

Correction du TP

Capacités exigibles

- Mettre en œuvre un dispositif expérimental visant à caractériser un phénomène de résonance.

Objectifs

- ◊ Mise en place expérimentale d'un circuit RLC série.
- ◊ Utiliser correctement des dispositifs de mesure de tension.
- ◊ Vérifier les caractéristiques de la résonance en intensité d'un circuit RLC série.



Ce TP est court et non guidé. L'objectif est que vous fassiez preuve d'initiatives personnelles. Vous allez devoir construire en autonomie le protocole puis le réaliser en vue de mesurer la grandeur demandée.

I Analyser

Matériel TP12.1 :

- | | |
|---|--------------------------------------|
| ◊ Une résistance variable ; | ◊ Un multimètre ; |
| ◊ Une capacité variable ; | ◊ Un oscilloscope ; |
| ◊ Une bobine d'inductance $L = 0,1 \text{ H}$; | ◊ Des fils ; |
| ◊ Un générateur basse fréquence (GBF) ; | ◊ Un générateur de tension continue. |

Gain résonance en intensité

$$G(\omega) = \frac{1}{\sqrt{1 + Q^2 \left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \right)^2}} \quad \text{avec} \quad \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad \text{et} \quad Q = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}}$$

- ① Proposer des valeurs de C et L afin que la fréquence de résonance en intensité soit de l'ordre de $f_0 \approx 1 \text{ kHz}$. Proposer une valeur de Q et donc de Q pour observer une résonance assez nette et piquée autour de f_0 .

Réponse

On sait que $\omega_0 = 1/\sqrt{LC} = 2\pi f_0$. Étant donné qu'on veut $f_0 = 1 \text{ kHz}$ et que $L = 0,1 \text{ H}$, on isole C de l'équation :

$$2\pi f_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \Leftrightarrow \sqrt{LC} = \frac{1}{2\pi f_0} \Leftrightarrow LC = \frac{1}{(2\pi f_0)^2}$$

$C = \frac{1}{L(2\pi f_0)^2}$

avec $\begin{cases} f_0 = 1 \text{ kHz} = 1 \times 10^3 \text{ Hz} \\ L = 0,1 \text{ H} \end{cases}$

A.N. : $C = 2,53 \times 10^{-7} \text{ F} = 0,253 \mu\text{F}$

R n'intervient pas dans le choix de la fréquence de résonance ; elle intervient cependant dans l'expression du facteur de qualité Q . On a

$$Q = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}} \Leftrightarrow R = \frac{1}{Q} \sqrt{\frac{L}{C}}$$

On choisit un Q un peu grand avec une valeur de résistance réalisable : $Q = 3$ implique d'utiliser une résistance de 210Ω .

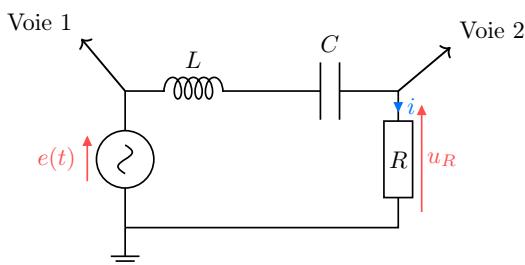
- ② Proposer un protocole expérimental permettant de mettre en évidence la résonance en intensité (en terme de gain et de déphasage). Préciser le montage à utiliser, justifier l'ordre des branchements des appareils de mesures et les réglages du générateur. Un schéma électrique est attendu.

Réponse

Pour vérifier la résonance en intensité, on doit envoyer un signal sinusoïdal dans le circuit et en observer l'intensité. On peut pour cela utiliser un générateur basses fréquences (un GBF), et observer à l'oscilloscope la tension aux bornes de R : en effet, un oscilloscope ne mesure pas d'intensité mais que des tensions, cependant $u_R = Ri$ donc visualiser u_R revient à visualiser i à un facteur près. Si on observe aux bornes de u_L , on observerait la dérivée de l'intensité, et aux bornes de u_C son intégrale. Ainsi :

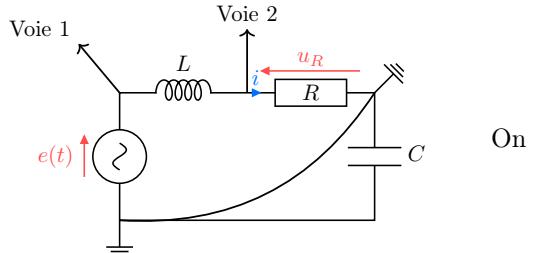
- 1) On câble un circuit RLC série, avec R en fin de circuit pour que sa masse soit confondue avec celle du générateur ;
- 2) On relie la voie 1 de l'oscilloscope aux bornes du générateur :
- 3) On relie la voie 2 l'oscilloscope aux bornes de la résistance ;
- 4) On observe les deux signaux sur l'oscilloscope, en réglant comme il se doit les trois éléments pour une bonne visualisation de signal (trigger, calibre vertical, calibre horizontal) ;
- 5) En faisant varier la fréquence d'entrée sur le GBF, le signal de sortie varie en amplitude et en phase : on relève donc pour différentes fréquences d'excitation l'amplitude du signal de sortie ainsi que son décalage temporel/sa phase par rapport à l'entrée ;
- 6) On trace l'évolution de l'amplitude et de la phase en fonction de la fréquence : dans le cadre de la résonance en intensité, on a toujours résonance à $\omega_r = \omega_0$, et les signaux sont en phase à la résonance. En deçà et au-delà de ω_0 , l'amplitude décroît jusqu'à 0.

