Spécialité : Transmission d'un signal modulé en amplitude

Bac S 2006 Nouvelle-Calédonie (ancien programme) · Exercice 4 **4 points** **Durée conseillée 52 min**

1.1 Si une station émettait directement un signal électromagnétique de même fréquence que le signal sonore, à quel intervalle de longueurs d'onde appartiendrait-il ?

Données utiles $c = 3{,}0 \times 10^8\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$; sons audibles : de 20 Hz à 20 kHz

Pour une onde électromagnétique dans l'air : $\lambda = \dfrac{c}{f}$.

Pour $f = 20$ Hz : $\lambda = \dfrac{3{,}0 \times 10^8}{20} = 1{,}5 \times 10^7$ m.

Pour $f = 20\ \text{kHz} = 2{,}0 \times 10^4$ Hz : $\lambda = \dfrac{3{,}0 \times 10^8}{2{,}0 \times 10^4} = 1{,}5 \times 10^4$ m.

$1{,}5 \times 10^4\ \text{m} \leq \lambda \leq 1{,}5 \times 10^7\ \text{m}$

PIÈGE
Utiliser la célérité du son (340 m/s) : le signal émis par l'antenne est une onde électromagnétique, il se propage à la célérité c. Penser aussi à convertir 20 kHz en hertz.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme c. La plus petite fréquence donne la plus grande longueur d'onde. Calculatrice interdite : on divise les nombres, puis on soustrait les exposants.

1.2 À l'aide du texte introductif, avancer une raison pour laquelle les stations de radio n'émettent pas directement un signal électromagnétique de même fréquence que le signal sonore.

Données utiles intervalle de longueurs d'onde (1.1)

D'après le texte, l'antenne doit avoir une taille comparable à la longueur d'onde du signal émis.

Ici, il faudrait une antenne longue de 15 km à 15 000 km : elle est impossible à construire.

Sans modulation, la taille de l'antenne serait irréalisable (au moins 15 km).

COMPRENDRE
Avec une porteuse de fréquence élevée, la longueur d'onde devient courte : à 100 MHz, $\lambda = 3{,}0$ m et l'antenne mesure de l'ordre du mètre.

2.1 Recopier et compléter la phrase avec des termes de la liste : affine, faible, sinusoïdal(e), modulant(e), élevé(e), modulé(e).

L'onde porteuse est un signal sinusoïdal de fréquence f_P **élevée**. Le signal modulé a une amplitude qui est une fonction **affine** du signal **modulant**.

élevée ; affine ; modulant

COMPRENDRE
L'amplitude de $s(t)$ vaut $A\,[1 + m\cos(2\pi f_m t)]$: une constante plus un terme proportionnel à la tension modulante, donc une fonction affine. La modulation n'est plus au programme actuel de spécialité.

2.2.1 Quelle est l'unité du coefficient k du multiplieur ?

Données utiles $s(t) = k\,u_1(t)\,u_2(t)$

s, u_1 et u_2 sont des tensions, en volts. Donc $k = \dfrac{s}{u_1\,u_2}$ s'exprime en $\dfrac{\text{V}}{\text{V} \times \text{V}}$.

k s'exprime en V^{-1}.

2.2.2 Dans quel intervalle doit se situer le taux de modulation m pour réaliser une bonne modulation d'amplitude ?

Données utiles $m = \dfrac{U_m}{U_0}$; surmodulation si l'amplitude du signal modulant dépasse U_0

Il y a surmodulation si $U_m > U_0$, c'est-à-dire si $\dfrac{U_m}{U_0} > 1$, soit $m > 1$.

Pour l'éviter, il faut $U_m \leq U_0$, donc $m \leq 1$. De plus U_m et U_0 sont positives et le signal modulant n'est pas nul : $m > 0$.

$$0 < m \leq 1$$

COMPRENDRE
Pour $m = 1$, l'enveloppe $A\,[1 + m\cos(2\pi f_m t)]$ s'annule sans changer de signe : c'est le cas limite. En pratique on choisit m nettement inférieur à 1.

2.3.1 À partir de la figure 1, déduire une valeur numérique approchée du taux de modulation m.

