

TP 12 : Résonance du circuit RLC série

Les points du programme :

- Réaliser l'acquisition d'un régime transitoire pour un système linéaire du deuxième ordre et analyser ses caractéristiques.

Objectifs

- Etudier expérimentalement le circuit RLC série en régime sinusoïdal forcé ;
- Visualiser la résonance en intensité pour ce circuit ;
- Déterminer les paramètres de ce circuit (ω_0 et Q) à partir de la courbe $I = f(\omega)$.

Matériel : Oscilloscope, Générateur Basses Fréquences, bobine d'inductance $L = 100$ mH, condensateur de capacité $C = 47$ nF, résistance $R = 100$ Ω , plaquette, fils.

1. Etude théorique

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 prenons en compte ici la résistance R , la résistance interne $r_g = 50$ Ω du générateur et la résistance r de la bobine qui vaut $r = 38$ Ω . Le circuit possède donc une résistance totale $R_{tot} = R + r_g + r$.

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

Q1. Sous quelle forme le courant peut-il s'écrire ? Écrire les grandeurs complexes associées à $e(t)$ et à $i(t)$, et les amplitudes complexes associées.

Q2. Donner l'expression de la pulsation propre ω_0 du circuit et du facteur de qualité Q en fonction de R_{tot} , L et C . Faire l'application numérique pour R_{tot} , ω_0 et Q . Il s'agira donc des valeurs théoriques.

L'expressions théorique obtenue en cours de l'amplitude complexe I_0 du courant est

$$I = \frac{U}{R + j\left(L\omega - \frac{1}{C\omega}\right)} = \frac{U}{R \cdot \left(1 + jQ \cdot \left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega}\right)\right)}$$

On en déduit donc que $I = |I| = \frac{U}{R \sqrt{1 + Q^2 \left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega}\right)^2}}$ et $\varphi = \arctan\left(Q \cdot \left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega}\right)\right)$.

Q3. A quelle pulsation ω_r doit théoriquement avoir lieu la résonance en intensité ? En déduire la fréquence de résonance f_r . Faire l'application numérique.

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 :

$$u(f_0) = f_0 \cdot \sqrt{\left(\frac{u(C)}{2C}\right)^2 + \left(\frac{u(L)}{2L}\right)^2} = 83 \text{ Hz}$$

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. On ne la calcule pas.

2. Étude expérimentale

Montage :

Q4. 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). Attention aux problèmes de masse (ordre des composants).

- Réaliser ce montage après accord de l'enseignant.

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 10 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 ?

Fréquence de résonance :

A la résonance en intensité, le courant $i(t)$ et la tension d'excitation $u(t)$ sont en phase : $\Delta\varphi(\omega_0) = 0$

- En utilisant la méthode de Lissajous (ci-dessous), déterminer expérimentalement la fréquence de résonance.

Q5. Comparer avec la valeur théorique à l'aide du calcul de l'écart normalisé, et conclure.

Méthode : 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 "Display". Choisir alors le mode XY à la place de Y(t).

- 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.

Tracé de la courbe de résonance :

- Mesurer l'amplitude du courant pour une dizaine de valeurs de fréquences :

f (en Hz)	200	1000	1600	2000	2200	$f_0 = \dots$	2400	2600	3000	4000	5000
U_R (en V)											

- Tracer cette amplitude en fonction de la fréquence (utiliser le quadrillage au verso).

Bande passante :

- ☐ Sur votre courbe, faire apparaître les fréquences de coupures, la bande passante, et en déduire la valeur du facteur de qualité Q .
- ☐ Comparer à la valeur théorique.

Méthode : Détermination graphique des caractéristiques (résonance en intensité)

1. Sur la **courbe de phase**, repérer la pulsation (ou la fréquence) pour laquelle le déphasage vaut 0 → elle correspond à la **pulsation propre** ω_0 (ou *fréquence propre*) du circuit.
1. (*alternative*) Sur la **courbe de l'amplitude**, repérer la pulsation (ou la fréquence) pour laquelle l'amplitude est maximale (résonance) → elle correspond à la **pulsation propre** ω_0 (ou fréquence) du circuit.
2. Sur la **courbe de l'amplitude**, déterminer l'acuité de la résonance en utilisant la pulsation propre déterminée précédemment. Sa valeur est égale au **facteur de qualité** Q .

Pour les plus rapides : Etude du déphasage

- ☐ S'il vous reste du temps, mesurer cette fois le déphasage $\Delta\phi$ entre courant et tension d'entrée pour une dizaine de valeurs de fréquence (les mêmes que précédemment). Tracer ensuite le graphe du déphasage $\Delta\phi$ entre $i(t)$ et $e(t)$ en fonction de la fréquence f .

