

TP 12 : Régime transitoire du circuit RLC

Les points du programme :

- Réaliser l'acquisition d'un régime transitoire pour un système linéaire du deuxième ordre et analyser ses caractéristiques.
- Procéder à l'évaluation d'une incertitude-type par une autre approche que statistique (évaluation de type B).
- Capacité numérique : simuler, à l'aide d'un langage de programmation, un processus aléatoire permettant de caractériser la variabilité de la valeur d'une grandeur composée.

Objectifs

- Etudier expérimentalement le circuit RLC série ;
- Visualiser les différents régimes ;
- Vérifier expérimentalement la validité des formules établies en cours.

Rappel de cours : Caractéristiques d'un circuit RLC série

Le comportement d'un circuit du deuxième ordre est complètement régi par les deux paramètres de sa forme canonique : sa pulsation propre ω_0 et son facteur de qualité Q . Dans un circuit RLC série, la tension $u_c(t)$ aux bornes du condensateur vérifie l'équation différentielle :

$$\frac{d^2 u_c}{dt^2} + \frac{\omega_0}{Q} \cdot \frac{du_c}{dt} + \omega_0^2 \cdot u_c = \omega_0^2 \cdot U_{c,\infty}$$

avec $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ et $Q = \frac{1}{R_{tot}} \cdot \sqrt{\frac{L}{C}}$ où R_{tot} la résistance totale du circuit.

Matériel : Oscilloscope, Générateur Basses Fréquences, bobine d'inductance $L = 100$ mH, condensateur de capacité $C = 100$ nF, boîte à décades (résistance R variable), plaquette, fils.

1. Étude qualitative

Manipulations et questions :

- Régler le GBF pour produire un signal crête à crête allant de 0 à E (avec E de l'ordre de quelques volts), avec une fréquence de l'ordre de 100 Hz.
- Q1.** Proposer un montage (= schéma) permettant d'étudier la réponse d'un circuit RLC série à un échelon de tension (allant de 0 à quelques volts) en visualisant à l'oscilloscope d'une part l'échelon de tension imposé par le GBF et d'autre part la tension aux bornes du condensateur. Attention aux problèmes de masse commune entre l'oscilloscope et le GBF : bien réfléchir à l'ordre des composants.
- Après validation, câbler ce montage sur votre paillasse.
- Faire une acquisition pour $R = 0 \Omega$.
- Q2.** Le comportement observé est-il celui attendu ? Comment l'expliquer. En déduire que R ne correspond pas à R_{tot} .
- En faisant varier R , identifier deux différents types de régimes transitoires.
- Reproduire l'allure des signaux lors d'une charge (passage de la tension du GBF de 0 à E) pour chacun, les nommer, indiquer la valeur de R ainsi que la valeur du facteur de qualité Q qui correspond au schéma.

2. Étude du régime pseudo-périodique

Rappel de cours : Régime pseudo-périodique

En régime pseudo-périodique, l'évolution de la tension u_c est de la forme :

$$u_c(t) = A \cdot e^{-\lambda \cdot t} \cdot \cos(\omega_p \cdot t + \varphi) + U_{\infty} \quad A \text{ et } \varphi \in \mathbb{R};$$

avec :

$$\lambda = \frac{\omega_0}{2Q} \text{ appelé } \textbf{facteur d'amortissement}$$

$$\omega_p = \omega_0 \cdot \sqrt{1 - \frac{1}{4Q^2}} \text{ appelée } \textbf{pseudo-pulsation}$$

$$T_p = \frac{2\pi}{\omega_p} \text{ appelée } \textbf{pseudo-période}$$

a. Détermination de la période des oscillations

- Se placer en régime nettement pseudo-périodique : faire en sorte de voir au moins une dizaine d'oscillations.
- Mesurer alors leur période T_p (appelée *pseudo-période*)
- Q3.** Comparer à la période propre $T_0 = 2\pi/\omega_0$ du circuit. Y a-t-il une différence significative ?
- Q4.** Est-ce que cela était attendu étant données les formules théoriques donnant T_p et T_0 ?

b. Détermination du facteur de qualité

Méthode : Décroissement logarithmique

On peut évaluer le facteur d'amortissement λ , et donc le facteur de qualité Q en mesurant le **décroissement logarithmique** D :

$$D = \ln \left(\frac{u_c(t) - U_{c,\infty}}{u_c(t+T_p) - U_{c,\infty}} \right) = \lambda \cdot T_p \approx \lambda \cdot T_0 = \frac{\pi}{Q}$$

Sa mesure est simple expérimentalement, par exemple en repérant les maximums d'oscillation de $u_c(t)$ et en mesurant le rapport des valeurs de u_c pour deux maxima consécutifs.

- Q5.** À l'aide de l'encadré précédent, proposer et mettre en œuvre un protocole de mesure du facteur de qualité du circuit.
On fera l'étude à la décharge, lorsque le générateur passe d'une valeur E positive à la valeur nulle (on a alors la simplification $U_{c,\infty} = 0$).
On détaillera chaque étape du raisonnement. On fera un schéma du signal étudié sur lequel on reportera ce que l'on mesure et comment.
- Q6.** La valeur obtenue pour Q est-elle cohérente avec celle obtenue en comptant grossièrement le nombre d'oscillations visibles ?

3. Étude du régime critique (travail sur les incertitudes)

Q7. Calculer la valeur numérique de la résistance totale qui, théoriquement, correspond au régime critique. On la notera $R_{c,théo}$.

Q8. L'incertitude-type associée à cette valeur théorique dépend des incertitudes sur les valeurs des autres composants du montage. Pour évaluer cette incertitude-type, on a recours à une simulation Monte-Carlo : télécharger, compléter puis exécuter le programme « R_critique.py » disponible sur le cahier de prépa.

→ Noter le résultat pour la résistance critique sous la forme $R_{c,théo} \pm u(R_{c,théo})$.

☐ Estimer expérimentalement un intervalle pour la valeur critique de la résistance pour laquelle on est à la limite entre un régime pseudo-périodique et un régime apériodique. Exprimer cet intervalle sous la forme $[R_{c,exp} - \Delta R_{c,exp}; R_{c,exp} + \Delta R_{c,exp}]$.

Q9. Déterminer l'incertitude-type $u(R_{c,exp})$ pour la valeur expérimentale de la résistance critique.

On fait l'hypothèse que la probabilité de trouver la vraie valeur est constante sur l'intervalle : on a alors $u(R_{c,exp}) = \Delta R_{c,exp} / \sqrt{3}$.

Q10. Exprimer le résultat de la mesure sous la forme $R_{c,exp} \pm u(R_{c,exp})$

Q11. Comparer à la valeur attendue d'après la théorie (écart normalisé !) et conclure quant à l'accord. D'où peut venir une différence ?

4. Pour les plus rapides

Q12. Répéter le protocole de la partie 2 permettant de déterminer le facteur de qualité Q pour plusieurs valeurs de R, afin de vérifier si le facteur de qualité du circuit RLC série est bien proportionnel à 1/R. Faire un tableau avec vos résultats, puis il faudra faire un tracé (de quoi en fonction de quoi ?) et vérifier si les points sont alignés. Vous pourrez utiliser le script « regression_lineaire.py » disponible dans le dossier du TP dans le cahier de prépa.