Spécialité : Émission et réception des ondes électromagnétiques

Bac S 2010 Antilles-Guyane (ancien programme) · Exercice 4 **4 points** **Durée conseillée 52 min**

1.1.1 Du point de vue énergétique, quel est le rôle du dispositif d'entretien des oscillations ?

Un circuit LC réel possède une résistance : à chaque oscillation, une partie de son énergie est dissipée par effet Joule (et une autre est rayonnée par l'antenne). Sans apport extérieur, les oscillations s'amortiraient.

Le dispositif d'entretien fournit au circuit, à chaque instant, l'énergie qu'il perd : l'amplitude des oscillations reste constante.

1.1.2 Déterminer l'inductance L de l'oscillateur de Hertz.

Données utiles $T_0 = 2\pi\sqrt{LC}$; durée d'une oscillation : un cent millionième de seconde ; $C = 10\ \text{pF}$; aide aux calculs : $\pi^2 = 10$

La durée d'une oscillation est la période propre : $T_0 = \dfrac{1}{100 \times 10^6} = 1{,}0 \times 10^{-8}$ s.

$T_0 = 2\pi\sqrt{LC}$ donne $T_0^2 = 4\pi^2 LC$, soit $L = \dfrac{T_0^2}{4\pi^2 C}$.

Avec $C = 10 \times 10^{-12}$ F et $\pi^2 = 10$:

$$L = \frac{(1{,}0 \times 10^{-8})^2}{4 \times 10 \times 10 \times 10^{-12}} = \frac{1{,}0 \times 10^{-16}}{4{,}0 \times 10^{-10}}$$

$L = 2{,}5 \times 10^{-7}$ H

PIÈGE
Un cent millionième, c'est 10^{-8} s (cent millions $= 10^8$), pas 10^{-6} s. La capacité se convertit en farads : $1\ \text{pF} = 10^{-12}$ F.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme $C = 10$ pF. Sans calculatrice, on regroupe les puissances de dix à part : $10^{-16} \div 10^{-10} = 10^{-6}$, puis $1 \div 4 = 0{,}25$.

1.2.1 Attribuer à chaque signal la tension enregistrée, en justifiant.

Signal 1 : tension sinusoïdale de basse fréquence, toujours positive, qui oscille entre 5 V et 10 V autour de 7,5 V. C'est la somme du signal sonore sinusoïdal et de la tension continue, donc la tension modulante u_{AM}.

Signal 2 : tension de haute fréquence dont l'amplitude varie au rythme du signal 1. C'est la tension modulée en amplitude, disponible à la sortie S du dispositif modulant : u_{SM}.

Signal 1 : u_{AM} (tension modulante décalée) ; signal 2 : u_{SM} (tension modulée).

COMPRENDRE
La troisième tension, u_{BM}, est la porteuse délivrée par le GBF : une sinusoïde de haute fréquence et d'amplitude constante. Elle n'est pas affichée ici.

1.2.2 Déterminer la fréquence du signal sonore enregistré.

Données utiles oscillogramme : signal 1, échelle des temps en ms

Le signal sonore a la même période que le signal 1. Deux périodes s'étendent entre les maximums situés à $t = 0$ et $t = 20$ ms :

$2T = 20$ ms, donc $T = 10\ \text{ms} = 1{,}0 \times 10^{-2}$ s.

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

$f = 1{,}0 \times 10^2$ Hz

MÉTHODE
Mesurer plusieurs périodes puis diviser réduit l'erreur de lecture. La période se convertit en secondes avant de calculer la fréquence en hertz.

1.2.3 Déterminer ΔU_{max} et ΔU_{min}, puis calculer le taux de modulation m.

Données utiles $m = \dfrac{\Delta U_{max} - \Delta U_{min}}{\Delta U_{max} + \Delta U_{min}}$; oscillogramme du signal 2

Ce sont les tensions crête à crête du signal modulé, là où il est le plus large puis le plus étroit.

