Un réveil en douceur

Bac S 2008 Métropole (ancien programme) · Exercice 4 **5,5 points** **Durée conseillée 1 h 05**

1.1 À la fermeture de K, quelle lampe s'allume la première ? Pourquoi l'autre s'allume-t-elle avec retard ?

La lampe (L_1), en série avec le conducteur ohmique, brille immédiatement.

La lampe (L_2) est en série avec la bobine : celle-ci s'oppose à la variation de l'intensité du courant qui la traverse, donc le courant s'installe progressivement dans cette branche.

(L_1) s'allume la première ; (L_2) est retardée par la bobine, qui freine l'établissement du courant.

PIÈGE
Écrire que la bobine « bloque » le courant. Elle ne fait que retarder son établissement : l'intensité part de zéro et augmente de façon continue.

COMPRENDRE
La bobine et les circuits RL ou RLC ne figurent plus au programme actuel de spécialité. L'exercice reste un bon entraînement : régime transitoire, constante de temps, analyse dimensionnelle, puissance.

1.2 Nommer les deux régimes observés successivement pour le courant dans la branche contenant la bobine.

D'abord le **régime transitoire** : l'intensité augmente.

Ensuite le **régime permanent** : l'intensité garde une valeur constante.

Régime transitoire, puis régime permanent.

1.3 Que peut-on dire de la luminosité des deux lampes en fin d'expérience ? Justifier.

Données utiles $r = R_1 = 7\ \Omega$; lampes identiques

En fin d'expérience le régime permanent est atteint : i est constante, donc $\dfrac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t} = 0$.

La tension aux bornes de la bobine, $u_L = r\,i + L\dfrac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t}$, se réduit à $u_L = r\,i$: la bobine se comporte comme un conducteur ohmique de résistance r.

Les deux branches, soumises à la même tension E_1, ont alors la même résistance ($R_1 + R_{\text{lampe}} = r + R_{\text{lampe}}$) : elles sont parcourues par la même intensité.

Les deux lampes brillent de la même façon.

MÉTHODE
En régime permanent continu, remplacer mentalement toute bobine par sa seule résistance r (un simple fil si elle est idéale), puis raisonner comme avec des conducteurs ohmiques.

1.4.1 Exprimer la constante de temps τ en fonction de L et de R.

$$\tau = \frac{L}{R}$$

PIÈGE
Confondre avec le circuit RC, où $\tau = RC$. Ici la résistance est au dénominateur : plus elle est grande, plus le courant s'établit vite.

1.4.2 Vérifier par analyse dimensionnelle que cette expression est homogène à un temps.

Bobine idéale : $u = L\dfrac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t}$, donc $[L] = \dfrac{[U]\cdot[T]}{[I]}$.

Loi d'Ohm : $u = Ri$, donc $[R] = \dfrac{[U]}{[I]}$.

$$\left[\frac{L}{R}\right] = \frac{[U]\cdot[T]}{[I]} \times \frac{[I]}{[U]} = [T]$$

$\dfrac{L}{R}$ a la dimension d'un temps : l'expression est homogène.

MÉTHODE
Pour la dimension d'une grandeur électrique, partir d'une relation du cours qui la contient ($u = Ri$, $u = L\,\mathrm{d}i/\mathrm{d}t$, $i = C\,\mathrm{d}u/\mathrm{d}t$) et tout ramener à $[U]$, $[I]$ et $[T]$.

1.4.3 Justifier par un calcul d'ordre de grandeur que le phénomène est détectable par un observateur.

Données utiles $L = 1$ H ; $R \approx 10\ \Omega$; durée d'établissement $\approx 5\tau$; l'œil sépare deux images distantes d'au moins $0{,}1$ s

$\tau = \dfrac{L}{R} = \dfrac{1}{10} = 0{,}1$ s

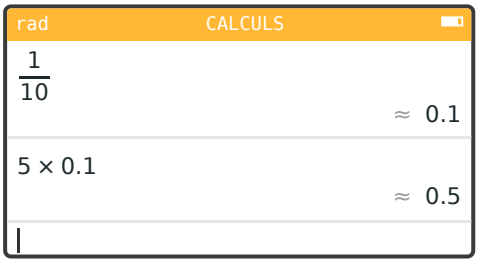
La luminosité maximale est atteinte au bout d'environ $5\tau = 5 \times 0{,}1 = 0{,}5$ s.

