Spécialité : La modulation d'amplitude

Bac S 2005 Antilles-Guyane (ancien programme) · Exercice 3 **4 points** **Durée conseillée 52 min**

1.1 Retrouver, parmi les cinq propositions, le nom des quatre dispositifs électroniques numérotés sur le schéma 1.

① : générateur HF, il fournit la porteuse.

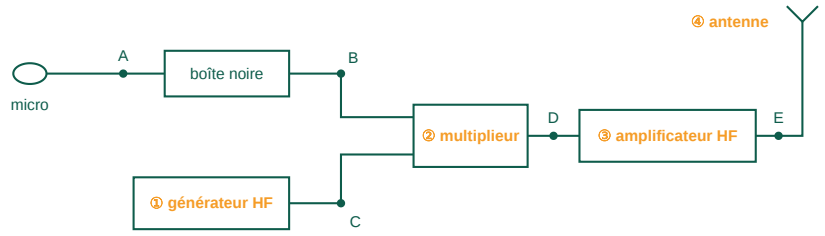
② : multiplieur, il reçoit deux tensions et en délivre une seule.

③ : amplificateur HF, placé juste avant l'émission.

④ : antenne, elle émet l'onde électromagnétique.

① générateur HF ; ② multiplieur ; ③ amplificateur HF ; ④ antenne.
Le voltmètre n'intervient pas.

COMPRENDRE
La modulation ne figure plus au programme actuel de spécialité de terminale. L'exercice reste un bon entraînement à la lecture d'un oscillogramme et au lien entre période et fréquence.



1.1 · Schéma 1 complété

1.2 Quels sont les signaux obtenus en B, C et D : porteuse, signal modulant BF ou signal modulé ?

En B, après la boîte noire : le signal modulant BF, $u_S(t) + U_0$.

En C, à la sortie du générateur HF : la porteuse, $u_P(t) = U_{P(\max)} \cos(2\pi F t)$.

En D, à la sortie du multiplieur : le signal modulé, $u_m(t)$.

B : signal modulant $u_S(t) + U_0$; C : porteuse $u_P(t)$; D : signal modulé $u_m(t)$.

MÉTHODE
Suivre la chaîne de gauche à droite : chaque point porte le signal délivré par le dispositif placé juste avant lui.

1.3 Une boîte noire est intercalée entre A et B. Quel est son rôle ?

En A la tension est $u_S(t)$; en B elle vaut $u_S(t) + U_0$.

La boîte noire ajoute à $u_S(t)$ une tension continue U_0 (tension de décalage).

COMPRENDRE
Ce décalage rend la tension $u_S(t) + U_0$ toujours positive si $U_0 > U_{S(\max)}$: c'est la condition qui évite la surmodulation (questions 2.3.3 et 2.4.1).

1.4 Quelle opération effectue le dispositif ② : la somme ou le produit de $u_S(t) + U_0$ et de $u_P(t)$?

Dans l'expression donnée, on reconnaît $u_P(t) = U_{P(\max)} \cos(2\pi F t)$, donc :

$$u_m(t) = k\left(U_0 + u_S(t)\right) \times u_P(t)$$

Le dispositif ② effectue le produit $(u_S(t) + U_0) \times u_P(t)$, à la constante k près, caractéristique du multiplieur.

PIÈGE
Une somme donnerait deux termes séparés, $u_S(t) + U_0$ et $u_P(t)$, sans le produit du cosinus par $U_0 + u_S(t)$: l'amplitude de la porteuse ne varierait pas.

2.1 Estimer les périodes T_S du signal modulant et T_P de la porteuse à partir de l'oscillogramme.

Données utiles aide au calcul : $\dfrac{6{,}75}{40} = 0{,}169$

Voie X (signal modulant) : les maximums successifs sont à $2{,}25$ ms, $4{,}5$ ms et $6{,}75$ ms. Trois périodes durent $6{,}75$ ms :

$$T_S = \frac{6{,}75}{3} = 2{,}25 \text{ ms}$$

Voie Y (signal modulé) : on compte environ 40 oscillations de la porteuse pendant ces $6{,}75$ ms :

$$T_P = \frac{6{,}75}{40} = 0{,}169 \text{ ms}$$

$T_S = 2{,}25$ ms et $T_P \approx 0{,}17$ ms

COMPRENDRE
Sans calculatrice, le tableau d'aide oriente le calcul : $6{,}75 \div 40$ confirme le comptage de 40 oscillations. Les autres quotients du tableau ne servent pas tous.

MÉTHODE
Mesurer la durée de plusieurs périodes puis diviser : l'erreur de lecture est répartie sur 3 ou 40 périodes au lieu d'une seule.

2.2 Rappeler l'expression de la fréquence f en fonction de la période T, avec les unités, puis calculer f (signal modulant) et F (porteuse).

Données utiles $T_S = 2{,}25$ ms et $T_P = \dfrac{6{,}75}{40}$ ms (2.1) ; aides : $\dfrac{1}{2{,}25} = 0{,}444$; $\dfrac{40}{6{,}75} = 5{,}93$

$f = \dfrac{1}{T}$, avec f en hertz (Hz) et T en seconde (s).

