OS – TP 9

Régimes sinusoïdaux forcés

Objectifs

- Mettre en œuvre un dispositif expérimental mettant en évidence un phénomène de résonance.
- Mesurer l'avance ou le retard temporel entre deux signaux puis en déduire leur déphasage.
- Déterminer la pulsation propre et le facteur de qualité à partir de graphes expérimentaux d'amplitude et de phase.

Préparation

L'étude théorique (partie I) est à rédiger par chaque élève du groupe et à présenter en début de séance.

Compte rendu

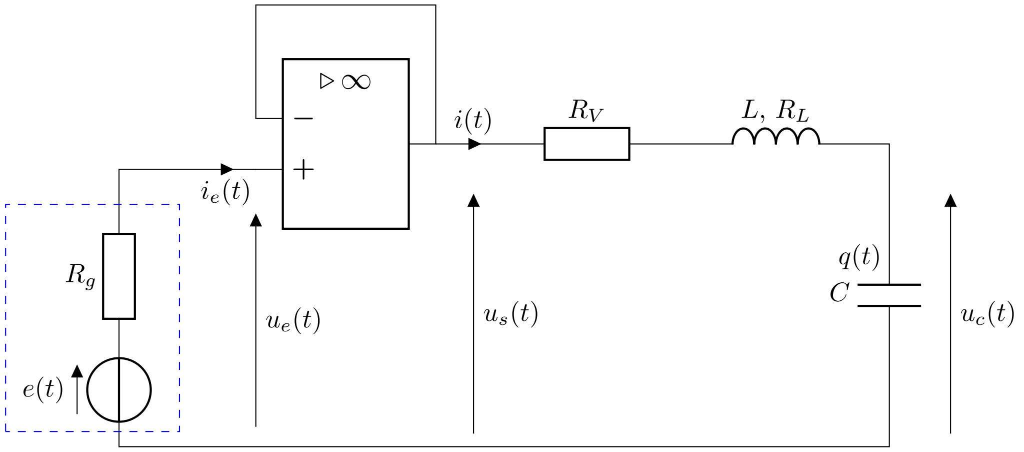
Chaque groupe rédige un compte-rendu de la partie II pour la séance de TP suivante.

Généralités sur les mesures et les notations

- Un voltmètre en mode alternatif mesure une valeur *efficace*. Pour une tension $u(t)$, l'énoncé note la valeur efficace U.
- Un oscilloscope est plutôt destiné à visualiser l'évolution d'un signal au cours du temps et à ce titre de mesurer des amplitudes, des décalages temporels entre signaux, des avances et des retards. Néanmoins, la plupart des oscilloscopes numériques proposent également des fonctionnalités de mesures de valeurs efficaces entre autres choses. Pour une tension $u(t)$, l'énoncé note l'amplitude u_m.
- Si on dispose un résistor dans un circuit, on peut mesurer la tension à ses bornes. Dans le cadre du modèle résistor parfait, cette tension est proportionnelle à la tension mesurée et l'intensité du courant peut donc être déduite facilement si on connaît la valeur de la résistance. D'autre part, l'impédance d'un résistor parfait étant une grandeur réelle positive, la phase de la tension entre ses bornes est identique à la phase de l'intensité du courant la traversant.

I - Étude théorique du circuit RLC en régime sinusoïdal forcé

On étudie le circuit suivant alimenté par un GBF de fem $e(t)$ et de résistance interne R_g :



Le générateur délivre une tension sinusoïdale de pulsation ω que nous écrirons arbitrairement :

$$e(t) = e_m \cos(\omega t)$$

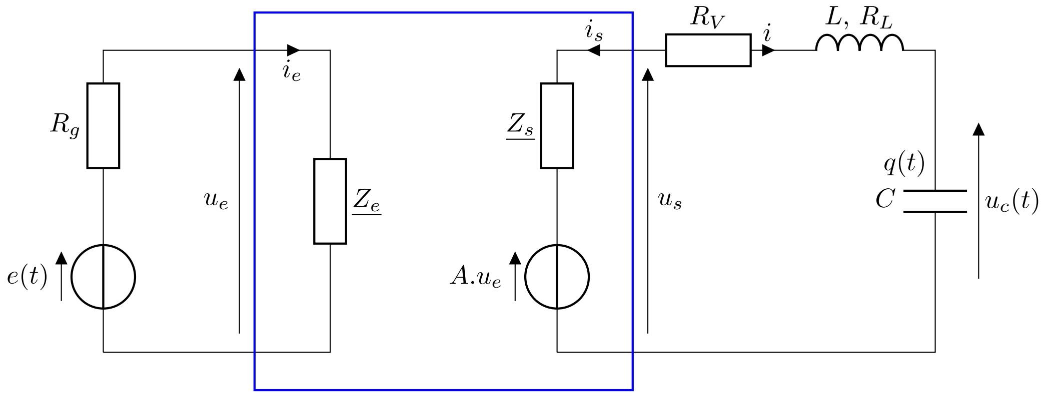
On suppose, en régime sinousoïdal forcé les réponses suivantes :

