Céramique et ultrasons

Bac S 2006 Métropole (ancien programme) · Exercice 2 **4 points** **Durée conseillée 52 min**

1.1.1 Déterminer la période T et la fréquence f de la tension observée à l'oscilloscope.

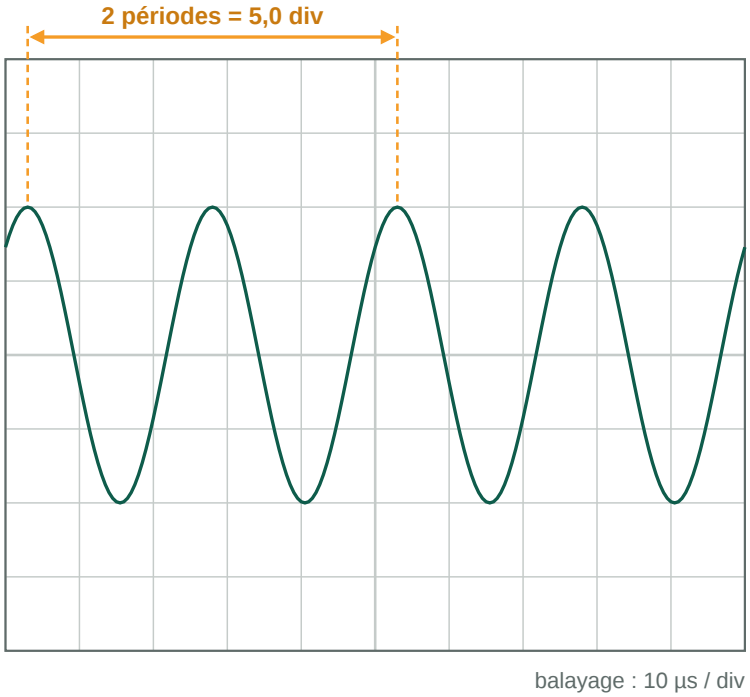
Données utiles coefficient de balayage : $10\ \mu s/\text{div}$

Sur la figure 8, deux périodes occupent $5{,}0$ divisions :

$2T = 5{,}0 \times 10 = 50\ \mu s$, donc $T = 25\ \mu s = 2{,}5 \times 10^{-5}$ s.

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{2{,}5 \times 10^{-5}} = 4{,}0 \times 10^{4}\ \text{Hz}$$

$T = 2{,}5 \times 10^{-5}$ s et $f = 4{,}0 \times 10^{4}$ Hz $= 40$ kHz



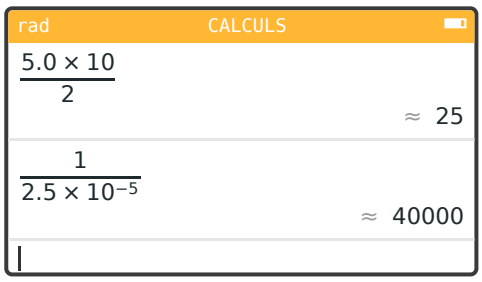
1.1.1 · Figure 8 du sujet : deux périodes entre deux maximums, pour une lecture plus précise

PIÈGE
Calculer f avec T en microsecondes : il faut convertir en secondes pour obtenir des hertz.

COMPRENDRE
La lecture sur l'écran se fait au mieux à quelques dixièmes de division près : deux chiffres significatifs suffisent pour T et f.

MÉTHODE
Mesurer plusieurs périodes d'un coup, entre deux maximums éloignés, puis diviser : l'erreur de lecture est répartie sur le nombre de périodes.

À LA CALCULATRICE



1.1.2 En déduire la fréquence f_u des ultrasons. Justifier.

D'après l'énoncé, la tension aux bornes de la céramique réceptrice a la même fréquence que les ultrasons qu'elle reçoit. La fréquence lue à l'oscilloscope est donc celle de l'onde :

$f_u = f = 4{,}0 \times 10^{4}$ Hz

COMPRENDRE
Cette valeur dépasse 20 kHz, limite supérieure des sons audibles : il s'agit bien d'ultrasons.

