

TD n° 2

Exercice 1 :

Un signal modulé en amplitude est représenté Figure 1. Il s'agit d'une modulation d'amplitude. Le signal porteur est à $f_0 = 100$ kHz, le signal modulant est un signal sinusoïdal à 100 Hz.

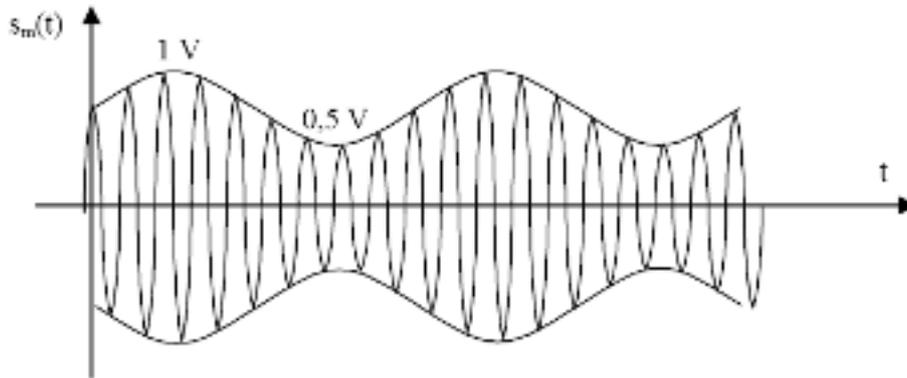


Figure 1 : Signal modulé

- 1 – Retrouvez l'expression de l'onde porteuse non modulée et de l'onde modulante. Quel est le taux de modulation ?
- 2 – Représentez le spectre du signal modulé $s_m(t)$. Quelle est la bande de fréquence occupée ?
- 3 – Calculez la puissance contenue dans la porteuse (sur 50Ω) ; la puissance contenue hors de la porteuse.
- 4 – Représentez l'allure du spectre si cette fois-ci le signal modulant est un signal carré.
- 5 – Quel est l'avantage de la démodulation cohérente ?

Solution

L'utilisation d'un circuit de démodulation extrêmement simple: le détecteur d'enveloppe.

Exercice 2

- a) Quel avantage présente la modulation DSB par rapport à la modulation SSB ?
- b) Pour quelle raison les stations de radiodiffusion émettent-elles en AM et non en SSB ?
- c) Quel est l'avantage de la démodulation cohérente ?

Solution

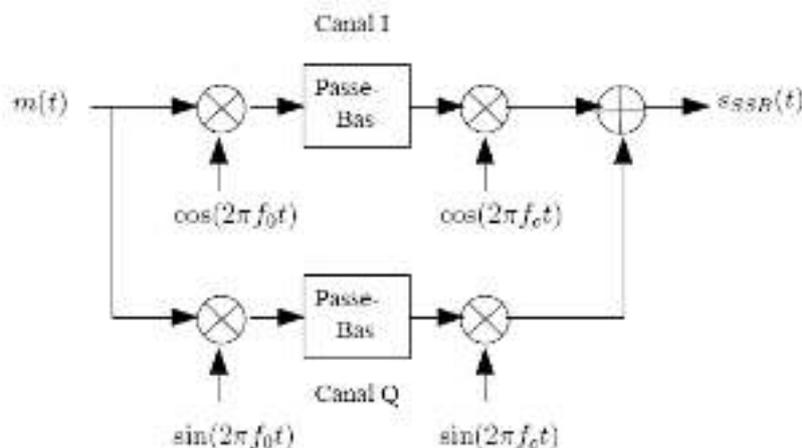
- a) L'amélioration très sensible du rapport signal sur bruit à la sortie du démodulateur.
- b) Pour être correctement transmis au capté, un signal SSB nécessite des filtres extrêmement précis. Les filtres usuels n'ont pas des caractéristiques satisfaisantes, aussi éliminent-ils une partie des fréquences audio limites (basses et hautes). Il est donc plus pratique d'utiliser la modulation AM, quoique plus d'énergie soit investie pour la transmission.
- c) L'utilisation d'un circuit de démodulation extrêmement simple: le détecteur d'enveloppe.

Exercice 3 : Modulation SSB

La figure suivante illustre la méthode de Weaver pour générer des signaux de type SSB. Le signal modulant $m(t)$ a une bande limitée à $f_a < |f| < f_b$.

Le premier oscillateur produit une fréquence $f_0 = (f_b + f_a)/2$. Les 2 filtres passe-bas sont identiques, avec une fréquence de coupure égale à $(f_b - f_a)/2$. Le second oscillateur produit une fréquence $f_c > (f_b - f_a)/2$.

1. Esquisser les spectres des signaux aux différents points du modulateur.
2. Montrer que seule la bande supérieure est transmise. Que faudrait-il modifier pour ne transmettre que la bande inférieure?



solution :

- Le signal modulant $m(t)$ est un signal à bande étroite autour de f_0 , on peut donc écrire $m(t) = m_I(t) \cos(2\pi f_0 t) + m_Q(t) \sin(2\pi f_0 t)$.
- Les 2 premiers étages du système (2 mélangeurs et 2 passe-bas) effectuent l'extraction des composantes de Rice, la sortie s'écrit donc $s_{SSB}(t) = m_I(t) \cos(2\pi f_c t) + m_Q(t) \sin(2\pi f_c t)$.
- En comparant avec l'expression de base d'un signal SSB à lobes supérieurs sur porteuse à fréquence f_s , soit $s_{SSB}(t) = m(t) \cos(2\pi f_s t) - \hat{m}(t) \sin(2\pi f_s t)$, on constate que le circuit proposé produit effectivement le signal souhaité avec $f_s = f_c - f_0$.
- Pour obtenir le signal SSB à lobes inférieurs, il suffit de soustraire les signaux des 2 branches plutôt que de les additionner.
- Les résultats précédents peuvent être également obtenus sur base de l'analyse des spectres.

