Tubes fluorescents

Bac S 2012 Métropole rattrapage (ancien programme) · Exercice 2 **5,5 points** **Durée conseillée 1 h 12**

1.1 Quel phénomène électrique se produit au niveau du condensateur quand on ferme l'interrupteur K ?

Le générateur met les charges en mouvement : des électrons quittent l'armature du haut (qui porte $q > 0$) et arrivent sur celle du bas.

Le condensateur **se charge**.

COMPRENDRE
Aucun électron ne traverse l'isolant entre les armatures : le courant circule dans le reste du circuit tant que la charge n'est pas terminée.

1.2.1 Exprimer la tension $u_C(t)$ aux bornes du condensateur en fonction de la charge $q(t)$ et de la capacité C.

$$u_C(t) = \frac{q(t)}{C}$$

PIÈGE
q est la charge de l'armature vers laquelle pointe la flèche de u_C. Avec l'autre armature, un signe « $-$ » apparaîtrait.

1.2.2 Écrire la relation entre la tension $u_R(t)$, l'intensité $i(t)$ et la résistance R.

u_R et i sont fléchés en sens opposés (convention récepteur), la loi d'Ohm s'écrit :

$$u_R(t) = R\,i(t)$$

1.2.3 Donner la relation liant $i(t)$ et $q(t)$, puis en déduire la relation liant $i(t)$ et $u_C(t)$.

Le courant i arrive sur l'armature qui porte q : $i(t) = \dfrac{\mathrm{d}q}{\mathrm{d}t}$.

Avec $q = C\,u_C$ et C constante :

$$i(t) = C\,\frac{\mathrm{d}u_C}{\mathrm{d}t}$$

COMPRENDRE
L'intensité est un débit de charge : si u_C ne varie plus, le courant est nul. C'est pourquoi un condensateur chargé se comporte comme un interrupteur ouvert en régime permanent.

1.2.4 Établir l'équation différentielle régissant l'évolution de $u_C(t)$.

Loi des mailles : $E = u_R + u_C = R\,i + u_C$.

Avec $i = C\,\dfrac{\mathrm{d}u_C}{\mathrm{d}t}$ (Q1.2.3) :

$$RC\,\frac{\mathrm{d}u_C}{\mathrm{d}t} + u_C = E$$

MÉTHODE
Équation d'un circuit RC : loi des mailles, puis on remplace u_R par Ri, puis i par $C\,\mathrm{d}u_C/\mathrm{d}t$. Il ne doit rester qu'une seule fonction inconnue, u_C.

1.2.5 Vérifier que $u_C(t) = E\left(1 - \mathrm{e}^{-\frac{t}{RC}}\right)$ est solution de cette équation différentielle.

On dérive : $\dfrac{\mathrm{d}u_C}{\mathrm{d}t} = \dfrac{E}{RC}\,\mathrm{e}^{-\frac{t}{RC}}$.

On remplace dans le membre de gauche :

$$RC \times \frac{E}{RC}\,\mathrm{e}^{-\frac{t}{RC}} + E - E\,\mathrm{e}^{-\frac{t}{RC}} = E$$

Le membre de gauche est égal à E pour tout t. De plus $u_C(0) = E(1-1) = 0$: le condensateur est bien initialement déchargé.

L'expression proposée est solution de l'équation différentielle.

PIÈGE
Oublier le facteur $-\dfrac{1}{RC}$ en dérivant l'exponentielle, ou le signe : la dérivée de $-E\,\mathrm{e}^{-t/RC}$ est positive.

1.3.1 D'après l'expression de $u_C(t)$, quelle est la valeur maximale théorique que pourrait atteindre u_C ?

Données utiles $E = 100$ V

Quand $t \to +\infty$, $e^{-t/RC} \to 0$ donc $u_C \to E$; u_C croît sans jamais dépasser cette limite.

$u_{C,\max} = E = 100$ V

COMPRENDRE
Cette valeur n'est jamais atteinte ici : dès que u_C arrive à $U_a = 80$ V, le tube s'allume et la charge s'interrompt (figure 4).

