

TP n°6 : Circuit RLC série

PCSI 2023 – 2024

I Étude en régime transitoire

Objectif : on se propose de visualiser à l'oscilloscope la tension aux bornes du condensateur $u_C(t)$ d'un circuit RLC série lors d'une succession de charges et décharges de ce dernier.

Matériel : on utilisera les composants suivants :

- Un GBF de résistance interne r et de force électromotrice $e(t)$.
- Une boîte à décade de résistance R variable.
- Une bobine réelle : inductance pure L en série avec un résistor de résistance r_L .
- Une capacité C .

Schéma du montage : tracer sur une figure le schéma du montage à réaliser.

On placera les différents composants modélisés (générateur équivalent Thévenin et bobine réelle) ainsi que les bornes de l'oscilloscope de façon à visualiser $u_C(t)$ en voie 2 et $u(t)$ la tension aux bornes du GBF en voie 1. **Ne pas effectuer le montage pour le moment.**

Rappels : en posant $R_T = r + R + r_L$ la résistance totale du circuit RLC série, l'équation différentielle à laquelle obéit $u_C(t)$ est

$$\frac{d^2 u_C(t)}{dt^2} + \frac{R_T}{L} \frac{du_C(t)}{dt} + \frac{u_C(t)}{LC} = \frac{e(t)}{LC}$$

ou sous une forme canonique

$$\ddot{u}_C(t) + \frac{\omega_0}{Q} \dot{u}_C(t) + \omega_0^2 u_C(t) = \omega_0^2 e(t) \iff \ddot{u}_C(t) + \frac{2}{\tau} \dot{u}_C(t) + \omega_0^2 u_C(t) = \omega_0^2 e(t)$$

La nature du régime dépend de $Q = \frac{1}{R_T} \sqrt{\frac{L}{C}}$ le facteur de qualité du circuit, c'est le paramètre pertinent que l'on fera varier en modifiant R .

Réglages :

- Mesurer la valeur de r_L la résistance interne de la bobine à l'aide d'un multimètre.
- Prendre $R = 4 \text{ k}\Omega$ pour l'instant.
- Régler le GBF de façon à ce que $u(t)$ soit une tension crête variant de $0,0 \text{ V}$ à $E = 5,0 \text{ V}$ puis de E à 0 à la fréquence $f = 100 \text{ Hz}$ pour le moment. Rappeler ou relever la valeur de r .
- Réaliser enfin le montage et allumer les appareils

Régime apériodique :

- Modifier éventuellement la fréquence f du GBF de façon à observer le régime transitoire entier lors d'une charge du condensateur.
- Quels sont les éléments qui vous permettent d'affirmer qu'on observe bien un régime transitoire apériodique ?
- A-t-on continuité de $u_C(t)$ à $t = 0$ comme prévu ?
- A-t-on continuité de l'intensité du courant $i = i_L = i_C = C \cdot \frac{du_C(t)}{dt}$ à $t = 0$ comme prévu ?

Régime critique : on cherche à présent à se placer en régime critique, c'est à dire à $Q = \frac{1}{2}$. La valeur de L étant mal connue, on ne peut pas calculer la valeur R_c de R correspondante.

- Modifier R jusqu'à atteindre le régime critique.
On expliquera la méthode suivie et on indiquera la valeur de la résistance R correspondante en précisant l'incertitude de la mesure (ordre de grandeur).
- En déduire $R_T = R_c = R + r + r_L$ puis L en considérant qu'on a effectivement $Q = \frac{1}{2}$.

Que pensez-vous de cette méthode de mesure de L ? On pourra calculer l'incertitude relative.

Régime pseudo-périodique

- Prendre maintenant $R_T = \frac{R_c}{8}$ soit $R = \frac{R_c}{8} - r_L - r$ et visualiser une décharge du condensateur (vous pouvez être amené à modifier la période du GBF pour observer la fin du phénomène).
- On devrait théoriquement avoir alors $Q = 8 \times \frac{1}{2} = 4$ (ordre de grandeur). Est-ce le cas ?