$$i(t) = i_m \cos(\omega t + \Phi)$$

$$u_c(t) = \frac{q(t)}{C} = u_{cm} \cos(\omega t + \varphi)$$

I.1 - Adaptation d'impédance en électronique

Le dispositif entre le GBF et le circuit RLC est appelé « Amplificateur opérationnel monté en suiveur ». L'amplificateur opérationnel est un amplificateur dit « différentiel », car il peut amplifier la différence des potentiels entre ses bornes + et -. Le montage en suiveur possède une impédance d'entrée Z_e de l'ordre du mégaohm au gigaohm selon le modèle d'AOP, une impédance de sortie Z_s de l'ordre de quelques ohms au maximum et une amplification A approximativement égale à l'unité. Sans connaître le fonctionnement précis de l'AOP monté en suiveur, on peut donc modéliser le circuit par :



1. Donner la valeur de la résistance de sortie d'un GBF standard.
2. À l'aide d'estimations des ordres de grandeurs des fréquences, capacités, résistances et inductances usuelles utilisées en électronique (se munir d'énoncés de TP par exemple), évaluer un ordre de grandeur du module de l'impédance équivalente $|\underline{Z}|$ de la partie RLC du circuit.
3. En raisonnant avec les impédances de façon analogue à ce qui a été fait dans le TP « Oscilloscope - Résistances d'entrée et de sortie », justifier que l'utilisation d'un AOP monté en suiveur permette de transmettre l'intégralité du signal e du GBF à la partie RLC, c'est-à-dire d'obtenir $u_S \approx e$.

Un tel montage permet de rendre indépendants l'une de l'autre les parties gauche et droite du circuit. On dit que l'AOP monté en suiveur réalise une fonction d'isolation.

I.2 - Étude théorique de l'impédance et du courant

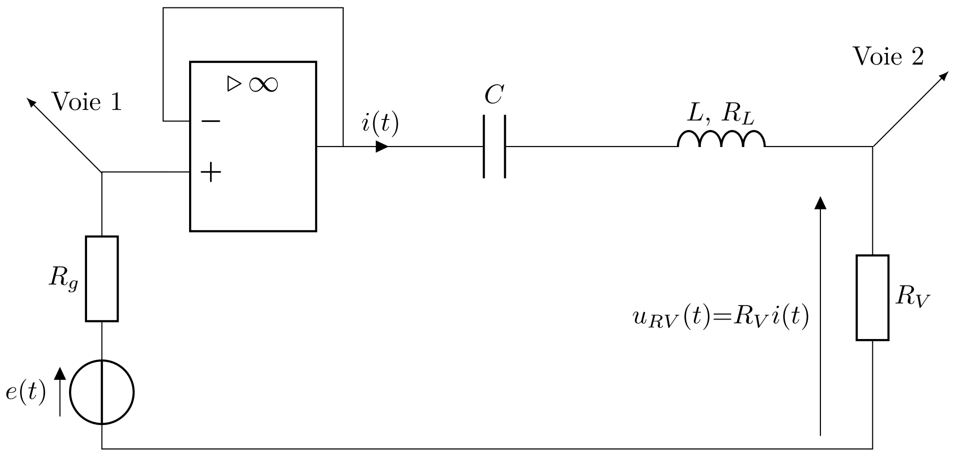
1. Écrire l'impédance complexe $\underline{Z}$ du circuit après le suiveur en fonction de $R = R_V + R_L$, Q, ω et ω_0.
   Rappel : $Q = \dfrac{L\omega_0}{R} = \dfrac{1}{RC\omega_0}$ et $\omega_0 = \dfrac{1}{\sqrt{LC}} = 2\pi f_0$.
2. Esquisser la courbe du module $|\underline{Z}|$ de l'impédance en fonction de la pulsation (ou de la fréquence).
   En déduire la forme de la courbe $i_m = \frac{e_m}{|\underline{Z}|}$ en fonction de la pulsation, sachant que e_m reste constante au cours de l'expérience. Pour quelle pulsation et quelle fréquence peut-on parler de résonance en intensité ? Quelle est alors la valeur maximum de l'amplitude du courant i_m ?
3. Quel est le déphasage Φ_0 entre i et e à la pulsation (ou fréquence) à laquelle l'amplitude de l'intensité est maximale ?