On réalise donc le montage suivant :



En effet, lorsque deux voies sont branchées sur l'oscilloscope, elles partagent la même masse, c'est-à-dire la même référence de potentiel (la masse a un potentiel nul : c'est depuis ce point qu'on mesure les tensions par différences de potentiels).

Ainsi, si la résistance n'est pas à la fin du circuit, on ferait le circuit ci-contre ; dans ce cas, comme les masses sont automatiquement reliées entre elles via l'oscilloscope, on créerait un court-circuit aux bornes de C (on se retrouve avec un circuit RL).



règle donc R sur 210Ω , C sur $0,253\mu F$ et on utilise L d'inductance $0,1H$. Pour le générateur, on vérifie en premier lieu la fréquence de résonance en se plaçant à $1kHz$ en mettant la fiche sur l'OUTPUT de la ligne du haut, bouton $\boxed{\sim}$ enfoncé à droite et $1k$ à gauche, puis on règle la fréquence avec le bouton tournant à côté de l'affichage. Si le signal est trop faible sur l'oscilloscope, on peut régler son niveau avec le bouton tournant à côté de la fiche.

II | Réaliser

- 1 Tracer les courbes de résonance en amplitude et en déphasage à l'aide du papier semi-logarithmique fourni.

**Attention**

À cause de rétroaction de l'oscilloscope sur le circuit, le GBF va changer d'amplitude lorsque la fréquence change. Il faut donc **mesurer l'amplitude du signal d'entrée à chaque fréquence** pour pouvoir calculer le gain correctement.

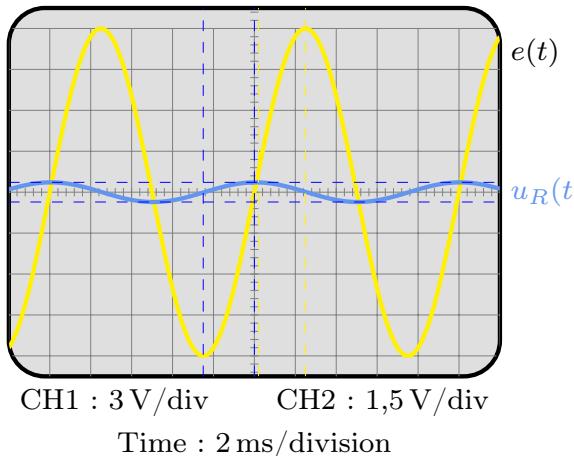
Réponse

On observe à l'oscilloscope les courbes suivantes, selon la fréquence d'excitation :