On pourra par exemple compter le nombre d'oscillations visibles pendant le régime transitoire.

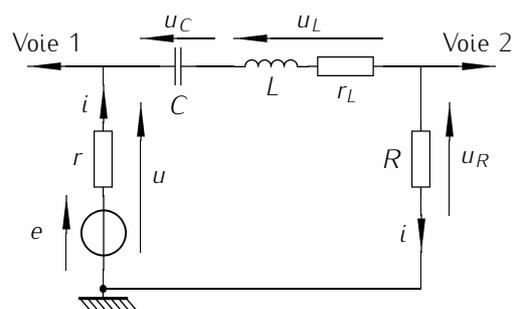
II Étude en régime sinusoïdal forcé

On applique désormais une tension $u(t)$ sinusoïdale de fréquence f , sans composante continue et de valeur efficace $U_{\text{eff}} = 2,0$ V. Effectuer les réglages du GBF.

III Résonance en intensité

Rappel : à la résonance en intensité, pour $f = f_0$, $u_R(t) = R \cdot i(t)$ est en phase avec $u(t)$ car l'impédance \underline{Z} du circuit est alors purement résistive.

Montage : modifier le montage comme représenté ci-dessous en gardant la valeur précédente de R soit $Q \simeq 4$.



- Pourquoi doit-on permuter R et C par rapport au montage du I. si on veut visualiser $u(t)$ et $u_R(t)$ simultanément ?

- Vérifier rapidement la présence d'une résonance aux bornes du résistor en faisant varier la fréquence de la tension $u(t)$: en augmentant à partir d'une valeur relativement faible (100 Hz par exemple), l'amplitude de u_R doit augmenter, passer par un maximum puis diminuer à nouveau.

Fréquence de résonance : déterminer expérimentalement f_0 par la méthode de l'ellipse en utilisant le mode XY de l'oscilloscope. On rappelle que $u_R(t)$ est en phase avec $u(t)$.

Relever la valeur de f_0 en précisant Δf_0 l'incertitude sur la mesure.

En déduire une valeur précise de L (on rappelle que $\omega_0 = 2\pi f_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$) et comparer à la valeur obtenue en I.

Laquelle de ces deux méthodes vous semble-t-elle la plus fiable ? On pourra calculer l'incertitude relative sur L .

Mesure et représentation des tensions sinusoïdales : mesurer successivement, les valeurs efficaces U_R , U_L , U_C en maintenant $U = 2,0$ V (mesures au multimètre) et $\varphi_{i|u}$ le déphasage de i par rapport à u (mesure à l'oscilloscope si possible, sinon mesurer le décalage temporel Δt et calculer $\varphi_{i|u} = -\frac{2\pi\Delta t}{T}$) pour $f = f_0$, $f_0 + 500$ Hz puis $f_0 - 500$ Hz.

	U_R (V)	U_L (V)	U_C (V)	U (V)	$\varphi_{i u}$ (deg)
f_0					
$f_0 + 500$ Hz					
$f_0 - 500$ Hz					

- A-t-on $U = U_R + U_C + U_L$? Justifier.

IV Tracé de $I(f)$

Objectif et mode opératoire : on cherche à tracer les courbes $I(f)$ et $\varphi_{i|u}(f)$ qui traduisent les variations de la valeur efficace et de la phase à l'origine de l'intensité du courant en fonction de la fréquence.

Placer les instruments de mesures précédents et régler $f = f_0$, vérifier que $U = 2,0$ V.

Tracés : on tracera $I(f)$ et $\varphi_{i|u}(f)$ à l'aide de Python.

- Tracez simultanément les courbes $I(f)$ et $\varphi_{i|u}(f)$ en partant de $f = f_0$.
Vérifiez pour chaque point de mesure que U reste égale à 2,0 V, quitte à régler le GBF.
On prendra d'autant plus de points que les variations de I ou $\varphi_{i|u}$ sont importantes.