I.3 - Étude théorique de la réponse en charge

1. Exprimer la fonction de transfert $\underline{H}(j\omega) = \frac{\underline{u_c}}{\underline{e}}$ en fonction de Q, ω, ω_0 et **esquisser** le diagramme de Bode en phase et en gain. Attention, il s'agit de la phase φ de la tension u_c à ne pas confondre avec celle du courant.
2. Démontrer la condition que doit vérifier le facteur de qualité Q pour qu'il existe une **résonance en charge**, c'est-à-dire : $\exists\, \omega_r \neq 0\,,\ |\underline{H}|(\omega_r) = \frac{u_{cm}(\omega_r)}{e_m} > 1$ et $|\underline{H}|(\omega)$ est maximum en ω_r.
3. Que vaut $|\underline{H}|$ pour $\omega = \omega_0$ (ou pour $f = f_0$) ?

II - Étude expérimentale de la réponse en intensité du courant

Dans la partie expérimentale, seule l'étude de l'intensité du courant est menée.



On prend $L = 0{,}10\,\mathrm{H}$, $C = 0{,}10\,\mu\mathrm{F}$, $R_v = 1{,}0 \cdot 10^2\,\Omega$ et $e_m = 2{,}0\,\mathrm{V}$

Grâce à l'*oscilloscope*, visualiser la tension en sortie du GBF et régler son *amplitude* à la valeur $e_m = 2{,}0\,\mathrm{V}$. **Attention : sur les oscilloscopes utilisés en TP, la fonctionnalité « amplitude » mesure en réalité deux fois l'amplitude telle que définie dans le cours de physique. En tenir compte**.

1. Visualiser à l'oscilloscope la courbe de $u_{RV}(t)$. En faisant varier la fréquence du GBF, déterminer expérimentalement la valeur maximale de l'amplitude, $u_{RVm,max}$, et en déduire, grâce aux réponses de la partie théorique une estimation expérimentale de valeur la résistance totale $R = R_V + R_L$ du circuit à droite du suiveur. En déduire R_L.
2. Pourquoi est-il indispensable que la résistance R_V et la prise de tension vers la voie 2 soient complètement à droite sur le circuit ? Pourrait-on encore faire une mesure de u_{RV} en intervertissant les positions de C et R_V dans le circuit ? Pourquoi ?
3. Effectuer, grâce à la méthode de l'ellipse et aux réponses à la partie I.2.3. un mesurage de f_0 issu d'un encadrement. Le résultat du mesurage est-il compatible avec la valeur de référence issue des données de l'énoncé ?

Décrire dans le compte-rendu le protocole de la « méthode de l'ellipse » et justifier son utilisation pour déterminer f_0.

4. Pour différentes valeurs de $f \in [0\ ; 5000\,\text{Hz}]$, dont au moins une à f_0, mesurer simultanément :
   — U_{RV}, valeur efficace de u_{RV} image de i, grâce à un voltmètre placé aux bornes de R_V. En déduire I, valeur efficace de l'intensité du courant i puis i_m amplitude de i,
   — Δt, décalage temporel entre $u_{RV}(t)$ et $e(t)$, grâce à l'oscilloscope.
   — L'avance ou le retard de $u_{RV}(t)$ par rapport $e(t)$ toujours grâce à l'oscilloscope.
   — Déduire des deux dernières mesures la valeur et le signe Φ, différence de phase entre l'intensité du courant et la tension du générateur.

   On pourra choisir, entre autres et pas exclusivement, des fréquences de façon à visualiser le pic de résonance et la bande passante. Les fréquences délimitant la bande passante sont repérées par le fait que l'amplitude de l'intensité du courant y est égale à l'amplitude maximale divisée par $\sqrt{2}$.

f(Hz)									
U_{RV}									
I									
i_m									
Δt									
Signe de Φ									
Φ									

5. Tracer les courbes $i_m = g(f)$ et $\Phi = h(f)$ **sur papier millimétré**.
6. Grâce à la courbe $i_m = g(f)$ mesurer la fréquence de résonance f_0 et la largeur de bande passante Δf. On fera apparaître explicitement sur la courbe le tracé permettant de mesurer la bande-passante. Vérifier la cohérence entre la valeur maximale de i_m trouvée grâce à la courbe et celle qu'on peut déduire du II.1).
7. Grâce à la courbe $\Phi = h(f)$ mesurer la fréquence de résonance f_0.
8. En déduire une valeur expérimentale de Q sachant que : $Q = \frac{\omega_0}{\Delta\omega} = \frac{f_0}{\Delta f}$.
9. Comparer les grandeurs expérimentales graphiques de Q, f_0 et Δf aux valeurs attendues d'après les caractéristiques nominales R, L et C du circuit.