Signal modulant : $f = \dfrac{1}{T_S} = \dfrac{1}{2{,}25 \times 10^{-3}} = 0{,}444 \times 10^3$ Hz

Porteuse : $F = \dfrac{1}{T_P} = \dfrac{40}{6{,}75 \times 10^{-3}} = 5{,}93 \times 10^3$ Hz

$f = 444$ Hz et $F = 5{,}93 \times 10^3$ Hz $= 5{,}93$ kHz

PIÈGE
Laisser les périodes en millisecondes : on obtiendrait $0{,}444$ et $5{,}93$ sans le facteur 10^3. Diviser par 10^{-3} revient à multiplier par 10^3.

COMPRENDRE
Trois chiffres significatifs, comme les durées lues ($2{,}25$ ms ; $6{,}75$ ms). Le nombre d'oscillations étant estimé, la valeur de F reste approchée.

2.3.1 Déterminer les valeurs maximale $U_{m(\max)}$ et minimale $U_{m(\min)}$ de l'amplitude du signal modulé.

On lit sur l'axe vertical les deux niveaux repérés en pointillés sur l'enveloppe supérieure de la voie Y : le plus haut est un peu au-dessus de 3 V, le plus bas un peu en dessous de 1 V.

$U_{m(\max)} \approx 3{,}2$ V et $U_{m(\min)} \approx 0{,}8$ V

PIÈGE
$U_{m(\min)}$ n'est pas la valeur la plus basse de la courbe (environ $-3{,}2$ V) : c'est la plus petite amplitude, lue au creux de l'enveloppe supérieure.

2.3.2 En déduire la valeur du taux de modulation m.

Données utiles $U_{m(\max)} = 3{,}2$ V ; $U_{m(\min)} = 0{,}8$ V (2.3.1)

$$m = \frac{U_{m(\max)} - U_{m(\min)}}{U_{m(\max)} + U_{m(\min)}} = \frac{3{,}2 - 0{,}8}{3{,}2 + 0{,}8} = \frac{2{,}4}{4{,}0}$$

$m = 0{,}60$

COMPRENDRE
m est un rapport de tensions : il n'a pas d'unité. Ici $m < 1$, la modulation est correcte.

2.3.3 À quoi correspondrait un taux de modulation m supérieur à 1 ?

Si $m > 1$, il y a surmodulation : l'enveloppe du signal modulé ne reproduit plus la forme du signal modulant, qui ne peut plus être restitué fidèlement à la réception.

COMPRENDRE
Avec $m > 1$, la tension $u_S(t) + U_0$ devient négative par moments : les enveloppes supérieure et inférieure se croisent et l'information est déformée.

2.4.1 Quelle condition doit-on satisfaire pour obtenir un taux de modulation $m < 1$?

$m = \dfrac{U_{S(\max)}}{U_0} < 1$ avec $U_0 > 0$, donc $U_{S(\max)} < U_0$.

Il faut $U_0 > U_{S(\max)}$: la tension de décalage doit être supérieure à l'amplitude du signal modulant.

2.4.2 Quelle autre condition est nécessaire pour obtenir une bonne modulation ?

Données utiles $f = 444$ Hz ; $F = 5{,}93 \times 10^3$ Hz (2.2)

La fréquence de la porteuse doit être très supérieure à celle du signal modulant.

Ici $F = 5{,}93$ kHz et $f = 0{,}444$ kHz : F est environ 13 fois plus grande que f.

Il faut $F \gg f$; c'est le cas ici ($F \approx 13\,f$).

COMPRENDRE
Plus la porteuse oscille vite devant le signal modulant, mieux son enveloppe dessine ce signal. En radio AM réelle, le rapport dépasse largement 100.

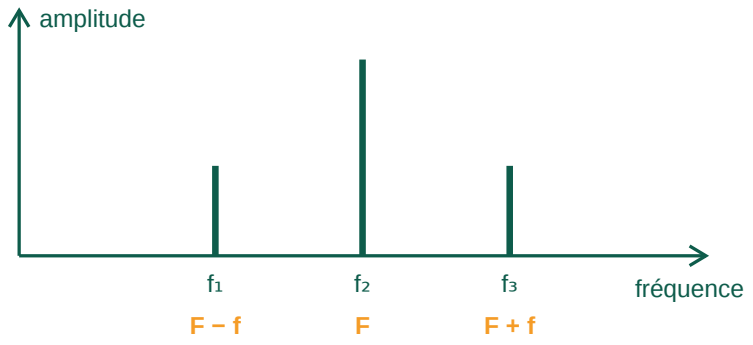
2.4.3 Exprimer les trois fréquences f_1, f_2, f_3 du spectre du signal modulé en fonction de f et de F.

Données utiles $f = 444$ Hz ; $F = 5{,}93 \times 10^3$ Hz (2.2)

Le pic central, le plus haut, est celui de la porteuse. Les deux pics latéraux, de même hauteur, sont placés symétriquement à la distance f de part et d'autre.

$f_1 = F - f$; $f_2 = F$; $f_3 = F + f$

COMPRENDRE
Le produit de deux cosinus de fréquences F et f est une somme de deux cosinus de fréquences $F - f$ et $F + f$: d'où les deux raies latérales. Ici $f_1 \approx 5{,}49$ kHz et $f_3 \approx 6{,}37$ kHz.



2.4.3 · Spectre du signal modulé, complété