Exploitation : on définit les deux fréquences de coupure f_{c1} et f_{c2} telles que $I(f_c) = \frac{I_{\max}}{\sqrt{2}}$.

On rappelle que pour ce type de circuit, la bande passante $\Delta f = |f_{c2} - f_{c1}|$ est liée au facteur de qualité Q et à f_0 par la relation $\Delta f = \frac{f_0}{Q}$.

- Déterminer graphiquement les fréquences de coupure et la bande passante en estimant l'incertitude.
- En déduire la valeur du facteur de qualité Q et l'incertitude de mesure.

V Visualisation de la réponse en fréquence : wobulation

Principe : la wobulation consiste à faire varier linéairement la fréquence f du signal sinusoïdal (ou autre) délivré par le GBF entre 2 valeurs : f^{\min} et f^{\max} .

Cela permet ici d'effectuer un tracé automatique de la courbe de résonance $U_R(f)$.

Mise en œuvre : Le signal wobulé (ou modulé en fréquence) est disponible sur la sortie normale (d'impédance 50Ω) alors qu'un signal $u_W(t)$ dont la tension est proportionnelle à la fréquence f est disponible sur la sortie *sweep out* qui se trouve sur la face arrière de l'appareil.

- Se placer à la fréquence de départ, bien avant la fréquence de résonance : $f^{\min} \ll f_0$.
- Appuyer sur SWEEP et régler f^{\max} à une valeur supérieure à la fréquence de résonance.
- Brancher u_R en voie 2 de l'oscilloscope et le signal de wobulation en voie 1 à l'aide d'un câble BNC-BNC.
- Passer ensuite en mode XY. De cette façon, on retrouve un signal proportionnel à la fréquence en abscisse et un signal proportionnel à l'intensité en ordonnée.
On obtient alors une figure dont l'enveloppe supérieure est la courbe de résonance du filtre.
- Déplacer le graphe sur l'écran de façon à faire coïncider l'axe de symétrie horizontal avec le bas de l'écran de l'oscilloscope. Modifier éventuellement la sensibilité verticale de façon à occuper l'écran au maximum.
- Pour un résultat de meilleure qualité, il est préférable de réaliser un balayage en fréquence à faible vitesse.

Mettre l'oscilloscope numérique en mode PERSISTANCE ∞ (menu *Display*).

Si le résultat n'est pas satisfaisant, faire les réglages nécessaires et recommencer en ayant pris soin d'effacer l'écran. Tracer l'allure de la courbe.

Modification du facteur de qualité : faire varier R et noter comment évolue l'allure de la courbe (faire des dessins). Comment varie f_0 , Q ?

Nature du filtre : si l'on considère ce circuit comme un filtre avec u comme tension d'entrée et u_R la tension de sortie, préciser la nature du filtre.

VI Étude aux bornes d'un autre dipôle

Garder les mêmes réglages (GBF et oscilloscope) et modifier le circuit pour observer en voie 2 successivement

u_C la tension aux bornes du condensateur : schéma du circuit à tracer sur votre rapport.
Faire varier R et remarquer la résonance en tension si R est faible ($Q > \frac{1}{\sqrt{2}}$) et le comportement filtre passe bas si $Q = \frac{1}{\sqrt{2}}$, noter la valeur de R correspondante et comparer à la valeur attendue.

Tracer l'allure de l'amplitude $U_C(f)$ pour différentes valeurs de R .

u_L la tension aux bornes de la bobine : schéma du circuit à tracer.
À quel type de filtre a-t-on affaire ?

Tracer l'allure de l'amplitude $U_L(f)$ pour différentes valeurs de R .

u_{LC} la tension aux bornes de l'ensemble condensateur et bobine en série : schéma du circuit à tracer.
Tracer l'allure de l'amplitude $U_{LC}(f)$ pour différentes valeurs de R .

À quel type de filtre a-t-on affaire ? Comment modifier

- la largeur de la bande rejetée ?
- La fréquence pour laquelle u_{LC} est minimale ?