Spécialité : La physique du vide grenier !

Bac S 2011 Centres étrangers (ancien programme) · Exercice 4 **4 points** **Durée conseillée 52 min**

1.1.1 Mesurer la période T sur la figure 1 et calculer la fréquence f du signal musical.

Pour gagner en précision, on mesure deux périodes : entre le premier et le troisième maximum, on lit $2T = 4{,}4$ ms, donc $T = 2{,}2\ \text{ms} = 2{,}2 \times 10^{-3}$ s.

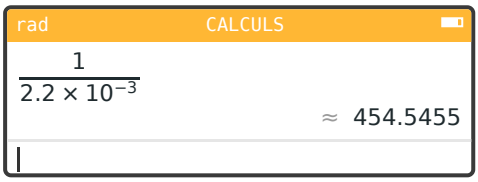
$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{2{,}2 \times 10^{-3}} = 4{,}5 \times 10^{2}\ \text{Hz}$$

$T = 2{,}2$ ms et $f = 4{,}5 \times 10^{2}$ Hz

PIÈGE
Laisser T en millisecondes dans $f = 1/T$: on obtiendrait $0{,}45$ au lieu de $4{,}5 \times 10^{2}$ Hz.

COMPRENDRE
La lecture graphique donne deux chiffres significatifs : le résultat en garde deux. Il est cohérent avec les 440 Hz annoncés ensuite pour le La3.

À LA CALCULATRICE



1.1.2 Ce signal musical est-il un son complexe ou un son pur ? Justifier.

La tension enregistrée est une sinusoïde : le signal ne contient qu'une seule fréquence, le fondamental, sans harmonique.

Le son du diapason est un **son pur**.

COMPRENDRE
Un son complexe est périodique sans être sinusoïdal : son spectre contient le fondamental et des harmoniques. Les notions d'harmoniques, de hauteur et de timbre ne figurent plus au programme actuel de spécialité.

1.2.1 À partir de l'oscillogramme de la figure 2, expliquer pourquoi la modulation est satisfaisante.

L'enveloppe supérieure de u_s a la même forme et la même période que u_m : elle en est la copie, simplement décalée vers le haut. Elle reste toujours au-dessus de zéro (elle varie entre $1{,}5$ V et $2{,}5$ V environ).

L'enveloppe de u_s reproduit fidèlement u_m : la modulation est de bonne qualité.

COMPRENDRE
L'information est portée par l'amplitude de la porteuse. Le récepteur ne récupère que l'enveloppe : si elle a la forme de u_m, le signal sera restitué sans déformation.

1.2.2 En déduire la valeur du taux de modulation m, quotient de l'amplitude de u_m par la tension continue E.

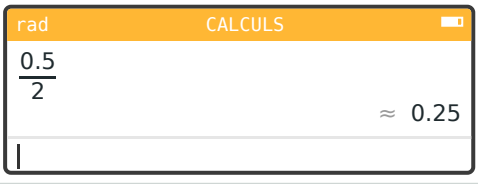
Données utiles amplitude de u_m : $U_m = 0{,}5$ V ; $E = 2$ V

$$m = \frac{U_m}{E} = \frac{0{,}5}{2} = 0{,}25$$

$m = 0{,}25$, soit environ $0{,}3$ avec un seul chiffre significatif

COMPRENDRE
m est un rapport de deux tensions : il n'a pas d'unité. Comme $m < 1$, l'enveloppe ne s'annule jamais, ce qui confirme la bonne qualité de la modulation observée.

