Spécialité : La radio B.L.U.

Bac S 2009 Liban (ancien programme) · Exercice 4 **4 points** **Durée conseillée 52 min**

1.1 (Partie A) Rappeler l'intervalle des fréquences audibles par l'homme.

Sons audibles : $20\ \text{Hz} \leqslant f \leqslant 20\ \text{kHz}$

COMPRENDRE
En dessous de 20 Hz, ce sont les infrasons ; au-dessus de 20 kHz, les ultrasons. Ces bornes sont des ordres de grandeur, elles varient avec l'âge.

1.2 (Partie A) Donner au moins une raison pour laquelle une modulation est nécessaire pour transmettre un signal sonore par onde hertzienne.

Données utiles $c = 3{,}0 \times 10^8\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ (valeur à connaître)

Une antenne a une taille du même ordre de grandeur que la longueur d'onde de l'onde émise ou reçue. Pour une onde hertzienne de fréquence audible, par exemple $f = 1{,}0$ kHz :

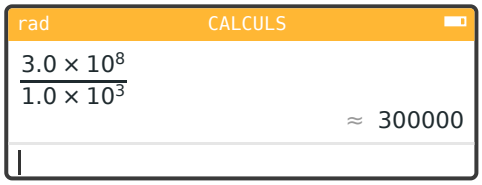
$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3{,}0 \times 10^8}{1{,}0 \times 10^3} = 3{,}0 \times 10^5\ \text{m} = 300\ \text{km}$$

Une telle antenne est irréalisable. De plus, tous les émetteurs occuperaient la même bande de fréquences (20 Hz à 20 kHz) : un récepteur ne pourrait pas les séparer.

Sans modulation, les antennes seraient gigantesques et les émissions se mélangeraient : on fait porter le signal par une onde de haute fréquence.

COMPRENDRE
Une seule raison suffit pour avoir les points. Chaque station reçoit sa propre fréquence de porteuse : le récepteur choisit la station en s'accordant sur cette fréquence.

À LA CALCULATRICE



2.1 (Partie A) Quel signal correspond à la porteuse ? Justifier.

Données utiles $v(t) = V_m \cos(2\pi F t)$ avec $F = 2{,}0$ kHz ; $u(t) = U_m \cos(2\pi f t) + U_0$ avec $f = 100$ Hz

La porteuse est le signal sinusoïdal de haute fréquence. Ici $F = 2{,}0\ \text{kHz} = 20\ f$: la fréquence de $v(t)$ est très supérieure à celle de $u(t)$.

Le signal $u(t)$, de basse fréquence, est le signal modulant auquel on a ajouté la tension continue de décalage U_0.

La porteuse est $v(t)$, de fréquence $F = 2{,}0$ kHz.

PIÈGE
Répondre sans comparer les fréquences. « Justifier » attend l'argument $F \gg f$; la présence de U_0 dans $u(t)$ est un second indice.

2.2 (Partie A) Montrer que $s(t)$ peut se mettre sous la forme $s(t) = A(t)\cos(2\pi Ft)$. Justifier le nom donné à ce type de modulation.

Données utiles $s(t) = k\,u(t)\,v(t)$

$s(t) = k\left[U_m\cos(2\pi ft) + U_0\right]V_m\cos(2\pi Ft)$

On regroupe tout ce qui multiplie $\cos(2\pi Ft)$:

$$A(t) = k\,V_m\left[U_m\cos(2\pi ft) + U_0\right] = k\,V_m\,U_0\left[1 + \frac{U_m}{U_0}\cos(2\pi ft)\right]$$

L'amplitude de la porteuse n'est plus la constante V_m : elle vaut $A(t)$, fonction affine du signal modulant, qui varie lentement à la fréquence f. C'est donc l'amplitude de la porteuse qui est modulée.

$s(t) = A(t)\cos(2\pi Ft)$ avec $A(t) = k\,V_m\left[U_m\cos(2\pi ft) + U_0\right]$: modulation d'**amplitude**.

COMPRENDRE
$A(t)$ oscille entre $kV_m(U_0 - U_m)$ et $kV_m(U_0 + U_m)$. En reportant dans la définition de la question 3, on obtient $m = U_m/U_0$: la condition $U_m < U_0$ assure $m < 1$.

3.1 (Partie A) Quelle condition doit satisfaire m pour pouvoir effectuer une démodulation correcte par détection d'enveloppe ?

Il faut que $A(t)$ reste toujours positive : l'enveloppe de $s(t)$ a alors la même forme que le signal modulant. Cela impose $A_{\min} > 0$.