Cette durée dépasse $0{,}1$ s, plus petit écart de temps que l'œil distingue.

$5\tau \approx 0{,}5$ s $> 0{,}1$ s : le retard à l'allumage de (L_2) est visible à l'œil nu.

COMPRENDRE
Les données ($L = 1$ H, $R \approx 10\ \Omega$) n'ont qu'un chiffre significatif : on demande un ordre de grandeur, un seul chiffre suffit au résultat.

À LA CALCULATRICE



2.1 Comment nomme-t-on le régime correspondant à cette évolution de $u_C(t)$?

La tension oscille autour de zéro avec une amplitude qui diminue au cours du temps.

C'est le régime **pseudo-périodique**.

COMPRENDRE
Avec une résistance beaucoup plus grande, la tension reviendrait à zéro sans osciller : ce serait le régime apériodique.

2.2 Quelle est la cause, en termes d'énergie, de l'amortissement des oscillations ?

La bobine possède une résistance r. À chaque passage du courant, une partie de l'énergie électrique du circuit y est dissipée par effet Joule, sous forme de transfert thermique vers l'extérieur.

L'amortissement vient de la dissipation d'énergie par effet Joule dans la résistance r de la bobine.

2.3 Qualifier l'évolution temporelle de l'énergie totale du circuit : périodique, croissante, décroissante, sinusoïdale ?

L'énergie totale (condensateur et bobine) diminue sans cesse puisqu'elle est dissipée par effet Joule et que rien ne la renouvelle.

L'énergie totale est **décroissante** (seul adjectif à retenir).

PIÈGE
Répondre « périodique » ou « sinusoïdale ». C'est u_C qui oscille ; l'énergie totale, elle, ne remonte jamais.

2.4 Déterminer la pseudo-période T des oscillations, puis l'inductance L de la bobine.

Données utiles $C = 22\ \mu\text{F}$; $T \approx T_0 = 2\pi\sqrt{LC}$; figure 6

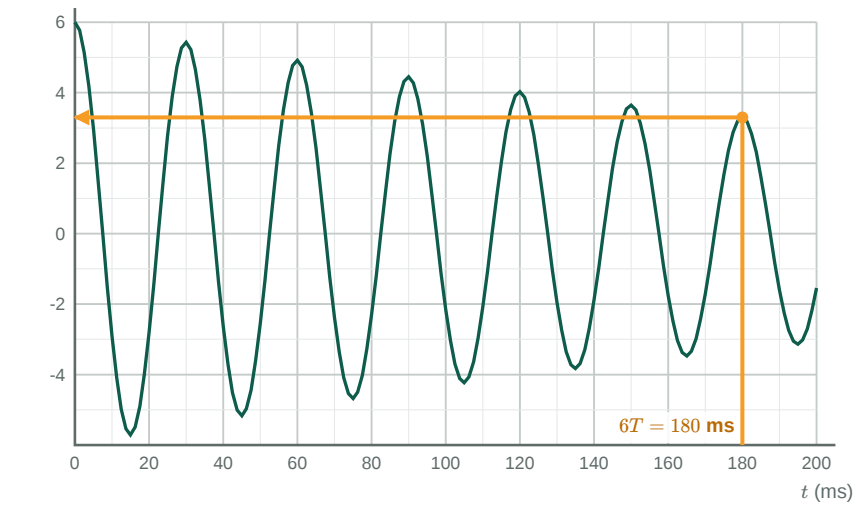
Sur la figure 6, le premier maximum est à $t = 0$ et le septième à $t = 180$ ms, soit six pseudo-périodes :

$$T = \frac{180}{6} = 30\ \text{ms} = 3{,}0 \times 10^{-2}\ \text{s}$$

L'amortissement est faible, donc $T \approx T_0 = 2\pi\sqrt{LC}$. En élevant au carré : $T^2 = 4\pi^2\, L\, C$, d'où

$$L = \frac{T^2}{4\pi^2\, C} = \frac{(3{,}0 \times 10^{-2})^2}{4\pi^2 \times 22 \times 10^{-6}} = 1{,}0\ \text{H}$$