À LA CALCULATRICE



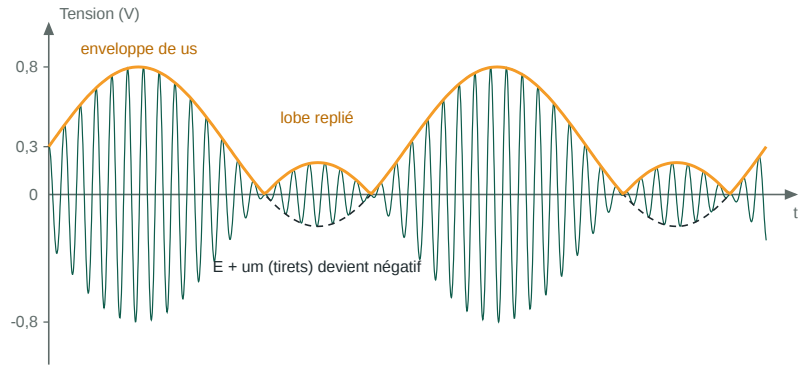
MÉTHODE
Vérification sur la figure 2 : $m = \dfrac{U_{max} - U_{min}}{U_{max} + U_{min}}$ avec l'enveloppe entre $1{,}5$ V et $2{,}5$ V, soit $\dfrac{1{,}0}{4{,}0} = 0{,}25$.

1.2.3 Quelle allure aurait eu la modulation si la tension continue E avait été inférieure à $0{,}5$ V ?

Si $E < U_m$, alors $m = \dfrac{U_m}{E} > 1$: la tension $E + u_m$ change de signe à chaque période. L'enveloppe de u_s touche alors l'axe des temps et présente des lobes repliés : elle n'a plus la forme de u_m.

Il y a **surmodulation** : l'enveloppe est déformée, la modulation est de mauvaise qualité.

PIÈGE
Dire seulement « le signal est plus petit ». Ce qui compte est la comparaison de E à l'amplitude de u_m, donc la valeur de m par rapport à 1.



1.2.3 · Surmodulation ($E = 0{,}3$ V, amplitude de u_m : $0{,}5$ V) : l'enveloppe de u_s ne reproduit plus u_m

1.3.1 Exprimer les fréquences F_1 et F_2 de la figure 3 en fonction de la fréquence F de la porteuse et de la fréquence f du signal à transmettre.

Le spectre d'une porteuse modulée par un signal sinusoïdal comporte trois pics : celui de la porteuse, encadré par deux pics latéraux symétriques, distants de f.

$F_1 = F - f$ et $F_2 = F + f$

COMPRENDRE
Avec $F = 10$ kHz et $f = 440$ Hz : $F_1 = 9{,}56$ kHz et $F_2 = 10{,}44$ kHz. Le signal modulé ne contient aucun pic à la fréquence f elle-même.

1.3.2 Calculer la largeur Δf de la bande passante nécessaire pour transmettre la note du diapason, définie comme la différence entre F_2 et F_1.

Données utiles $f = 440$ Hz ; F_1 et F_2 (1.3.1)

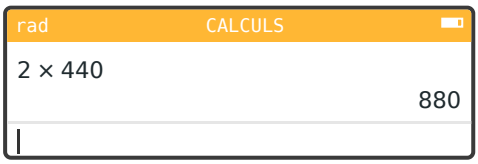
$\Delta f = F_2 - F_1 = (F + f) - (F - f) = 2f$

$\Delta f = 2 \times 440 = 880$ Hz

$\Delta f = 2f = 880$ Hz

COMPRENDRE
La largeur de bande ne dépend pas de la porteuse, seulement de la fréquence transmise. C'est pourquoi deux stations doivent avoir des porteuses suffisamment écartées.

À LA CALCULATRICE



2.1.1 Pour une valeur donnée de C, le circuit permet une bonne écoute de France Inter. Quelle est alors la fréquence propre f_0 du circuit (L, C) ?

Le circuit sélectionne une station lorsque sa fréquence propre est égale à la fréquence de la porteuse de cette station.

$f_0 = 164$ kHz

COMPRENDRE
Le circuit LC parallèle joue le rôle de filtre : parmi toutes les ondes reçues, seule celle dont la fréquence est voisine de f_0 donne une tension notable à ses bornes.

2.1.2 Calculer la capacité C du condensateur permettant de capter France Inter.

Données utiles $f_0 = \dfrac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$; $L = 2{,}0$ mH ; $f_0 = 164$ kHz (2.1.1)

On élève au carré : $f_0^2 = \dfrac{1}{4\pi^2 LC}$, d'où $C = \dfrac{1}{4\pi^2 L f_0^2}$.