Données utiles $m = \dfrac{S_M - S_m}{S_M + S_m}$; sensibilité verticale : 0,5 V/div

Lecture sur l'oscillogramme, à partir de l'axe central :

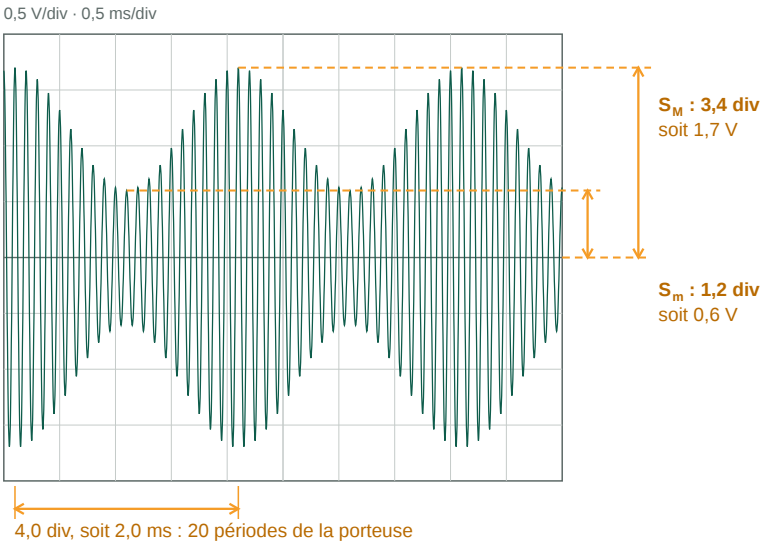
S_M : 3,4 div, soit $S_M = 3{,}4 \times 0{,}5 = 1{,}7$ V. S_m : 1,2 div, soit $S_m = 1{,}2 \times 0{,}5 = 0{,}6$ V.

$$m = \frac{S_M - S_m}{S_M + S_m} = \frac{1{,}7 - 0{,}6}{1{,}7 + 0{,}6} = \frac{1{,}1}{2{,}3}$$

$$m \approx 0{,}5$$

PIÈGE
Mesurer S_M et S_m de crête à crête, ou depuis le bas de l'écran : les deux se lisent à partir de l'axe central (0 V).

COMPRENDRE
m est un rapport de deux tensions : on peut le calculer directement en divisions, $\dfrac{3{,}4 - 1{,}2}{3{,}4 + 1{,}2}$. La lecture étant peu précise, un seul chiffre significatif suffit. Ici $m < 1$: pas de surmodulation.



2.3.1 · Figure 1 du sujet (reconstituée), avec les lectures de S_M, S_m et des 20 périodes de la porteuse

2.3.2 Vérifier que la fréquence de la porteuse utilisée est $f_P = 10$ kHz.

Données utiles balayage : 0,5 ms/div

Entre deux maxima successifs de l'enveloppe, distants de 4,0 div, on compte 20 périodes de la porteuse :

$$20\,T_P = 4{,}0 \times 0{,}5 = 2{,}0\ \text{ms} \quad \text{donc} \quad T_P = \frac{2{,}0 \times 10^{-3}}{20} = 1{,}0 \times 10^{-4}\ \text{s}$$

$$f_P = \frac{1}{T_P} = \frac{1}{1{,}0 \times 10^{-4}} = 1{,}0 \times 10^{4}\ \text{Hz}$$

$f_P = 1{,}0 \times 10^4$ Hz $= 10$ kHz : valeur vérifiée.

COMPRENDRE
Contrôle : la période de l'enveloppe, 2,0 ms, est celle du signal modulant, $T_m = \dfrac{1}{f_m} = \dfrac{1}{500}$ s. Et $\dfrac{f_P}{f_m} = 20$.

MÉTHODE
Mesurer la durée d'un grand nombre de périodes, puis diviser : l'erreur de lecture est répartie sur 20 périodes au lieu d'une seule.

3.1.1 Quelle est la fonction de la partie n°1 (antenne, bobine et condensateur en dérivation) dans le montage ?

L'antenne capte de nombreuses ondes électromagnétiques, de fréquences différentes. Le dipôle L_0C_0 en dérivation est un circuit d'accord : il ne laisse subsister que les signaux de fréquence voisine de sa fréquence propre f_0.

La partie n°1 reçoit les signaux et sélectionne celui dont la porteuse a la fréquence voulue.

