

Objectifs :

- Visualiser les résonances en tension et en courant dans un circuit RLC série
- Étudier l'influence du facteur de qualité sur leurs caractéristiques

On produira un schéma électrique pour chaque manipulation décrite. On observera simultanément le signal exciteur et la réponse étudiée à l'oscilloscope.

Matériel :

- générateur basse-fréquence
- multimètre numérique
- oscilloscope
- logiciel *Oscillo5* et carte d'acquisition *Sysam*

Capacités mises en œuvre :

- ☐ Mettre en œuvre une méthode de mesure de fréquence ou de période.
- ☐ Reconnaître une avance ou un retard de phase.
- ☐ Repérer précisément le passage par un déphasage de 0 ou π en mode XY.
- ☐ Définir la nature de la mesure effectuée (valeur efficace, valeur moyenne, amplitude, valeur crête à crête, etc.).
- ☐ Gérer, dans un circuit électronique, les contraintes liées à la liaison entre les masses.

I Multimètre en régime variable

Le multimètre permet de mesurer la valeur efficace d'un signal variable en utilisant les sélecteurs **ACV** (pour la tension) et **ACI** (pour l'intensité). Pour que les mesures soient fiables, la fréquence du signal doit être :

- supérieure à quelques Hz,
- inférieure à quelques dizaines de kHz.

I.1 Valeurs moyennes

Pour un signal $y(t)$ périodique de période T , on définit la valeur moyenne $\langle y \rangle = \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} y(t) dt$ (indépendante de t_0) et la valeur efficace $Y_{\text{eff}} = \sqrt{\langle y^2 \rangle}$. Le multimètre affiche l'une ou l'autre de ces grandeurs suivant les réglages :

continu DCV ou DCI : il affiche $\langle y \rangle$

alternatif ACV + DCV ou ACI + DCI : il affiche Y_{eff} , c'est le mode *TrueRMS*

alternatif ACV ou ACI seul : il affiche la valeur efficace de la composante variable du signal, ie $\sqrt{\langle (y - \langle y \rangle)^2 \rangle}$.

Les voies de l'oscilloscope possèdent également deux modes d'acquisition du signal, sélectionnables par le menu qui s'affiche quand on active une voie, **1** ou **2**.

couplage DC Le signal affiché sur l'écran est directement la tension aux bornes de la voie : on l'utilisera pour suivre fidèlement un signal évoluant lentement ou dont la composante continue est importante.

couplage AC UN filtre passe-haut supprime les composantes très basses fréquences du signal, et en particulier la composante continue, avant de l'afficher à l'écran : on l'utilisera pour observer une composante variable de faible amplitude si le signal comporte une composante continue qui la masque. Attention, il déforme les signaux lents.

Manipulations :

- produire avec le **GBF** une tension crête à crête $u(t)$ variant entre $-1,0\text{ V}$ et $5,0\text{ V}$ (contrôler à l'oscilloscope).
- mesurer au multimètre les grandeurs $\langle u \rangle$, $\sqrt{\langle u^2 \rangle}$ et $\sqrt{\langle (u - \langle u \rangle)^2 \rangle}$.
- comparer avec les mesures automatiques de l'oscilloscope.

Questions :

- ∇ Vérifier que pour toute fonction périodique : $\langle (y - \langle y \rangle)^2 \rangle = \langle y^2 \rangle - \langle y \rangle^2$.
- ∇ Quelles sont les valeurs efficaces d'un signal sinusoïdal et d'un crête à crête variant entre V_{min} et V_{max} . Comparer aux valeurs relevées.
- L'oscilloscope est-il « TrueRMS » ?
- Qu'indiquera cependant la mesure « V_{rms} » avec le filtre d'entrée **AC** ?

I.2 Valeur en dB ☺

En mode **dB**, le multimètre compare la valeur efficace U_{eff} du signal à une valeur interne de référence U_{ref} ; il affiche $20\log U_{\text{eff}}/U_{\text{ref}}$.

Manipulations :

- produire avec le **GBF** (et vérifier avec l'oscilloscope) une tension sinusoïdale de valeur efficace $U_{\text{ref}} = 1,000\text{V}$,
- passer en mode **dB** et régler la valeur de référence avec le bouton **dBm**
- produire avec le **GBF** (et vérifier avec l'oscilloscope) une tension sinusoïdale de valeur efficace $U_1 = 0,707\text{V}$. On note $U_{\text{dB}1}$ la valeur affichée,
- relever la valeur affichée par le multimètre en mode **dB**.