À $t = 10$ ms, il varie de -10 V à $+10$ V : $\Delta U_{max} = 20$ V.

À $t = 5$ ms, il varie de -5 V à $+5$ V : $\Delta U_{min} = 10$ V.

$$m = \frac{20 - 10}{20 + 10} = \frac{10}{30}$$

$\Delta U_{max} = 20$ V ; $\Delta U_{min} = 10$ V ; $m = 0{,}33$

COMPRENDRE
Le taux de modulation est sans unité. Il s'obtient aussi avec le signal 1 : amplitude du signal sonore (2,5 V) divisée par la tension de décalage (7,5 V), soit encore 0,33.

1.2.4.1 Quelle est la condition pour ne pas avoir de surmodulation ?

Il faut un taux de modulation inférieur à 1 : $m < 1$, c'est-à-dire une tension de décalage supérieure à l'amplitude du signal sonore.

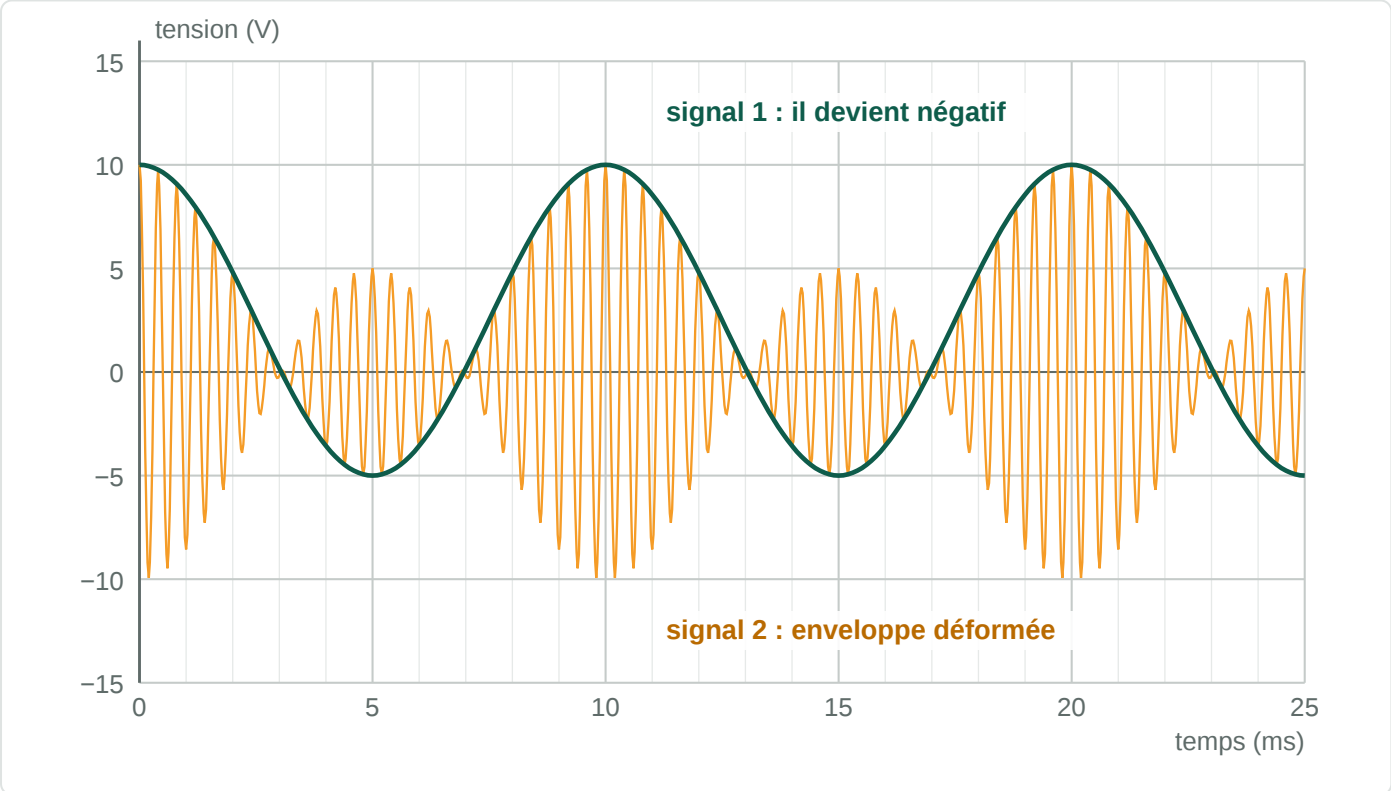
COMPRENDRE
Dans ce cas la tension modulante u_{AM} reste toujours positive et l'enveloppe du signal modulé ne s'annule jamais : $\Delta U_{min} > 0$.

