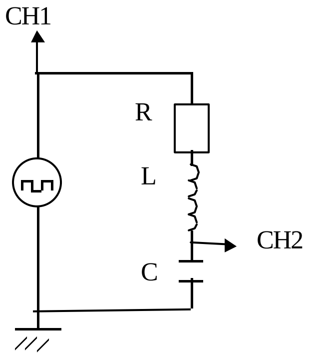
TP N° 6 : DIPOLE (R,L,C) SERIE EN REGIME TRANSITOIRE

I. Schéma du montage.

On s'intéresse aux charges et décharges d'un condensateur dans un circuit (R,L,C) série alimenté par un G.B.F. délivrant un signal rectangulaire de période T_{GBF} , de fréquence $f_{GBF} = 1 / T_{GBF}$, de tension $e(t) = (0 ; E)$ (réglage de l'offset).
On visualise simultanément à l'oscilloscope la tension u aux bornes du G.B.F. et la tension u_c aux bornes du condensateur.



II. Etude théorique.

On étudie une décharge ($e(t) = 0$)). L'étude d'une charge ($e(t) = E$)) s'effectuant de façon analogue.
Dans ce paragraphe on notera R la résistance totale (tenant compte du conducteur ohmique et de la bobine).

1. On rappelle que l'équation différentielle d'une décharge s'écrit :
$d^2u_c/dt^2 + \omega_0 / Q \; du_c/dt + \omega_0^2 \; u_c = 0$
la pulsation propre ω_0 et le facteur de qualité Q étant définis par : $\omega_0 = 1 / \sqrt{LC}$ et $Q = L \omega_0 / R$.

2. On en déduit que :

- si $Q < 0,5$ la décharge est non oscillante, apériodique :

$u_c = \exp\left(-\frac{\omega_0}{2Q} t\right) \left(A \operatorname{ch}\left(\omega_0\sqrt{1/4Q^2 - 1} \cdot t\right) + B \operatorname{sh}\left(\omega_0\sqrt{1/4Q^2 - 1} \cdot t\right)\right)$

- si $Q = 0,5$ la décharge est non oscillante, critique :

$u_c = \exp\left(-\frac{\omega_0}{2Q} t\right) (A\, t + B)$

- si $Q > 0,5$ la décharge est oscillante pseudopériodique :

$u_c = \exp\left(-\frac{\omega_0}{2Q} t\right) \left(A \cos\left(\omega_0\sqrt{1 - 1/4Q^2} \cdot t\right) + B \sin\left(\omega_0\sqrt{1 - 1/4Q^2} \cdot t\right)\right)$

de pseudopériode $T = T_0 / \sqrt{1 - 1/4Q^2} \approx T_0$ (avec $T_0 = 2\pi / \omega_0$: période propre) si Q est grand (amortissement faible) .

3. Dans le cas du régime pseudopériodique montrer que : $u_c(t + Q\,T) / u_c(t) \approx \exp(-\pi) \approx 0$, en déduire que **le facteur de qualité donne l'ordre de grandeur du nombre d'oscillations non négligeables observables lors d'une demi-période $T_{GBF}/2$.**

4. On rappelle les relations utiles pour le circuit (R,L,C) série : $f_0 = 1 / T_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$; $Q = \frac{L\omega_0}{R} = \frac{1}{RC\omega_0} = \frac{1}{R}\sqrt{\frac{L}{C}}$.
Avec les constantes de temps du dipôle (R,C) : $\tau_c = R\,C$; du dipôle (R,L) : $\tau_L = L / R$;
on pose pour le dipôle (R,L,C) série : $\tau_0 = \sqrt{\tau_L \tau_C} = \sqrt{LC} = 1 / \omega_0$ ainsi : $Q = \tau_L / \tau_0 = \tau_0 / \tau_c$.

III. Choix des paramètres.

On désire visualiser tout d'abord un régime pseudopériodique de facteur de qualité proche de 6 , la fréquence propre de l'oscillateur étant fixée à 5 kHz et l'inductance de la bobine à 100 mH . La bobine est une bobine torique (boîte bleue), mesurer sa résistance r à l'ohmmètre (celle-ci est relativement élevée ce qui nuira à l'amélioration du facteur de qualité ; on aurait pu prendre une bobine solénoïde, de résistance plus faible, mais on aurait été gêné par le champ renvoyé (voir le cours de magnétostatique)).

Evaluer les valeurs de C et de $R_{tot} = R + r$ ainsi définies. En déduire la valeur de R .

Réaliser le montage et choisir la fréquence du G.B.F. pour observer 5 à 6 oscillations sur une demi-période (voir I. 3.).

IV. Visualisation des différents régimes.

- $\boxed{Q > 0,5}$ Fixer $R = 0 \Rightarrow R_{tot} = r \Rightarrow Q >> 1 \Rightarrow \tau_C << \tau_0 << \tau_L$: l'effet de la bobine est prépondérant.
Enregistrer l'oscillogramme sous Synchronie (voir annexe TP5).

- $\boxed{Q = 0,5}$ Rechercher la valeur de R qui permette le retour le plus rapide à la position d'équilibre sans oscillations (régime critique). Comparer la valeur de R_{tot} ainsi obtenue à la valeur que vous calculerez théoriquement (noter que la résistance de la bobine varie avec la fréquence, or elle a été mesurée à l'ohmmètre, donc en courant continu...).
Enregistrer l'oscillogramme sous Synchronie tout en sauvegardant l'oscillogramme précédent (voir annexe TP5).

