe-bande utilisant le gain et un autre utilisant la phase. Mettre en oeuvre ces protocole puis conclure sur la méthode de mesure minimisant les incertitudes. Estimer alors l'incertitude-type $u(f_0)$ sur la mesure la plus précise.
- Mesurer également le gain statique H_0. (Je n'attends pas d'incertitude sur H_0.)
- Mesurer la largeur de la bande-passante en fréquences Δf et estimer une incertitude $u(\Delta f)$.
- En déduire la valeur du facteur de qualité Q et l'incertitude associée $u(Q)$.

Analyse des valeurs des grandeurs caractéristiques du filtre :

- Comparer les mesures effectuées de f_0 et Q aux valeurs issues du modèle déterminées lors de l'étude théorique (partie II.2). En cas d'incompatibilité, proposer une source d'explication.
- Comparer la mesure effectuée de H_0 avec la valeur issue du modèle. En cas d'incompatibilité, proposer une source d'explication.

IV Régime transitoire d'un RLC série en sortie sur C (1h)

IV.1 Observation des différents régimes

On étudie désormais le filtre RLC série en sortie sur C.

- Modifier les branchements pour observer la tension souhaitée.
- Générer un signal d'entrée créneau dont la valeur minimale est nulle et la valeur maximale vaut 2 V.

Dans la suite, on étudie le régime transitoire lors du passage de la tension d'entrée de sa valeur maximale à la valeur nulle. On choisira donc astucieusement de déclencher l'acquisition sur l'oscilloscope lors d'un front descendant de la tension d'entrée (cf. trigger).

- En modifiant la valeur de R, observer les différents régimes transitoires possibles. Nommer ces régimes transitoires.

IV.2 Étude théorique du régime pseudo-périodique

Lors du régime libre d'oscillation, l'équation vérifiée par la tension de sortie est :

$$\frac{\mathrm{d}^2 s}{\mathrm{d}t^2} + \frac{\omega_0}{Q}\frac{\mathrm{d}s}{\mathrm{d}t} + \omega_0^2 s(t) = 0$$

Si le facteur de qualité $Q > \dfrac{1}{2}$, alors le régime transitoire est pseudo-périodique.

- Montrer que, si $Q > \dfrac{1}{2}$, la solution générale de l'équation différentielle s'écrit :

$$\heartsuit \quad \boxed{s(t) = A\,\mathrm{e}^{-\frac{\omega_0 t}{2Q}}\cos(\Omega t + \varphi)}$$

  avec A et φ des constantes. On donnera l'expression de Ω en fonction de ω_0 et Q.

- Après avoir réalisé un graphe de $s(t)$, préciser ce que l'on appelle l'enveloppe de $s(t)$.
- Montrer alors que si $Q > 2$, on peut raisonnablement supposer que $\Omega \simeq \omega_0$.

Dans la suite, l'objectif sera d'évaluer expérimentalement Q grâce au régime pseudo-périodique. On réalise ceci à l'aide de la méthode du décrément logarithmique.

Méthode du décrément logarithmique :

Soient deux instants t_1 et $t_2 > t_1$. On appelle $s_1 = s(t_1)$ et $s_2 = s(t_2)$. On suppose que $Q > 2$.

L'idée est de choisir les instants t_1 et t_2 pour que $s(t)$ coïncide avec son enveloppe. On prendra donc les instants t_1 et t_2 pour que $s(t)$ soit un extremum local.

- Montrer qu'alors Q vérifie :

$$Q = \frac{\omega_0(t_2 - t_1)}{2} \times \frac{1}{\ln\left(\dfrac{s_1}{s_2}\right)}$$

- Montrer également que $t_2 - t_1 = \dfrac{N}{f_0}$ avec N le nombre d'oscillations de $s(t)$ entre t_1 et t_2.

- En déduire alors la formule du décrément logarithmique :

$$Q = \frac{N\pi}{\ln\left(\dfrac{s_1}{s_2}\right)}$$

IV.3 Étude expérimentale du régime pseudo-périodique

- Reprendre la valeur $R = 150\,\Omega$.

- En utilisant uniquement l'allure du régime pseudo-périodique, estimer grossièrement la valeur du facteur de qualité Q.

- Mesurer désormais le plus précisément possible la valeur de la fréquence propre f_0 du filtre et celle du facteur de qualité Q.