$T = 30$ ms et $L = 1{,}0$ H

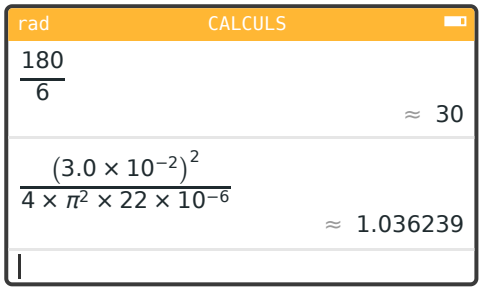


2.4 · Figure 6 du sujet : six pseudo-périodes entre le premier et le septième maximum

PIÈGE
Laisser T en millisecondes ou C en microfarads : L ne sort en henrys qu'avec T en secondes et C en farads.

MÉTHODE
Mesurer plusieurs pseudo-périodes d'un coup, puis diviser : l'erreur de lecture est répartie sur l'ensemble. Deux chiffres significatifs, comme C et la lecture de T.

À LA CALCULATRICE



2.5 La valeur de L calculée est-elle compatible avec les données du constructeur ?

Données utiles constructeur : $L = 1$ H ; $L = 1{,}0$ H (2.4)

Le constructeur annonce $L = 1$ H et la mesure donne $L = 1{,}0$ H : les deux valeurs coïncident.

Oui, la valeur mesurée est compatible avec celle du constructeur.

3.1 De quelle(s) manière(s) l'énergie électrique reçue par la lampe est-elle transférée à l'environnement ?

Le filament, porté à haute température par le passage du courant, cède son énergie à l'environnement : par **rayonnement** (lumière visible et infrarouge) ;

et par **transfert thermique** (le filament chauffe l'ampoule et l'air qui l'entoure).

Transfert par rayonnement et transfert thermique.

3.2 À quels points du circuit brancher (Y_1), (Y_2) et (M) pour enregistrer u_{R_0} et u_{BD} ?

Une voie mesure la tension entre sa borne et la masse. Les flèches de u_{R_0} et de u_{BD} partent toutes les deux de D : $u_{R_0} = u_{CD}$ et u_{BD} ont D pour point commun.

La masse (M) se branche donc en D ; une voie en C donne u_{R_0}, l'autre en B donne u_{BD}.

(M) en D ; (Y_1) en C pour u_{R_0} ; (Y_2) en B pour u_{BD}.

MÉTHODE
La masse va au point commun aux deux tensions, à la base des flèches ; chaque voie va à la pointe de la flèche de la tension à mesurer.

3.3.1 Exprimer la tension $u(t) = u_{BC}$ aux bornes de la lampe à partir de u_{R_0} et u_{BD}.

Additivité des tensions : $u_{BD} = u_{BC} + u_{CD}$, avec $u_{CD} = u_{R_0}$.

$$u(t) = u_{BC} = u_{BD} - u_{R_0}$$

3.3.2 Exprimer l'intensité $i(t)$ du courant électrique.

Loi d'Ohm pour le conducteur ohmique, traversé par i de C vers D : $u_{R_0} = R_0\, i(t)$.

$$i(t) = \frac{u_{R_0}}{R_0}$$

COMPRENDRE
Une interface ne mesure que des tensions. La tension aux bornes d'un conducteur ohmique, proportionnelle à i, sert d'image de l'intensité.

3.3.3 Exprimer la puissance électrique $p(t)$ reçue par la lampe.

$p(t) = u(t) \cdot i(t)$, avec les expressions de 3.3.1 et 3.3.2 :

$$p(t) = (u_{BD} - u_{R_0})\,\frac{u_{R_0}}{R_0}$$

3.4 Pourquoi les élèves ont-ils choisi un conducteur ohmique de résistance très faible ?

Données utiles $R_0 = 1\ \Omega$

Ce conducteur ohmique ne sert qu'à mesurer l'intensité. Plus la résistance totale du circuit est grande, plus l'intensité en régime permanent est faible, et moins la lampe brille.