- $\boxed{Q < 0,5}$ Fixer $R \approx R_{tot} = 10\ k\Omega \Rightarrow Q << 1 \Rightarrow \tau_C >> \tau_0 >> \tau_L$: l'effet du condensateur est prépondérant.
Enregistrer l'oscillogramme sous Synchronie tout en sauvegardant les oscillogrammes précédents.
Remarquer que l'oscillogramme est identique à celui obtenu lors de l'étude du dipôle (R,C).
Remarquer donc que si R augmente encore, le condensateur n'a plus le temps de se charger ni de se décharger.

Donner un titre à chaque oscillogramme et imprimer avec la mosaïque adéquate les trois fenêtres précédentes.

V. Portrait de phase.

1. Théorie.

Les portraits de phase seront étudiés plus en détail dans le cours de mécanique. Voici un aperçu.

- Considérons un oscillateur électrique libre non amorti (c'est le cas précédent idéalisé par $R_{tot} = 0$).

L'équation différentielle d'une décharge s'écrit : $d^2u_c/dt^2 + \omega_0^2\ u_c = 0$.

Sa solution, si les conditions initiales sont $u_{c,0} = E$ et $(d\,u_c/dt)_0 = 0$, est : $u_c = E \cos \omega_0 t \Rightarrow d\,u_c/dt = -\,\omega_0 E \sin \omega_0 t$.

Les équations : $\left| \begin{array}{l} x = u_c = E \cos \omega_0 t \\ y = 1 / \omega_0 \,.\, d\,u_c/dt = -\,E \sin \omega_0 t \end{array} \right.$ déterminent le portrait de phase de l'oscillateur (figure 1 ci-dessous).

Il s'agit d'un cercle parcouru dans le sens rétrograde à partir de A_0 .

Montrer que pour un point A quelconque, la norme du vecteur tournant $\overrightarrow{OA}$ vérifie $OA^2 = 2\ W_{tot} / C$ où W_{tot} est l'énergie électromagnétique totale emmagasinée par le condensateur et la bobine.
Le fait que le portrait de phase soit un cercle confirme le fait que l'oscillateur est non amorti (W_{tot} = constante).

- Si l'oscillateur est peu amorti, la décharge est un retour oscillant vers la position d'équilibre (x = 0, y = 0), le portrait de phase est une spirale de centre attracteur la position d'équilibre (figure 2 ci-dessous).

- En réalité, on obtient un portrait de phase, pour tout oscillateur libre, dès que l'on porte en abscisse une grandeur oscillante (proportionnelle à la charge en électricité ou à l'élongation en mécanique), et en ordonnée une grandeur proportionnelle à la dérivée de cette dernière (l'intensité en électricité, la vitesse en mécanique) :c'est une ellipse si l'oscillateur est non amorti (figure 3 ci-dessous),
si l'oscillateur est amorti on observe un retour vers le centre attracteur avec oscillations si l'amortissement est faible (le portrait de phase est alors une spirale) (figure 4 ci-dessous) ou sans oscillations si l'amortissement est fort (figure 5 ci-dessous).

2. Expérience.

a) Proposer un montage pour pouvoir visualiser à l'oscilloscope u_R en fonction de u_c (**ne pas oublier la sonde différentielle**). Réaliser ce montage en reprenant les valeurs du III. Interpréter l'oscillogramme obtenu (vérifier en particulier que les deux centres attracteurs correspondent à 0 et E). Reproduire l'allure de l'oscillogramme sur la copie.

b) Centrer l'une des deux spirales au centre de l'écran et augmenter R pour déterminer le régime critique (en l'absence d'oscillations u_c garde toujours le même signe et reste donc dans une même moitié de l'écran). Reproduire l'allure de l'oscillogramme sur la copie.

Figure 1

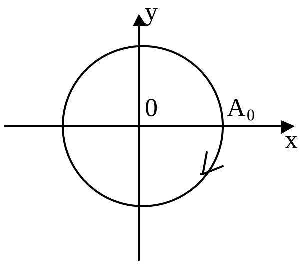


Figure 2

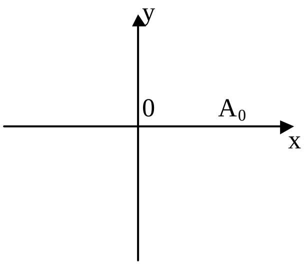


Figure 3

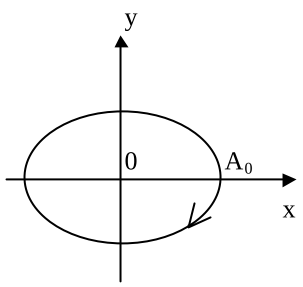


Figure 4

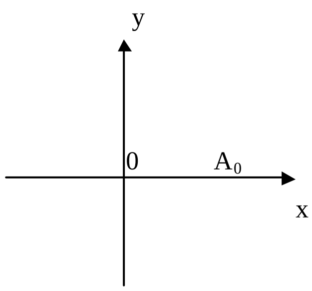


Figure 5