1.1.3 Donner l'expression littérale puis la valeur de la longueur d'onde λ des ultrasons dans l'air.

Données utiles $v_{\text{air}} = 340\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$; $f_u = 4{,}0 \times 10^4\ \text{Hz}$ (1.1.2)

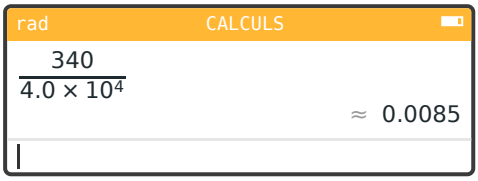
La longueur d'onde est la distance parcourue par l'onde pendant une période :

$$\lambda = v_{\text{air}}\, T = \frac{v_{\text{air}}}{f_u} = \frac{340}{4{,}0 \times 10^4} = 8{,}5 \times 10^{-3}\ \text{m}$$

$$\lambda = \frac{v_{\text{air}}}{f_u} = 8{,}5 \times 10^{-3}\ \text{m} = 8{,}5\ \text{mm}$$

PIÈGE
Garder trois chiffres parce que 340 en a trois : f_u n'en a que deux, le résultat aussi.

À LA CALCULATRICE



1.2.1 Que peut-on dire de la valeur de la fréquence de la tension excitatrice à la résonance ?

À la résonance, la fréquence imposée par l'excitateur (la tension sinusoïdale) est très proche de la fréquence propre de vibration du résonateur (la céramique).

Fréquence de la tension excitatrice ≈ fréquence propre de la céramique.

COMPRENDRE
La céramique émet alors à cette fréquence : d'après la partie 1.1, sa fréquence propre vaut environ $40\ \text{kHz}$.

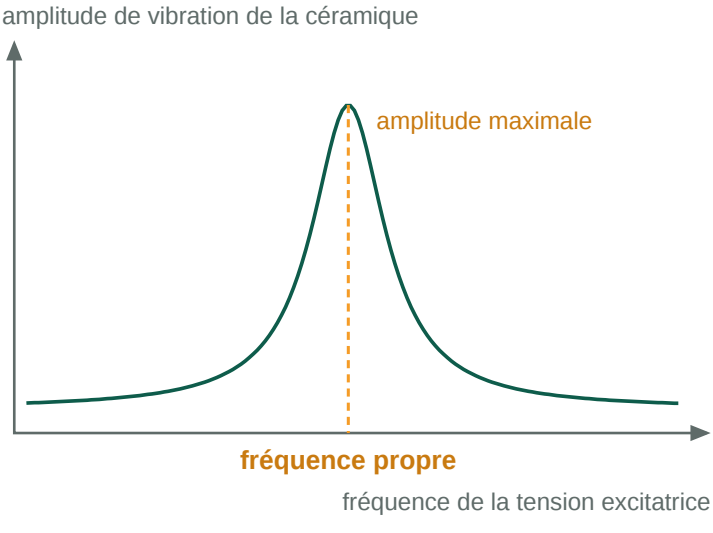
1.2.2 Décrire qualitativement le phénomène de résonance en ce qui concerne l'amplitude de vibration de la céramique.

La céramique effectue des oscillations forcées : elle vibre à la fréquence de la tension appliquée, quelle que soit cette fréquence.

L'amplitude de ses vibrations dépend de cette fréquence : faible quand elle est éloignée de la fréquence propre, elle augmente quand elle s'en rapproche.

À la résonance, l'amplitude de vibration de la céramique est maximale.

PIÈGE
Dire que la fréquence de vibration « devient » la fréquence propre : en régime forcé, la fréquence est toujours celle de l'excitateur. Seule l'amplitude change.



1.2.2 · Allure de la courbe de résonance

2.1 Comment appelle-t-on le type de régime correspondant à la figure 10 ?

La tension u_C oscille de part et d'autre de zéro avec une amplitude qui diminue au cours du temps.

C'est un régime pseudo-périodique (oscillations libres amorties).

COMPRENDRE
Les circuits RLC et les oscillations électriques ne figurent plus au programme actuel de spécialité de Terminale, qui se limite au circuit RC. Toute la partie 2 relève de l'ancien programme.

2.2 Interpréter en termes d'énergie l'amortissement des oscillations que l'on observe.

Au cours des oscillations, l'énergie passe du condensateur à la bobine et inversement. À chaque échange, une partie est dissipée par effet Joule dans la résistance R du circuit, sous forme de transfert thermique.

L'énergie totale du circuit diminue, donc l'amplitude de u_C décroît.

COMPRENDRE
L'énergie du condensateur vaut $\frac{1}{2}C\,u_C^2$: si elle est plus petite à chaque maximum, l'amplitude de u_C l'est aussi.

2.3 Comment peut-on éviter l'amortissement des oscillations, sachant que la résistance du circuit ne peut pas être nulle ?

Il faut ajouter au circuit un dispositif d'entretien des oscillations : il apporte à chaque instant une énergie égale à celle qui est dissipée par effet Joule.

Un dispositif d'entretien compense les pertes : les oscillations gardent une amplitude constante.

COMPRENDRE
En pratique, c'est un montage électronique alimenté par une source extérieure, qui se comporte comme une « résistance négative » : l'énergie fournie vient de son alimentation.

