Oscillateur électrique

Bac S 2005 Liban (ancien programme) · Exercice 3 **5 points** **Durée conseillée 1 h 05**

1 Partie A. Compléter le schéma du montage (figure 1) : symboles du condensateur et du conducteur ohmique, flèches des tensions visualisées sur les voies A et B.

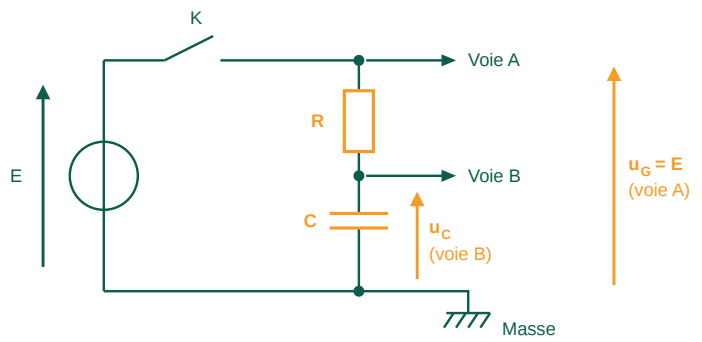
La voie B et la masse doivent encadrer le condensateur : il se place donc entre le point relié à la voie B et la masse. Le conducteur ohmique occupe l'autre emplacement, entre la voie A et la voie B.

Une voie mesure la tension entre son point de branchement et la masse ; la flèche part de la masse et pointe vers la voie :

- voie A : tension $u_G = E$ aux bornes du générateur (interrupteur fermé) ;
- voie B : tension u_C aux bornes du condensateur.

Conducteur ohmique entre les voies A et B, condensateur entre la voie B et la masse (voir figure).

PIÈGE
Inverser les deux dipôles : la voie B afficherait alors la tension aux bornes du conducteur ohmique, et non u_C. La pointe de chaque flèche de tension est du côté de la voie, jamais du côté de la masse.



1 · Figure 1 complétée : dipôles et tensions visualisées (en orange)

2 Partie A. a) Attribuer chaque courbe de la figure 2 à une voie, en justifiant. b) Déterminer E. c) Exprimer la constante de temps τ du dipôle (R, C) et montrer qu'elle a la dimension d'un temps. d) Déterminer τ sur l'oscillogramme en expliquant la méthode.

Données utiles sensibilité verticale : 2 V/div ; base de temps : 0,5 ms/div

a) À la fermeture de K, la tension aux bornes du générateur passe instantanément de 0 à E : c'est l'échelon de la courbe 2, donc la voie A. La tension u_C ne peut pas varier brutalement : elle croît progressivement jusqu'à E pendant la charge. C'est la courbe 1, donc la voie B.

b) Sur la courbe 2, l'échelon a une hauteur de 2,5 divisions :

$E = 2{,}5 \times 2 = 5\ \text{V}$

c) $\tau = RC$.

Loi d'Ohm $u = Ri$: $[R] = \dfrac{[U]}{[I]}$. Avec $q = Cu$ et $i = \dfrac{\mathrm{d}q}{\mathrm{d}t}$: $[C] = \dfrac{[Q]}{[U]} = \dfrac{[I]\,[T]}{[U]}$.

$$[\tau] = [R]\,[C] = \frac{[U]}{[I]} \times \frac{[I]\,[T]}{[U]} = [T]$$

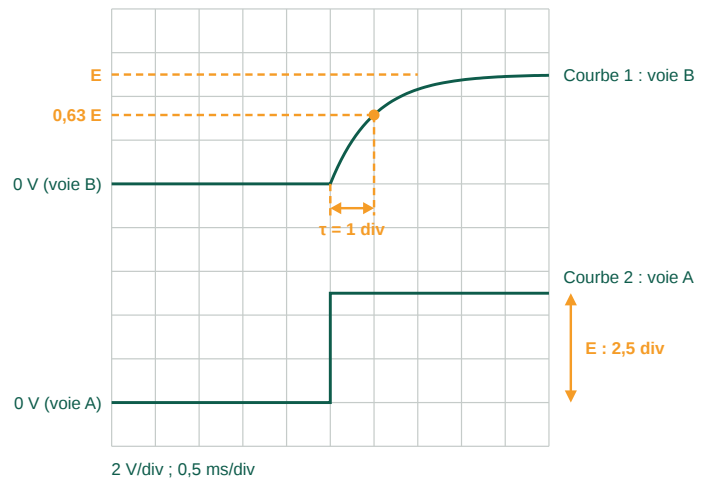
τ a bien la dimension d'un temps.

d) À la date $t = \tau$ après la fermeture, $u_C = 0{,}63\,E = 0{,}63 \times 5 \approx 3{,}2$ V, soit 1,6 division au-dessus du niveau zéro de la courbe 1. La courbe 1 atteint cette hauteur 1 division après le début de la charge :

$\tau = 1 \times 0{,}5 = 0{,}5\ \text{ms}$

Vérification : la charge est pratiquement terminée 5 divisions après la fermeture, ce qui correspond bien à $5\,\tau$.