$m < 1$ (pas de surmodulation)

COMPRENDRE
Si $m > 1$, $A(t)$ change de signe : les enveloppes haute et basse se croisent et le détecteur d'enveloppe restitue un signal déformé.

3.2 (Partie A) Déterminer la valeur du taux de modulation m en utilisant le graphe.

Données utiles $m = \dfrac{A_{\max} - A_{\min}}{A_{\max} + A_{\min}}$; oscillogramme de $s(t)$

On lit sur l'enveloppe supérieure de $s(t)$: au plus haut $A_{\max} = 1{,}8$ V, au plus bas (vers $t = 10$ ms) $A_{\min} = 0{,}6$ V.

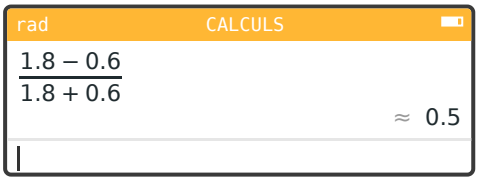
$$m = \frac{1{,}8 - 0{,}6}{1{,}8 + 0{,}6} = \frac{1{,}2}{2{,}4}$$

$m = 0{,}50$: inférieur à 1, la modulation est correcte.

PIÈGE
Prendre pour $A_{\min}$ la valeur la plus basse de $s(t)$, soit $-1{,}8$ V. $A_{\max}$ et $A_{\min}$ se lisent toutes deux du même côté, sur l'enveloppe supérieure.

COMPRENDRE
Lecture graphique à 0,1 V près : deux chiffres significatifs au plus. m est un rapport de tensions, il n'a pas d'unité.

À LA CALCULATRICE

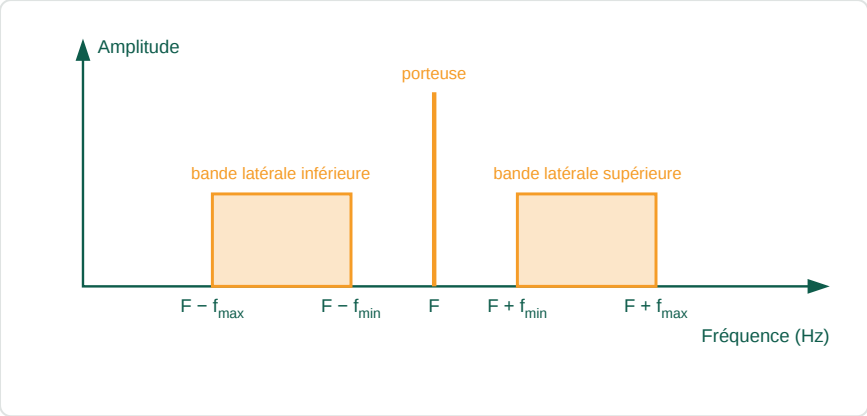


1 (Partie B) Donner l'allure du spectre si le signal modulant est un signal complexe comportant plusieurs fréquences comprises entre $f_{\min}$ et $f_{\max}$.

Chaque fréquence f du signal modulant donne deux raies, en $F - f$ et en $F + f$. Avec toutes les fréquences de $f_{\min}$ à $f_{\max}$, les raies latérales deviennent deux bandes, symétriques par rapport à la raie de la porteuse.

Raie de la porteuse en F, encadrée par les bandes $[F - f_{\max}\,;\,F - f_{\min}]$ et $[F + f_{\min}\,;\,F + f_{\max}]$.

PIÈGE
Inverser les bornes de la bande inférieure : la fréquence la plus éloignée de F est $F - f_{\max}$, pas $F - f_{\min}$.



1 · Spectre du signal modulé par un signal complexe

2.1 (Partie B) Justifier le nom « filtre passe-bande » donné à ce dispositif.

L'amplitude de sortie U_S n'est importante que pour les fréquences voisines de f_0, dans l'intervalle $[f_{c1}\,;\,f_{c2}]$ où $U_S \geqslant \dfrac{U_{S\,\max}}{\sqrt{2}}$. En dehors, elle est très faible : ces signaux sont pratiquement éliminés.

Le filtre ne laisse passer qu'une bande de fréquences, $[f_{c1}\,;\,f_{c2}]$, centrée sur f_0 : c'est un passe-bande.

2.2 (Partie B) Montrer par analyse dimensionnelle que l'expression $f_0 = \dfrac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ peut convenir.

Les constantes de temps $\tau = RC$ (dipôle RC) et $\tau = \dfrac{L}{R}$ (dipôle RL) sont des durées : $[RC] = \mathrm{T}$ et $\left[\dfrac{L}{R}\right] = \mathrm{T}$.