Questions :

Vérifier qu'on a $U_{\text{dB}1} = 20\log(U_1/U_{\text{ref}})$.

II Résonances de circuits RLC

II.1 Rappels sur le RLC série

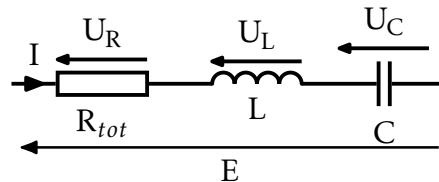
On considère un dipôle RLC série en régime sinusoïdal établi, sa résistance totale est notée R_{tot} . On rappelle que :

- sa fréquence propre est $f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$,
- son facteur de qualité est $Q = \frac{1}{R}\sqrt{\frac{L}{C}}$.
- l'impédance \underline{Z} totale du dipôle peut se mettre sous la forme :

$$\underline{Z} = R_{\text{tot}} \left(1 + jQ \left(\frac{f}{f_0} - \frac{f_0}{f} \right) \right)$$

résonance en courant

- Pour quelle valeur de la pulsation l'intensité efficace du courant est-elle maximale ? Exprimer ce maximum en fonction de E et R_{tot} .
- Quelle est alors la phase de la tension E par rapport au courant ?
- Déterminer les valeurs f_1 et f_2 pour lesquelles $I = I_{\text{max}}/\sqrt{2}$, ie $I_{\text{dBmax}} - I_{\text{dB}} = 3\text{dB}$ en notant I_{dB} la valeur affichée par l'ampèremètre en mode **dB**. Que vaut alors la phase φ de E par rapport à I .



- On définit la finesse $\mathcal{F} = f_0/(f_2 - f_1)$. Vérifier qu'on a $\mathcal{F} = Q$.

Illustrer ces résultats par la représentation de Fresnel de \underline{Z} .

résonance en charge

- Pour quelles valeurs de Q la tension efficace aux bornes du condensateur admet-elle un maximum pour $f > 0$? Traduire cette condition par une condition sur la résistance R_{tot} .
- Vérifier que quand il y a résonance, ce maximum vaut :

$$U_{C\text{max}} = \frac{QE}{\sqrt{1 - \frac{1}{4Q^2}}},$$

Justifier qu'on parle alors de *surtension*.

II.2 Caractéristiques du circuit

Manipulations :

- Réaliser un montage permettant d'observer les variations de l'intensité efficace dans un circuit RLC série en fonction de la fréquence du signal sinusoïdal qui l'alimente. On observera en même temps la tension excitatrice e et l'intensité i .
- Déterminer, en mode **XY** la valeur de la fréquence f pour laquelle e et i sont en phase. Mesurer la valeur I_{max} alors atteinte.
- Mesurer les valeurs f_1 et f_2 pour lesquelles $I = I_{\text{max}}/\sqrt{2}$ l'aide du multimètre en mode **dB** ainsi que la phase φ de E par rapport à I en ces points.

Questions :

- Justifier les valeurs de la phase en $f = f_{1,2}$ (fréquences de coupure) en considérant \underline{Z}
- Calculer la finesse $\frac{f_0}{|f_2 - f_1|}$ et comparer à la valeur attendue.
- Quelles résistances doivent être prises en compte pour le calcul de R_{tot} , hormis R ?
- Que doit vérifier R pour que Y_1 représente bien la tension excitatrice du **GBF** (considérer sa résistance interne) ?

II.3 Utilisation du logiciel Oscillo5

Le logiciel Oscillo5 et la carte d'acquisition Sysam permettent de tracer de manière autonome et point par point les courbes de résonance, représentant le module de la fonction de transfert ou son gain en **dB** en fonction de la fréquence du signal exciteur.

Manipulations :

- La sortie analogique SA1 jouera le rôle du **GBF** : elle produit le signal d'entrée E , aux bornes de l'ensemble du dipôle **RLC**. On devra également brancher cette même sortie analogique sur l'entrée analogique EA0.
- La tension en sortie (U_R ou U_C) sera envoyée sur l'entrée analogique EA1. La fonction de transfert sera alors le quotient des signaux EA1 et EA0.
- Configurer ensuite les paramètres de Oscillo5 comme suit :
 - MODE** : Bode, Gain
 - FREQUENCE** : Linéaire
 - ENTREE** : EA0
 - Régler les entrées EA0 et EA1 sur Active

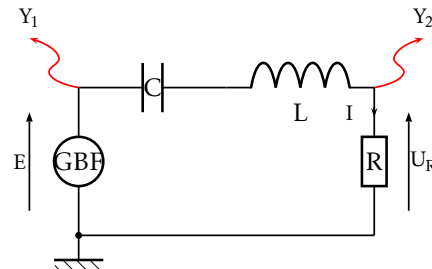
On réglera le paramètre **DIAGRAMME DU GAIN** sur dB ou $|H|$ selon les cas.