Fréquence 100 Hz : atténuation BF

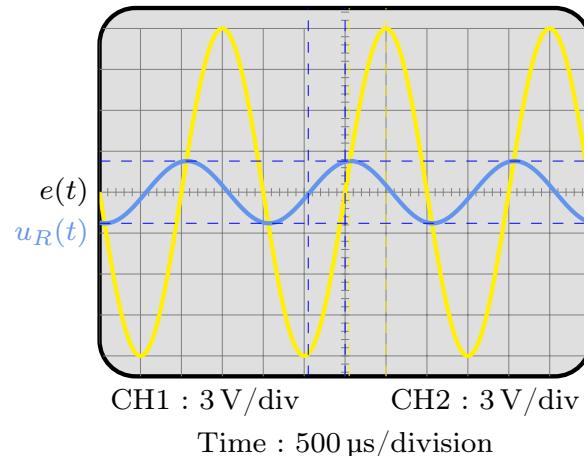
$$U_r = 0,36 \text{ V}$$

$$\varphi \approx \pi/2 \text{ rad}$$

Fréquence 500 Hz : atténuation $< f_0$

$$U_r = 2,29 \text{ V}$$

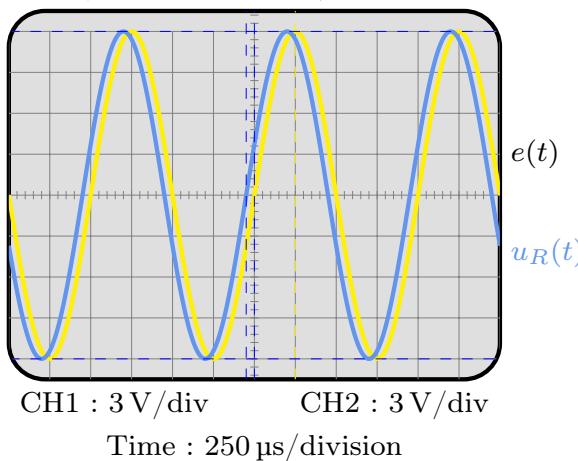
$$\varphi \approx 1,35 \text{ rad}$$



Fréquence 1 kHz : résonance

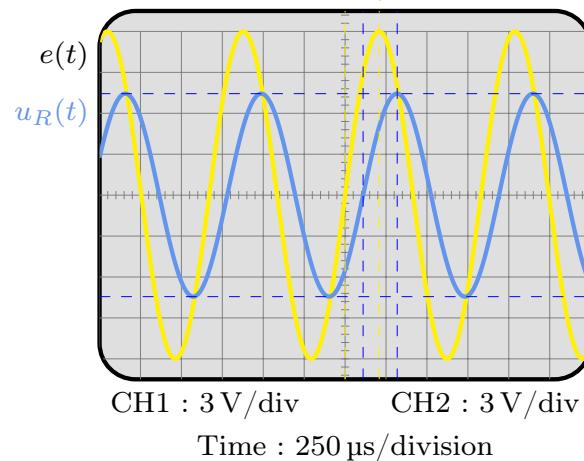
$$U_r = 12 \text{ V}$$

$$\varphi = 0 \text{ rad}$$

Fréquence 1,2 kHz : atténuation $> f_0$

$$U_r = 7,47 \text{ V}$$

$$\varphi \approx -0,83 \text{ rad}$$



On remarque que :

- ◊ à une fréquence **très inférieure** à la fréquence de résonance, par exemple 100 Hz (un dixième de f_0), la tension (donc l'intensité) est **presque nulle** par rapport à ce qu'impose l'entrée. De plus, le signal de sortie est **en avance**, avec une phase de $\pi/2$ (en avance car son maximum arrive avant celui du GBF) ;
- ◊ à une fréquence **un peu inférieure** à f_0 , par exemple 500 Hz ($f_0/2$), la sortie **est atténuée**, mais toujours **en avance** ;
- ◊ à la **fréquence de résonance**, l'amplitude de la tension de la résistance (donc l'intensité à un facteur R près), est **maximale** et est **en phase** avec le signal d'entrée (les maxima arrivent au même moment) ;
- ◊ à une fréquence **un peu supérieure** à f_0 , par exemple 1200 Hz ($1,2f_0$), on retrouve une **atténuation**, mais cette fois le signal est **en retard** sur l'entrée (son maximum arrive après celui de $e(t)$) .
- ◊ Pour une fréquence **très supérieure** à la fréquence de résonance, par exemple 10 kHz ($10f_0$), on retrouve la même atténuation qu'à $0,1f_0$ mais la phase est opposée.

Ainsi, on relève les valeurs d'amplitude et de décalage temporel entre les signaux à chaque fréquence d'entrée choisie : on obtient la phase avec la relation

$$\Delta\varphi = \omega\Delta t = 2\pi f\Delta t$$

étant donné que par définition, la phase est la vitesse angulaire de la phase ($\omega = \Delta\varphi/\Delta t$ comme $v = d/t$). On trouve alors les courbes en annexe.



III | Valider et conclure

- 2 Les courbes obtenues ont-elles l'allure attendue ?

Réponse

On trouve en effet que les courbes ont l'allure attendue, aux erreurs de mesure près compte-tenu des incertitudes de lecture et des incertitudes sur la valeur exacte des composants.



- 3] La largeur de la bande passante est-elle celle attendue par la théorie ?

Réponse

La largeur de la bande passante, en revanche, ne correspond pas à la théorie : elle est plus large que prévue ! En effet, le facteur de qualité du circuit $Q = 1/R\sqrt{L/C}$ prend en compte indifféremment toutes les résistances du circuit : il y en a dans l'inductance (autour de 50Ω), dans le condensateur, dans les câbles... et donc Q est plus petit que ce que prévoit la théorie :

$$\begin{aligned} R_{\text{circuit}} &> R \\ \Leftrightarrow Q_{\text{réel}} &= \frac{1}{R_{\text{circuit}}} \sqrt{\frac{L}{C}} < Q_{\text{theo}} = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}} \end{aligned}$$

Ainsi, comme la bande passante est définie par $\Delta\omega = \omega_0/Q$, on a

$$\boxed{\Delta\omega_{\text{réel}} > \Delta\omega_{\text{theo}}}$$