Or $LC = \dfrac{L}{R} \times RC$, donc $[LC] = \mathrm{T}^2$ et $\left[\sqrt{LC}\right] = \mathrm{T}$.

Le facteur 2π est sans dimension :

$\left[\dfrac{1}{2\pi\sqrt{LC}}\right] = \mathrm{T}^{-1}$: c'est la dimension d'une fréquence, l'expression peut convenir.

COMPRENDRE
« Peut convenir » : l'analyse dimensionnelle valide l'homogénéité, pas le facteur 2π, qui est sans dimension.

MÉTHODE
Autre voie, sans constantes de temps : $u_L = L\dfrac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t}$ donne $[L] = \mathrm{U}\cdot\mathrm{T}\cdot\mathrm{I}^{-1}$ et $i = C\dfrac{\mathrm{d}u_C}{\mathrm{d}t}$ donne $[C] = \mathrm{I}\cdot\mathrm{T}\cdot\mathrm{U}^{-1}$; le produit vaut T^2.

2.3 (Partie B) En supposant la bande passante $[f_{c1}\,;\,f_{c2}]$ étroite, quelle valeur doit-on choisir pour f_0 ?

Données utiles $F = 2{,}0$ kHz ; $f = 100$ Hz

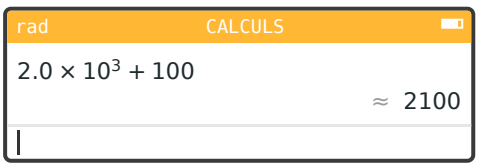
Le filtre ne doit conserver que la raie de fréquence $F + f$. La bande passante étant étroite, elle doit être centrée sur cette raie pour éliminer la porteuse (F) et la raie $F - f$.

$f_0 = F + f = 2{,}0 \times 10^3 + 100 = 2{,}1 \times 10^3$ Hz

$f_0 = F + f = 2{,}1$ kHz

COMPRENDRE
Pour un signal modulant complexe, on centre le filtre sur le milieu de la bande latérale supérieure : $f_0 = F + \dfrac{f_{\min} + f_{\max}}{2}$, avec une bande passante couvrant $[F + f_{\min}\,;\,F + f_{\max}]$.

À LA CALCULATRICE

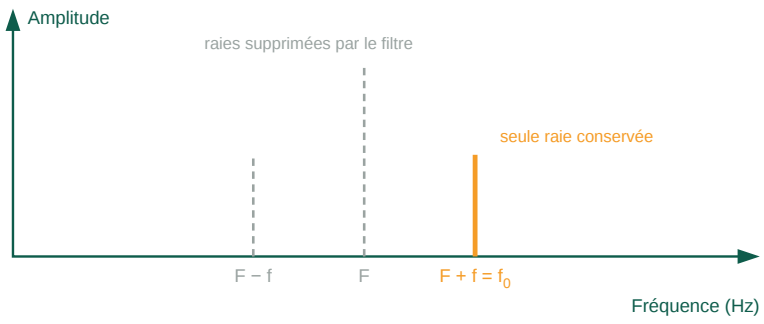


2.4 (Partie B) Représenter, dans ce cas, le spectre du signal obtenu à la sortie du filtre.

Le filtre, centré sur $f_0 = F + f$, élimine la porteuse et la raie latérale inférieure.

Le spectre ne contient plus qu'une seule raie, à la fréquence $F + f = f_0$.

COMPRENDRE
Si l'on prend le signal modulant complexe, la sortie du filtre est la seule bande $[F + f_{\min} ; F + f_{\max}]$: les deux représentations sont acceptables.



2.4 · Spectre à la sortie du filtre : une seule raie, de fréquence $F + f$

3 (Partie B) Justifier que le signal « B.L.U. » a une plus grande portée qu'un signal en modulation d'amplitude classique pour un émetteur de puissance donnée.

En modulation d'amplitude classique, la puissance de l'amplificateur se partage entre la porteuse et les deux bandes latérales. La porteuse, de plus grande amplitude, en reçoit la plus grande part alors qu'elle ne contient aucune information ; les deux bandes portent la même information.

En B.L.U., la porteuse et une bande sont supprimées : toute la puissance va à la seule bande latérale restante.

À puissance d'émetteur égale, la bande utile est émise avec plus de puissance en B.L.U. : le signal porte plus loin.

COMPRENDRE
Le récepteur B.L.U. doit recréer lui-même une porteuse de fréquence F pour retrouver le signal sonore : c'est le prix de cette économie de puissance.