Exploitation :

On superposera (en réglant les paramètres de **EFFACEMENT ACQUISITIONS PRÉCÉDENTES**) les courbes correspondant à différents facteurs de qualité pour un même circuit et on les imprimera en utilisant : **MESURES** Mémoriser puis Exploiter.

II.4 Résonance en courant**Manipulations :**

- Réaliser le montage ci-contre, le GBF sera cette fois-ci la sortie analogique de la carte **Sysam**, les points Y_1 et Y_2 seront connectés à ses entrées analogiques 0 et 1
- Acquérir et superposer à l'aide du logiciel Oscillo5, les courbes représentant la réponse en courant $|U_R/E|$ en fonction de la fréquence f ($f \in [0; 20]$ kHz) pour $R = 600\Omega$, $R = 200\Omega$ et $R = 50\Omega$.

**Questions :**

- La fréquence de résonance f_0 varie-t-elle avec Q ?
- Relever, en utilisant le mode dB, les fréquences f_1 et f_2 de coupure, ie celles pour lesquelles $G_{dB} = G_{dBmax} - 3$.

- En déduire la finesse $\mathcal{F} = f_0 / (|f_2 - f_1|)$, étudier sa variation avec Q et comparer avec la loi attendue.
- Quel est le facteur de qualité maximal réalisable avec ce circuit (on considérera les résistances des appareils utilisés) ?

II.5 Résonance en charge**Manipulations :**

- Adapter le montage pour étudier la résonance en charge ie les variations de la tension u_C avec la fréquence
- Acquérir comme précédemment la tension efficace U_C aux bornes du condensateur en fonction de la fréquence f du **GBF** pour $R = 0; 100; 1k\Omega$. On veillera à déterminer précisément la fréquence de résonance et les fréquences de coupure et on superposera les différentes courbes.

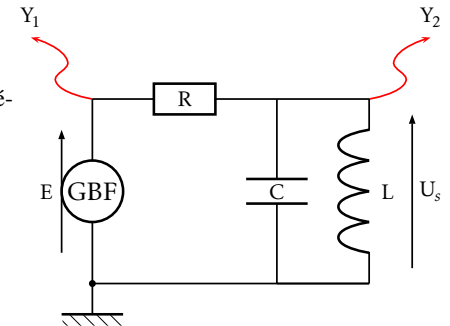
Questions :

- La fréquence de résonance varie-t-elle avec Q ? On pourra chercher seulement la fréquence de résonance pour d'autres valeurs de R .

II.6 Circuit bouchon

On considère le circuit représenté ci-contre dont les éléments sont considérés idéaux. Montrer qu'on a :

$$\frac{U_s}{E} = \frac{1}{1 + jQ\left(\frac{f}{f_0} - \frac{f_0}{f}\right)} \quad \text{avec : } \begin{cases} f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \\ Q = R\sqrt{\frac{C}{L}} \end{cases}$$

**Questions :**

- Comparer les variations de Q avec R au cas du circuit RLC série pour lequel $Q_{série} = \frac{1}{R}\sqrt{\frac{L}{C}}$.
- Calculer l'impédance du dipôle RLC ainsi constitué. Que vaut-elle pour $f = f_0$?
- En déduire que ce circuit permet simultanément d'avoir un facteur de qualité élevé et une forte impédance d'entrée. Comment doit-on choisir R ?

- Comparer au cas du RLC série.

Manipulations :

- Acquérir, à l'aide du logiciel *Oscillo5*, les courbes représentant la tension efficace U_s en fonction de la fréquence f ($f \in [0; 20]$ kHz) pour $R = 100\text{ k}\Omega$ et $R = 1\text{ k}\Omega$.

Exploitation :

- Vérifier qu'ici la finesse est d'autant meilleure que R est élevée ainsi que les valeurs de Q en fonction des paramètres du circuit (comme pour le RLC série, on a $\mathcal{F} = Q$).
- À votre avis, quelle est la résistance non considérée dans le modèle qui limite cette finesse ? Vérifier l'accord avec la valeur de la finesse mesurée.