Étude des systèmes linéaires
Chapitre 4

TP – Résonance du circuit RLC

Matériel : Oscilloscope, GBF, $L \simeq 40\,\mathrm{mH}$ (petite bobine pour plaquette), $C \simeq 100\,\mathrm{nF}$, $R = 50\,\Omega$, plaquette.

Objectifs : étudier expérimentalement une résonance en électronique ; vérifier expérimentalement la validité des formules établies en cours.

I Rappels théoriques

On étudie la réponse en intensité du circuit RLC série en régime sinusoïdal forcé. Le circuit étudié est donc constitué d'un générateur de tension, d'une bobine, d'une résistance et d'un condensateur, le tout en série. Nous renvoyons au polycopié du cours, partie IV.2.a.1.

Nous prenons en compte ici la résistance R, la résistance interne r_g du générateur, et la résistance r de la bobine. Le circuit possède donc une résistance totale $R_{\text{tot}} = R + r_g + r$.

La tension d'entrée est du type $e(t) = E_0 \cos(\omega t)$. On étudie le courant $i(t)$.

1 - Sous quelle forme le courant $i(t)$ peut-il s'écrire ? Écrire les grandeurs complexes associées à $e(t)$ et à $i(t)$, et les amplitudes complexes associées.

Nous avons montré en cours que :

$$\boxed{I_0 = |\underline{I}_0| = \frac{E_0/R_{\text{tot}}}{\sqrt{1 + Q^2\left(x - \dfrac{1}{x}\right)^2}}} \quad \text{et} \quad \boxed{\Delta\varphi = \varphi_i - \varphi_e = -\arctan\left(Q\left(x - \frac{1}{x}\right)\right)},$$

avec $\omega_0 = 1/\sqrt{LC}$, $Q = (1/R_{\text{tot}})\sqrt{L/C}$, $x = \omega/\omega_0$.

2 - Faire l'application numérique pour les grandeurs R_{tot} (on donne $r_g = 50\,\Omega$ et $r = 17\,\Omega$ pour la bobine), pour $f_0 = \omega_0/(2\pi)$, et pour Q. Il s'agira donc des valeurs *théoriques.*

Les valeurs de C et L sont connues avec une incertitude-type relative de 5 %. Il en résulte une incertitude-type sur la valeur théorique de f_0 :

$$\boxed{u(f_0) = f_0\sqrt{\left(\frac{u(C)}{2C}\right)^2 + \left(\frac{u(L)}{2L}\right)^2} = 90\,\mathrm{Hz}}$$

(calcul à vérifier à la fin du TP si vous avez le temps).
L'incertitude sur Q est plus élevée, car R_{tot} n'est pas connue précisément à cause de la résistance de la bobine qui dépend de la fréquence (cf TP précédent !). On ne la calcule pas.

II Étude expérimentale

4 - Montage : proposer un montage (=schéma où apparaissent les branchements de l'oscilloscope) permettant de suivre à l'oscilloscope la tension d'alimentation $e(t)$ et une grandeur proportionnelle à l'intensité (préciser laquelle).

Réaliser ce montage. Attention aux problèmes de masse (ordre des composants).

5 - Étude qualitative : effectuer un balayage grossier en fréquence afin de repérer si oui ou non le système présente une résonance. Pour cela on observera l'amplitude du GBF sur la voie 1, et celle de $u_R(t)$ sur la voie 2, en commençant à des fréquences basses (vers 100 Hz) et en augmentant progressivement la fréquence (jusqu'à environ 20 kHz). Notez vos observations : faire un schéma du relevé de l'oscilloscope à basse fréquence, pour f proche de la résonance, et à haute fréquence.

On notera également le déphasage entre les courbes : comment les courbes sont-elles déphasées à basse fréquence, à la résonance, et à haute fréquence ?

6 - Fréquence de résonance : on souhaite mesurer la fréquence de résonance.

Rappeler ce que vaut, théoriquement, le déphasage à la résonance dans le cas étudié.

Pour exploiter ceci, nous utilisons la méthode de Lissajous (ci-dessous). Relever la fréquence trouvée expérimentalement, estimer également son incertitude.

Enfin, comparer avec la valeur théorique à l'aide du calcul de l'écart normalisé, et conclure.

Méthode de Lissajous

Un moyen précis de repérer un déphasage nul entre deux signaux harmoniques de même fréquence est d'utiliser l'oscilloscope en mode XY.

Ce mode XY permet de tracer le signal de la voie CH2 en fonction du signal de la voie CH1. Il est activable à l'aide du bouton "menu" du groupe "horizontal".

- Le déphasage est nul lorsque la courbe tracée en XY est réduite à un segment.
- Le déphasage est de $\pm\pi$ lorsque la courbe tracée en XY est réduite à un segment, mais avec une pente négative.

7 - Tracé de la courbe de résonance : mesurer l'amplitude du courant pour une dizaine de valeurs de fréquences (on resserrera les valeurs proches de la résonance). Dans le notebook Python `9297-1082604`, tracer cette amplitude en fonction de la fréquence. Imprimer la courbe.

8 - Bande passante : sur l'impression précédente, faire apparaître les fréquences de coupures, la bande passante, et en déduire la valeur du facteur de qualité Q. Comparer à la valeur théorique.

9 - S'il vous reste du temps, mesurer cette fois le déphasage $\Delta\varphi$ entre courant et tension d'entrée pour une dizaine de valeurs de fréquence (les mêmes que précédemment). Tracer ensuite le graphe de $\Delta\varphi$ en fonction de f.