COMPRENDRE
C'est ce que l'on fait en choisissant une station sur un poste de radio : on règle C_0, donc f_0. Les circuits LC ne sont plus au programme actuel de spécialité.

3.1.2 Quelle valeur doit-on choisir pour C_0 pour que cette fonction soit effectivement remplie ?

Données utiles $L_0 = 2{,}5$ mH ; $f_0 = \dfrac{1}{2\pi\sqrt{L_0C_0}}$; $f_P = 10$ kHz ; aide : $\pi^2 \approx 10$

Le circuit doit être accordé sur la porteuse : $f_0 = f_P = 1{,}0 \times 10^4$ Hz.

$$f_0^2 = \frac{1}{4\pi^2 L_0 C_0} \text{ donc } C_0 = \frac{1}{4\pi^2 L_0 f_P^2}$$

$$C_0 = \frac{1}{4 \times 10 \times 2{,}5 \times 10^{-3} \times (1{,}0 \times 10^4)^2} = \frac{1}{1{,}0 \times 10^7}$$

$C_0 = 1{,}0 \times 10^{-7}$ F $= 0{,}10\ \mu$F

PIÈGE
Accorder le circuit sur 500 Hz : l'antenne reçoit le signal modulé, dont la fréquence est celle de la porteuse. Convertir aussi L_0 en henrys et f_P en hertz.

MÉTHODE
Sans calculatrice : $4 \times 10 \times 2{,}5 = 100 = 10^2$, puis $10^2 \times 10^{-3} \times 10^8 = 10^7$.

3.2 Sachant que $C = 500$ nF, choisir, en justifiant, la valeur de R qui convient le mieux au détecteur de crête parmi 20 Ω, 200 Ω, 2,0 kΩ et 20 kΩ.

Données utiles $f_P = 10$ kHz ; $f_m = 500$ Hz ; condition : $\tau = RC$ très supérieure à T_P et inférieure à T_m

$T_P = \dfrac{1}{f_P} = 1{,}0 \times 10^{-4}$ s et $T_m = \dfrac{1}{f_m} = \dfrac{1}{500} = 2{,}0 \times 10^{-3}$ s.

Il faut $T_P \ll RC < T_m$. Avec $C = 5{,}00 \times 10^{-7}$ F, la constante de temps $\tau = RC$ vaut :

- $R = 20\ \Omega$: $\tau = 1{,}0 \times 10^{-5}$ s, inférieure à T_P ;
- $R = 200\ \Omega$: $\tau = 1{,}0 \times 10^{-4}$ s, égale à T_P ;
- $R = 2{,}0$ kΩ : $\tau = 1{,}0 \times 10^{-3}$ s, soit $10\,T_P$ et $0{,}5\,T_m$;
- $R = 20$ kΩ : $\tau = 1{,}0 \times 10^{-2}$ s, supérieure à T_m.

$R = 2{,}0$ kΩ : c'est la seule valeur telle que $T_P \ll \tau < T_m$.

COMPRENDRE
Si τ est trop petite, le condensateur se décharge entre deux crêtes de la porteuse et la tension reste dentelée. Si τ est trop grande, la tension ne redescend pas assez vite pour suivre l'enveloppe.

MÉTHODE
On peut aussi encadrer R : $\dfrac{T_P}{C} \ll R < \dfrac{T_m}{C}$, soit $200\ \Omega \ll R < 4{,}0$ kΩ.

3.3 Quel est le rôle de la partie n°3 (conducteur ohmique R_1 et condensateur C_1) ?

À la sortie du détecteur de crête, la tension est proportionnelle à $u_1(t) = U_0 + U_m \cos(2\pi f_m t)$: elle contient encore une composante continue, liée à U_0.

La partie n°3 est un filtre qui élimine cette composante continue : $u_f(t)$ est alors une tension sinusoïdale de fréquence $f_m = 500$ Hz, image du signal sonore.

La partie n°3 supprime la composante continue (tension de décalage) pour restituer le signal modulant.

COMPRENDRE
Le schéma du sujet semble inverser les deux composants : pour arrêter une tension continue, le condensateur C_1 doit être en série et u_f prise aux bornes de R_1. Tel que dessiné, le filtre lisserait seulement les ondulations résiduelles.