2.4 Dire si les deux affirmations concernant les oscillations libres d'un dipôle RLC sont vraies ou fausses. Commenter brièvement.

Affirmation 1 : fausse. Si R devient trop grande, l'énergie est dissipée avant qu'une oscillation ait lieu : u_C revient vers zéro sans osciller. Le régime est alors apériodique.

Affirmation 2 : fausse. La période propre $T_0 = 2\pi\sqrt{LC}$ ne dépend que de L et de C. La charge initiale fixe seulement l'amplitude des oscillations.

Les deux affirmations sont fausses.

PIÈGE
Répondre « vrai » ou « faux » sans justification ne rapporte rien : la consigne demande un commentaire pour chaque affirmation.

2.5.1 Pour le circuit LC de la figure 11, exprimer l'intensité i en fonction de u_C, puis montrer que $\frac{\mathrm{d}^2u_C}{\mathrm{d}t^2} + \frac{1}{LC}u_C = 0$.

Avec les orientations de la figure 11, le courant arrive sur l'armature de charge q vers laquelle pointe la flèche u_C : $i = \frac{\mathrm{d}q}{\mathrm{d}t}$ et $q = C\,u_C$.
Comme C est constante :

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

Aux bornes de la bobine, de résistance négligée : $u_L = L\,\frac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t} = LC\,\frac{\mathrm{d}^2u_C}{\mathrm{d}t^2}$.
Loi des mailles, interrupteur fermé : $u_C + u_L = 0$, soit $u_C + LC\,\frac{\mathrm{d}^2u_C}{\mathrm{d}t^2} = 0$.
En divisant par LC :

$\frac{\mathrm{d}^2u_C}{\mathrm{d}t^2} + \frac{1}{LC}u_C = 0$: c'est l'équation attendue.

PIÈGE
Les signes dépendent des flèches du schéma. Ici u_C et u_L sont orientées dans le même sens le long de la maille, d'où une somme nulle et un signe « $+$ » dans l'équation.

MÉTHODE
Trois étapes, toujours les mêmes : relation courant-tension de chaque dipôle, loi des mailles, puis tout exprimer avec la seule grandeur demandée, ici u_C.

2.5.2 La solution s'écrit $u_C(t) = U_0\cos\left(\frac{2\pi}{T_0}t\right)$. En déduire, à l'aide de l'équation différentielle, l'expression littérale de la période propre T_0.

On dérive deux fois la solution proposée :

$$\frac{\mathrm{d}u_C}{\mathrm{d}t} = -\frac{2\pi}{T_0}U_0\sin\left(\frac{2\pi}{T_0}t\right)$$

$$\frac{\mathrm{d}^2u_C}{\mathrm{d}t^2} = -\left(\frac{2\pi}{T_0}\right)^2 U_0\cos\left(\frac{2\pi}{T_0}t\right) = -\left(\frac{2\pi}{T_0}\right)^2 u_C$$

On reporte dans l'équation différentielle :

$$\left[\frac{1}{LC} - \left(\frac{2\pi}{T_0}\right)^2\right]u_C = 0$$

Cette égalité doit être vraie à chaque instant, alors que u_C n'est pas toujours nulle : le crochet est nul, donc $\frac{4\pi^2}{T_0^2} = \frac{1}{LC}$, soit $T_0^2 = 4\pi^2 LC$.

$T_0 = 2\pi\sqrt{LC}$

PIÈGE
Oublier le facteur $\frac{2\pi}{T_0}$ qui sort à chaque dérivation : il apparaît au carré après deux dérivations, et c'est lui qui donne T_0.

2.5.3 Calculer la valeur à donner à la capacité C du condensateur pour obtenir des oscillations à la fréquence $f_0 = 40$ kHz.

Données utiles $L = 1{,}0$ mH ; $f_0 = 40$ kHz ; $T_0 = 2\pi\sqrt{LC}$ (2.5.2)

$f_0 = \frac{1}{T_0} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$, donc $f_0^2 = \frac{1}{4\pi^2 LC}$ et :

$$C = \frac{1}{4\pi^2 f_0^2 L} = \frac{1}{4\pi^2 \times (40\times10^3)^2 \times 1{,}0\times10^{-3}} = 1{,}6\times10^{-8}\ \text{F}$$

$C = 1{,}6\times10^{-8}\ \text{F} = 16\ \text{nF}$

PIÈGE
Laisser f_0 en kilohertz ou L en millihenrys : il faut 40×10^3 Hz et $1{,}0\times10^{-3}$ H pour obtenir des farads. Penser aussi au carré sur f_0.

À LA CALCULATRICE