1.2.4.2 Représenter une situation de surmodulation sur la figure de l'annexe.

On choisit une tension de décalage (2,5 V) plus petite que l'amplitude du signal sonore (7,5 V) : le signal 1 passe sous zéro pendant une partie de chaque période.

L'enveloppe supérieure du signal 2 suit le signal 1 tant qu'il est positif. Quand il devient négatif, les deux enveloppes se croisent et un petit lobe apparaît.

Voir l'annexe complétée : l'enveloppe du signal 2 n'a plus la forme du signal 1.



1.2.4.2 · Annexe complétée : surmodulation (tension de décalage 2,5 V, amplitude du signal sonore 7,5 V)

1.2.4.3 Pourquoi faut-il éviter le phénomène de surmodulation ?

Le récepteur reconstitue le signal sonore à partir de l'enveloppe de la tension modulée. En surmodulation, cette enveloppe n'a plus la même forme que la tension modulante.

Le signal obtenu après démodulation est déformé : le son restitué n'est pas celui qui a été émis.

1.2.4.4 Quelle tension faut-il modifier pour éviter ce phénomène ?

Il faut augmenter la tension continue de décalage, jusqu'à ce qu'elle dépasse l'amplitude du signal sonore : u_{AM} redevient alors toujours positive.

COMPRENDRE
On pourrait aussi diminuer l'amplitude du signal sonore, mais on réduirait le signal utile. Modifier la porteuse u_{BM} ne change pas le taux de modulation.

2.1 Quel est le rôle de la partie A du récepteur ?

L'antenne capte de nombreuses ondes électromagnétiques, de fréquences différentes. Le dipôle formé par la bobine L et le condensateur C_0 en parallèle est un circuit d'accord : il ne laisse subsister à ses bornes que les signaux dont la fréquence est voisine de sa fréquence propre $f_0 = \dfrac{1}{2\pi\sqrt{LC_0}}$.

La partie A capte les ondes et sélectionne l'émission voulue : on règle C_0 pour que f_0 soit égale à la fréquence de la porteuse.

2.2 Montrer que la valeur de C_0 qui donne une réception optimale est en accord avec l'oscillogramme.

Données utiles $C_0 = 6{,}3 \times 10^{-10}$ F ; $L = 4{,}0$ mH ; aide aux calculs : $\sqrt{2{,}52} = 1{,}6$ et $2\pi \times 1{,}6 = 10$

Période propre du circuit d'accord :

$$T_0 = 2\pi\sqrt{LC_0} = 2\pi\sqrt{4{,}0 \times 10^{-3} \times 6{,}3 \times 10^{-10}} = 2\pi\sqrt{2{,}52 \times 10^{-12}}$$

$T_0 = 2\pi \times 1{,}6 \times 10^{-6} = 10 \times 10^{-6}$ s $= 10\ \mu$s.

Sur l'oscillogramme, le signal 2 (tension modulée) effectue 20 oscillations en 200 µs : la période de la porteuse est $T_p = \dfrac{200}{20} = 10\ \mu$s.

$T_0 = T_p = 10\ \mu$s : le circuit est accordé sur la porteuse, la valeur de C_0 convient.