1.3.2 Donner l'expression de la constante de temps τ du circuit de la figure 5 et calculer sa valeur.

Données utiles $R = 60$ kΩ ; $C = 0{,}60$ µF

$\tau = RC$

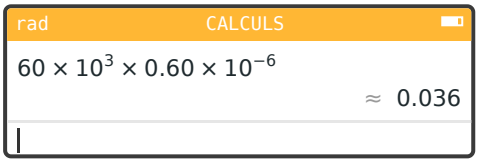
$\tau = 60 \times 10^3 \times 0{,}60 \times 10^{-6} = 3{,}6 \times 10^{-2}$ s

$\tau = 36$ ms

PIÈGE
Convertir kΩ et µF : 10^3 et 10^{-6}. Oublier une puissance de dix donne 36 s ou 36 µs.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme R et C. Contrôle sur la figure 4 : à $t = 36$ ms, u_C vaut bien environ $0{,}63\,E = 63$ V.

À LA CALCULATRICE



2.1 Quel phénomène électrique se produit au niveau du condensateur juste après l'allumage ?

Le tube allumé relie les deux armatures par une faible résistance r : le condensateur, chargé sous 80 V, débite dans le tube.

Le condensateur **se décharge** à travers le tube.

COMPRENDRE
C'est ce courant de décharge qui traverse le gaz du tube et produit le bref éclair lumineux.

2.2 Calculer le rapport $\frac{\tau}{\tau'}$, où τ' est la constante de temps du dipôle (r, C). Que faudrait-il faire au niveau de l'acquisition pour déterminer graphiquement τ' ?

Données utiles $r = 10\ \Omega$; $R = 60$ kΩ ; $C = 0{,}60$ µF

$\tau' = rC$, donc $\frac{\tau}{\tau'} = \frac{RC}{rC} = \frac{R}{r} = \frac{60 \times 10^3}{10} = 6{,}0 \times 10^3$

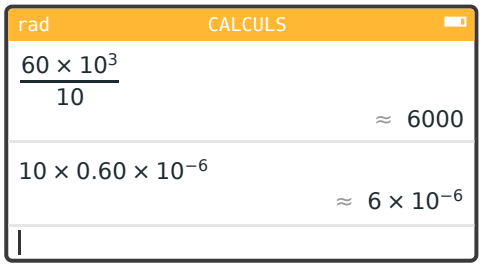
Soit $\tau' = 10 \times 0{,}60 \times 10^{-6} = 6{,}0 \times 10^{-6}$ s $= 6{,}0$ µs : la décharge est 6 000 fois plus rapide que la charge, invisible à l'échelle de la figure 4.

Pour la mesurer, il faudrait déclencher l'acquisition à l'allumage du tube (instant t_1) et réduire la durée totale d'acquisition à quelques dizaines de microsecondes, avec une période d'échantillonnage très inférieure à la microseconde.

$\frac{\tau}{\tau'} = 6{,}0 \times 10^3$; acquisition déclenchée à t_1, sur environ 30 µs, très finement échantillonnée.

PIÈGE
Pour lire τ', la méthode des 37 % échoue : $0{,}37 \times 80 = 29{,}6$ V est sous $U_e = 30$ V, le tube s'éteint avant. Il faut utiliser la tangente à l'origine de la décharge.

À LA CALCULATRICE



2.3 Quand u_C atteint $U_e = 30$ V, le tube s'éteint. Que se produit-il à nouveau au niveau du condensateur ?

Le tube redevient un interrupteur ouvert : on retrouve le circuit de la figure 5, avec $u_C = 30$ V au départ.

Le condensateur **se charge à nouveau** à travers R, de 30 V vers 80 V.

COMPRENDRE
La charge reprend avec la même constante de temps $\tau = 36$ ms, mais part de 30 V : elle dure moins longtemps que la première, partie de 0 V.

2.4 Que peut-on dire des durées où le tube est allumé par rapport à celles où il est éteint ?

Le tube est allumé pendant les décharges, de constante de temps $\tau' = 6{,}0$ µs, et éteint pendant les charges, de constante de temps $\tau = 36$ ms (rapport 6 000). Sur la figure 4, les décharges apparaissent verticales.

Le tube est allumé pendant des durées **très courtes** devant celles où il est éteint.

2.5 Choisir, en les justifiant, le ou les adjectifs qualifiant le régime observé à partir de t_1 : apériodique, sinusoïdal, amorti, périodique, alternatif.

- périodique : le même cycle (décharge de 80 V à 30 V, puis charge de 30 V à 80 V) se reproduit identique à intervalles de temps égaux ;
- pas amorti : l'amplitude des variations, entre 30 V et 80 V, reste constante ;
- pas sinusoïdal : la courbe est formée d'arcs d'exponentielle et de chutes verticales ;
- pas alternatif : u_C reste toujours positive ;
- pas apériodique : ce terme désigne un retour à l'équilibre sans oscillation.