Courbe 1 : voie B ; courbe 2 : voie A ; $E = 5$ V ; $\tau = RC \approx 0{,}5$ ms



2 · Figure 2 exploitée : lecture de E et de τ

PIÈGE
Chaque voie a son propre niveau zéro : les hauteurs se comptent à partir du palier initial de la courbe, pas à partir du bas de l'écran. Le temps se compte depuis la fermeture de K, pas depuis le bord gauche.

COMPRENDRE
Une lecture d'écran à une demi-division près ne justifie qu'un seul chiffre significatif pour E et pour τ. La tangente à l'origine, qui coupe l'asymptote $u_C = E$ à $t = \tau$, donnerait la même valeur, avec un tracé plus délicat.

MÉTHODE
Analyse dimensionnelle : remplacer chaque grandeur par une relation simple du cours ($u = Ri$, $q = Cu$, $i = \mathrm{d}q/\mathrm{d}t$), puis simplifier le quotient jusqu'à ne garder que des dimensions de base.

1 Partie B. Établir l'équation différentielle vérifiée par la tension u_C aux bornes du condensateur après la fermeture de l'interrupteur K.

Données utiles bobine d'inductance L, de résistance négligeable ; résistance totale du circuit négligeable

On oriente le circuit de sorte que le condensateur et la bobine soient en convention récepteur (voir figure).

Loi des mailles : $u_C + u_L = 0$.

Bobine idéale : $u_L = L\,\dfrac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t}$. Condensateur : $i = \dfrac{\mathrm{d}q}{\mathrm{d}t} = C\,\dfrac{\mathrm{d}u_C}{\mathrm{d}t}$, donc $\dfrac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t} = C\,\dfrac{\mathrm{d}^2u_C}{\mathrm{d}t^2}$.

En remplaçant : $u_C + L\,C\,\dfrac{\mathrm{d}^2u_C}{\mathrm{d}t^2} = 0$.

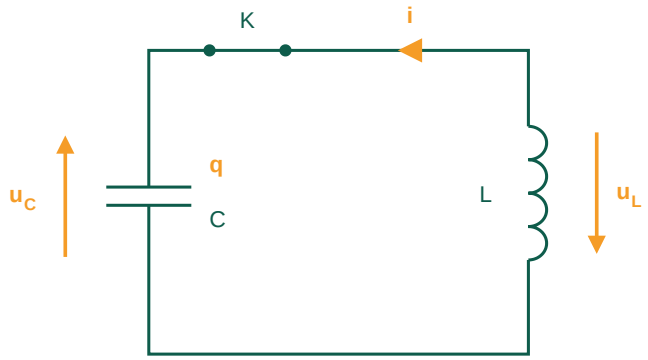
$$\frac{\mathrm{d}^2u_C}{\mathrm{d}t^2} + \frac{1}{L\,C}\,u_C = 0$$

PIÈGE

Les relations $i = C\,\dfrac{\mathrm{d}u_C}{\mathrm{d}t}$ et $u_L = L\,\dfrac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t}$ supposent la convention récepteur. Avec une flèche de tension dans le même sens que i, un signe « moins » apparaît et l'équation devient fausse.

COMPRENDRE

La bobine et les oscillations électriques ne figurent plus au programme actuel de spécialité. La partie A (charge d'un condensateur, circuit RC) reste, elle, au programme.



1 · Circuit orienté : condensateur et bobine en convention récepteur

2 Partie B. a) Représenter sur la figure 3 l'allure de $u_C(t)$. b) Avec $C' = 4\,C$ et la même bobine, exprimer la nouvelle période propre T_0' en fonction de T_0. c) Donner les expressions des énergies emmagasinées par le condensateur et par la bobine ; laquelle est nulle à $t = 0$? À quelle date l'autre s'annule-t-elle pour la première fois ?