PIÈGE
Écrire $25{,}2 \times 10^{-13}$ sous la racine bloque le calcul : il faut un exposant pair, $2{,}52 \times 10^{-12}$, pour obtenir $\sqrt{10^{-12}} = 10^{-6}$.

MÉTHODE
La période de la porteuse se lit sur le signal 2, pas sur le signal 1. Compter une vingtaine d'oscillations entre deux graduations, puis diviser.

2.3 Quel est le rôle de la partie C ?

La partie C associe une diode et un dipôle RC_1 parallèle : c'est un détecteur d'enveloppe. La diode ne conserve que les alternances positives ; le condensateur, qui se décharge lentement dans R entre deux crêtes, relie les sommets de la porteuse.

La partie C élimine la porteuse et restitue l'enveloppe de la tension modulée, c'est-à-dire le signal modulant encore décalé d'une tension continue.

2.4 Rappeler, en précisant les unités, l'expression de la constante de temps τ du dipôle (RC_1).

$\tau = R\,C_1$, avec τ en secondes (s), R en ohms (Ω) et C_1 en farads (F).

2.5.1 Déterminer la période T_m du signal modulant.

Données utiles $f_m = 5{,}0\ \text{kHz}$

$$T_m = \frac{1}{f_m} = \frac{1}{5{,}0 \times 10^{3}} = 0{,}20 \times 10^{-3}\ \text{s}$$

$$\boxed{T_m = 2{,}0 \times 10^{-4}\ \text{s}}$$

2.5.2 Exprimer R sous forme d'un intervalle de valeurs pour obtenir une bonne détection d'enveloppe.

Données utiles $T_p \ll \tau < T_m$; $C_1 = 10\ \text{nF}$; $T_p = 10\ \mu\text{s}$ (2.2) ; $T_m = 2{,}0 \times 10^{-4}\ \text{s}$ (2.5.1)

Avec $\tau = RC_1$, la condition s'écrit $T_p \ll RC_1 < T_m$, soit $\dfrac{T_p}{C_1} \ll R < \dfrac{T_m}{C_1}$.

$$\frac{T_p}{C_1} = \frac{10 \times 10^{-6}}{10 \times 10^{-9}} = 1{,}0 \times 10^{3}\ \Omega \qquad \frac{T_m}{C_1} = \frac{2{,}0 \times 10^{-4}}{10 \times 10^{-9}} = 2{,}0 \times 10^{4}\ \Omega$$

$$\boxed{1{,}0 \times 10^{3}\ \Omega \ll R < 2{,}0 \times 10^{4}\ \Omega, \text{ soit } 1{,}0\ \text{k}\Omega \ll R < 20\ \text{k}\Omega}$$

COMPRENDRE
Le symbole $\ll$ signifie « très inférieur », au moins dix fois en pratique : une résistance de l'ordre de 10 kΩ convient. Trop petite, la porteuse subsiste ; trop grande, la tension ne suit plus l'enveloppe.

2.6 Quel est le rôle du dipôle série $(R'C_2)$?

Après la détection d'enveloppe, la tension est la somme du signal sonore et d'une tension continue (le décalage ajouté à l'émission). Le condensateur C_2, placé en série, bloque cette tension continue et laisse passer la partie variable.

Le dipôle $R'C_2$ est un filtre passe-haut : il supprime la composante continue, la tension aux bornes de R' est le signal sonore seul.

2.7 Le son perçu est-il pur ou complexe ? Justifier.

Un son pur correspond à une tension sinusoïdale. Ici le signal 1 de la deuxième partie, qui représente la mélodie enregistrée, a une forme irrégulière : il n'est pas sinusoïdal. Après démodulation, la tension envoyée aux écouteurs a la même forme.

Le son perçu est complexe.

COMPRENDRE
La distinction entre son pur et son complexe (harmoniques, timbre) ne figure plus au programme actuel de la spécialité.