Le régime est **périodique**.

MÉTHODE
Pour un adjectif de régime, justifier aussi les rejets : chaque terme écarté se réfute par une observation de la courbe (signe, amplitude, forme).

2.6 Que se passerait-il si la tension du générateur était réglée à $E = 60$ V ? Justifier.

Données utiles $U_a = 80$ V

D'après Q1.3.1, u_C tendrait vers $E = 60$ V sans jamais dépasser cette valeur. Comme $60\text{ V} < U_a = 80$ V, la tension d'allumage ne serait jamais atteinte.

Le tube **ne s'allumerait jamais** : le condensateur resterait chargé sous 60 V et le courant deviendrait nul.

3.1 Mesurer sur la figure 4 la durée Δt d'un cycle allumage-extinction.

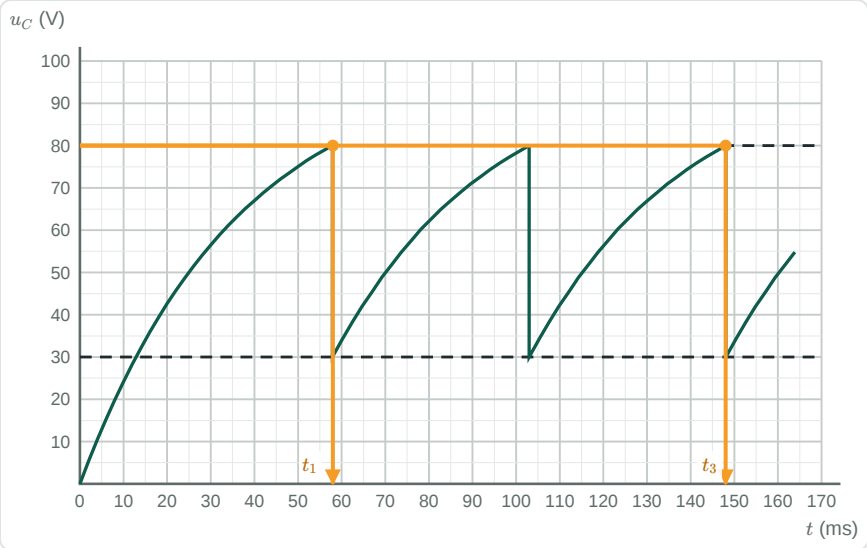
Pour plus de précision, on mesure deux cycles entre deux allumages : $t_1 \approx 58$ ms et $t_3 \approx 148$ ms.

$$\Delta t = \frac{t_3 - t_1}{2} = \frac{148 - 58}{2} = 45 \text{ ms}$$

$\Delta t \approx 45$ ms

PIÈGE
Ne pas prendre t_1 comme durée d'un cycle : la première charge part de 0 V et non de 30 V, elle est plus longue.

MÉTHODE
Mesurer une période sur plusieurs cycles puis diviser : l'erreur de lecture, de l'ordre d'une milliseconde, est divisée d'autant.



3.1 · Figure 4 du sujet : lecture des allumages à t_1 et t_3

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$$\frac{148-58}{2} \approx 45$$

3.2 Que voit une personne qui regarde le tube dans l'expérience étudiée ? Justifier.

Données utiles durée de persistance d'une image : environ 50 ms ; Δt (Q3.1)

Un nouvel éclair se produit toutes les $\Delta t \approx 45$ ms, avant que l'image du précédent, conservée environ 50 ms, ne soit effacée de la rétine.

Comme $45\ \text{ms} < 50\ \text{ms}$, la personne voit le tube **allumé en permanence**, sans clignotement.

COMPRENDRE
Les deux durées sont proches : l'effet est ici à la limite, un éclairage réel clignote bien plus vite pour paraître continu.

3.3 On multiplie par cinq la capacité C, les autres paramètres étant inchangés. Que voit désormais la personne (sans calcul) ?

La constante de temps $\tau = RC$ est multipliée par cinq. Les seuils 30 V et 80 V et la tension E étant inchangés, la durée de chaque charge, donc d'un cycle, est elle aussi multipliée par cinq : elle devient nettement supérieure à 50 ms.

L'image d'un éclair s'efface avant le suivant : la personne voit le tube **clignoter**.

COMPRENDRE
À titre indicatif, le cycle dure alors environ $5 \times 45 = 225$ ms, soit un peu plus de quatre éclairs par seconde.