Données utiles $T_0 = 2\pi\sqrt{L\,C} = 4{,}0 \times 10^{-3}$ s ; $u_C(0) = 5{,}0$ V

a) La résistance étant négligeable, les oscillations sont sinusoïdales et non amorties : u_C varie entre $+5{,}0$ V et $-5{,}0$ V avec la période $T_0 = 4{,}0$ ms. La courbe part de $5{,}0$ V à $t = 0$ avec une tangente horizontale, s'annule à 1 ms, vaut $-5{,}0$ V à 2 ms et retrouve $5{,}0$ V à 4 ms. L'écran montre 2,5 périodes.

b) $T_0' = 2\pi\sqrt{L\,C'} = 2\pi\sqrt{4\,L\,C} = 2 \times 2\pi\sqrt{L\,C}$, soit $T_0' = 2\,T_0$.

c) Condensateur : $E_C = \dfrac{1}{2}\,C\,u_C^2$. Bobine : $E_L = \dfrac{1}{2}\,L\,i^2$.

À $t = 0$, le courant est nul : il l'était avant la fermeture de K et la bobine empêche toute variation brutale de i. Donc $E_L(0) = 0$: c'est l'énergie de la bobine qui est nulle.

E_C s'annule quand $u_C = 0$, pour la première fois au bout d'un quart de période :

$$t = \frac{T_0}{4} = \frac{4{,}0}{4} = 1{,}0 \text{ ms}$$

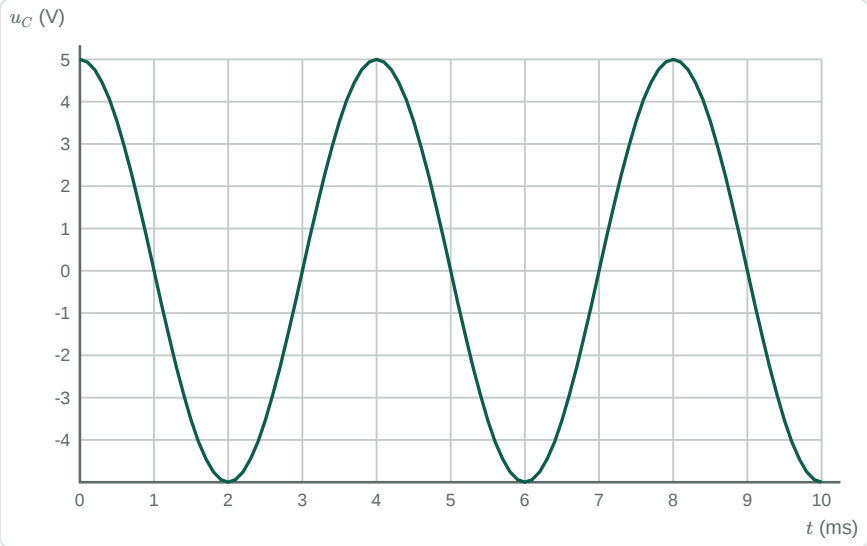
$T_0' = 2\,T_0$; $E_L = 0$ à $t = 0$; $E_C = 0$ pour la première fois à $t = \dfrac{T_0}{4} = 1{,}0$ ms

PIÈGE

Tracer une sinusoïde qui part de 0, ou une courbe amortie. Pour T_0', la capacité est sous la racine : la multiplier par 4 double la période, elle ne la quadruple pas.

COMPRENDRE

Autre justification de $i(0) = 0$: $i = C\,\dfrac{\mathrm{d}u_C}{\mathrm{d}t}$ est proportionnelle à la pente de la courbe, et la tangente est horizontale à $t = 0$. À $T_0/4$, toute l'énergie est passée dans la bobine.



2 · Figure 3 complétée : oscillations sinusoïdales non amorties, $T_0 = 4{,}0$ ms

3 Partie B. La résistance totale du circuit est en réalité faible mais non négligeable. a) Quelle conséquence énergétique ? Justifier. b) Comment qualifie-t-on ce régime ?

a) À chaque échange entre le condensateur et la bobine, le courant traverse la résistance du circuit : une partie de l'énergie est dissipée par effet Joule, sous forme de transfert thermique. L'énergie totale $E_C + E_L$ du circuit diminue donc au cours du temps.

b) L'amplitude des oscillations de u_C décroît progressivement : les oscillations sont amorties. Le régime est dit pseudo-périodique.

Énergie totale décroissante (effet Joule) ; régime pseudo-périodique.

COMPRENDRE

On parle de pseudo-période car la courbe ne se répète plus à l'identique. Pour un amortissement faible, cette pseudo-période reste très proche de T_0.