Avec R_0 très faible, l'intensité est presque la même que sans lui et la puissance qu'il dissipe par effet Joule ($R_0\, i^2$) reste petite.

R_0 est faible pour perturber le moins possible le circuit : la lampe garde presque tout son éclat.

3.5 À partir de la figure 8, déterminer la durée nécessaire pour que la puissance atteigne 90 % de sa valeur maximale.

Données utiles figure 8 : palier $p_{\max} = 11{,}2$ W

Sur la figure 8, la puissance se stabilise à $p_{\max} = 11{,}2$ W.

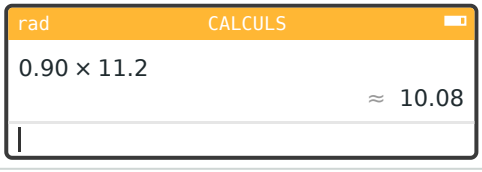
$0{,}90 \times p_{\max} = 0{,}90 \times 11{,}2 = 10{,}1$ W

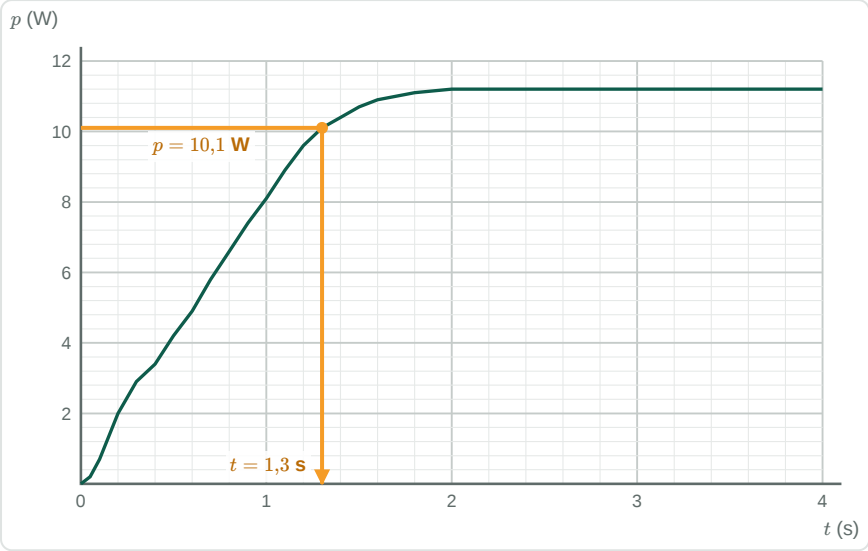
La courbe atteint cette valeur à la date $t = 1{,}3$ s.

Durée nécessaire au réveil : $\Delta t \approx 1{,}3$ s

PIÈGE
Lire la date à laquelle le palier est atteint (environ 2 s) au lieu de celle où p vaut 90 % du palier.

À LA CALCULATRICE





3.5 · Figure 8 du sujet, avec la lecture à 90 % de la puissance maximale

3.6 Cette durée convient-elle à une « lampe à diffusion douce » ? Quels paramètres modifier pour contrôler la durée du phénomène ?

Données utiles $\Delta t \approx 1{,}3$ s (3.5)

Non : la lampe atteint presque tout son éclat en à peine plus d'une seconde, ce qui est bien trop rapide pour un réveil progressif.

La durée du régime transitoire est de l'ordre de 5τ avec $\tau = \dfrac{L}{R_{\text{tot}}}$, où R_{tot} est la résistance totale du circuit. Pour l'allonger, il faut augmenter L ou diminuer R_{tot}.

Durée incompatible (trop courte) ; paramètres à régler : l'inductance L et la résistance totale du circuit.

COMPRENDRE

Pour un allumage étalé sur plusieurs minutes, il faudrait une inductance des centaines de fois plus grande : irréaliste avec une simple bobine.