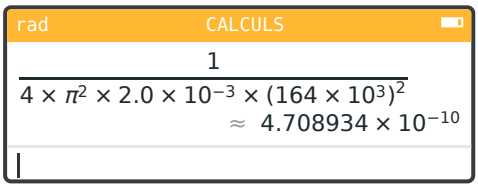
$$C = \frac{1}{4\pi^2 \times 2{,}0 \times 10^{-3} \times (164 \times 10^3)^2} = 4{,}7 \times 10^{-10}\ \text{F}$$

$C = 4{,}7 \times 10^{-10}\ \text{F} = 0{,}47\ \text{nF}$

PIÈGE
Oublier les conversions (L en henrys, f_0 en hertz) ou oublier d'élever f_0 au carré. Un ordre de grandeur de quelques centaines de picofarads est attendu.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme L, la donnée la moins précise.

À LA CALCULATRICE



2.1.3 Justifier le lien mécanique entre le condensateur de capacité variable C et le bouton de sélection des stations.

Comme $f_0 = \dfrac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ avec L fixée, modifier C modifie la fréquence propre du circuit.

Tourner le bouton change C, donc f_0 : on accorde le circuit sur la porteuse de la station voulue.

COMPRENDRE
f_0 diminue quand C augmente. Une station de porteuse plus élevée que 164 kHz se capte donc avec une capacité plus faible.

2.2.1 Montrer que le produit $R'C'$ est homogène à un temps.

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

Condensateur : $i = C'\dfrac{\mathrm{d}u_C}{\mathrm{d}t}$, donc $[I] = [C']\dfrac{[U]}{[T]}$, soit $[C'] = \dfrac{[I]\,[T]}{[U]}$.

$$[R'C'] = \frac{[U]}{[I]} \times \frac{[I]\,[T]}{[U]} = [T]$$

$[R'C'] = [T]$: le produit $R'C'$ est homogène à un temps.

MÉTHODE
Analyse dimensionnelle : exprimer chaque grandeur à partir d'une relation connue (loi d'Ohm, $q = C'u_C$ et $i = \mathrm{d}q/\mathrm{d}t$), puis simplifier le produit.

2.2.2 Déterminer, par un calcul, la capacité C' qui respecte au mieux la condition $T_p \ll \tau < T_m$ parmi 50 pF, 50 nF et 50 µF.

Données utiles $R' = 15\ \text{k}\Omega$; porteuse : $f_p = 164$ kHz ; signal sonore : $f = 1{,}0$ kHz

Bornes : $T_p = \dfrac{1}{f_p} = \dfrac{1}{164 \times 10^3} = 6{,}10 \times 10^{-6}$ s et $T_m = \dfrac{1}{f} = \dfrac{1}{1{,}0 \times 10^3} = 1{,}0 \times 10^{-3}$ s.

Constante de temps $\tau = R'C'$ pour chaque condensateur :

- 50 pF : $\tau = 15 \times 10^3 \times 50 \times 10^{-12} = 7{,}5 \times 10^{-7}$ s, inférieure à T_p : ne convient pas ;
- 50 nF : $\tau = 15 \times 10^3 \times 50 \times 10^{-9} = 7{,}5 \times 10^{-4}$ s, environ 120 fois T_p et inférieure à T_m : convient ;
- 50 µF : $\tau = 15 \times 10^3 \times 50 \times 10^{-6} = 0{,}75$ s, très supérieure à T_m : ne convient pas.

$C' = 50$ nF, car $6{,}10 \times 10^{-6}\ \text{s} \ll 7{,}5 \times 10^{-4}\ \text{s} < 1{,}0 \times 10^{-3}\ \text{s}$

COMPRENDRE

Si τ est trop petit, le condensateur se décharge entre deux crêtes de la porteuse ; s'il est trop grand, la tension ne suit plus les baisses de l'enveloppe.

MÉTHODE

On peut aussi encadrer C' : $\dfrac{1}{R'f_p} \ll C' < \dfrac{1}{R'f}$, soit $0{,}41\ \text{nF} \ll C' < 67\ \text{nF}$. Seul 50 nF est dans l'intervalle.

À LA CALCULATRICE