Exercice 4

Le signal porteuse $p(t) = A_p \cos 2\pi f_p t$ est modulé en amplitude par le signal $x(t) = B_m + A_m \cos 2\pi f_m t$; $0 < f_m \ll f_p$.

- 1) Quelles sont les composantes harmoniques du signal modulé $y(t) = x(t)p(t)$?

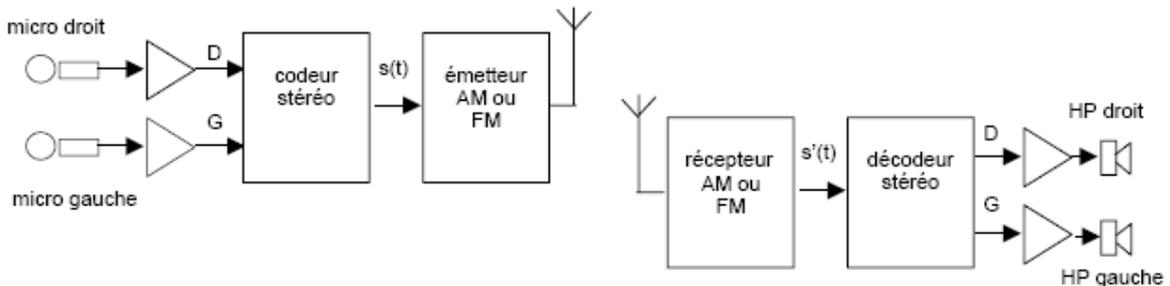
- 2) Quelle est la transformée de Fourier de $\cos 2f_0 t$ et $\sin 2f_0 t$?
- 3) Retrouver le résultat de (1) avec la TF.
- 4) Pour optimiser l'énergie nécessaire à l'émission, comment peut-on modifier $x(t)$. On considère que l'oreille humaine est peu sensible aux fréquences très basses.
- 5) On dispose d'un récepteur AM dans la bande 10 MHz, comment détecter un signal $x(t)$ qui module une porteuse de fréquence $f_p = 100$ MHz ?

Exercice 5 : Stéréophonie

Pour obtenir un effet stéréophonique, il faut transmettre simultanément deux signaux :

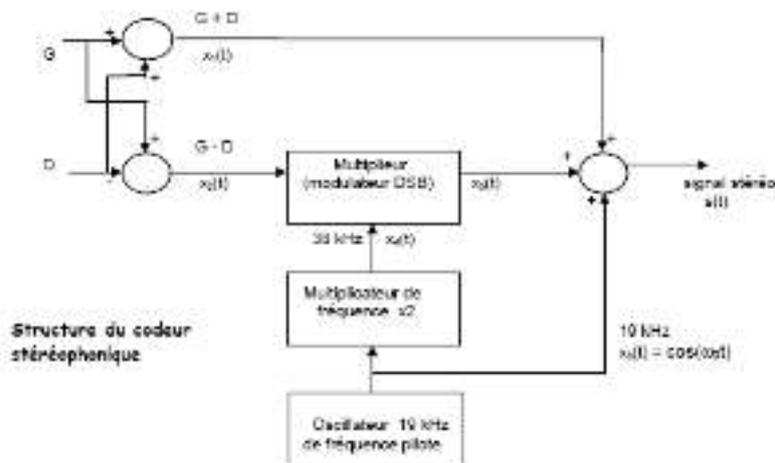
- le canal droit D capté par le microphone placé du côté droit
- le canal gauche G capté par le microphone placé du côté gauche

A l'émission, ces deux signaux D et G sont combinés par le codeur stéréo qui fournit un signal basse-fréquence composite stéréo $s(t)$ qui va moduler la porteuse de l'émetteur

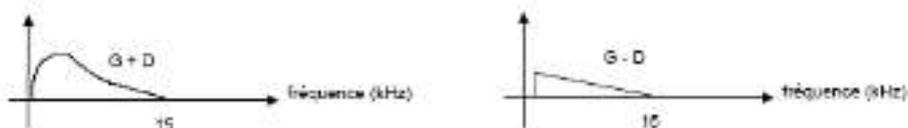


A la réception, ces deux voies devront à nouveau être séparées pour être envoyées sur les haut-parleurs droit et gauche.

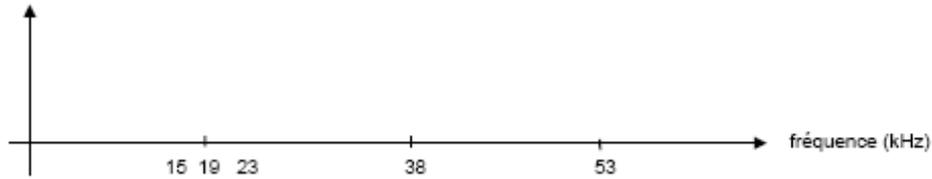
Le codeur stéréo élabore d'abord les signaux « somme » $x_1(t) = G + D$ et « différence » $x_2(t) = G - D$:



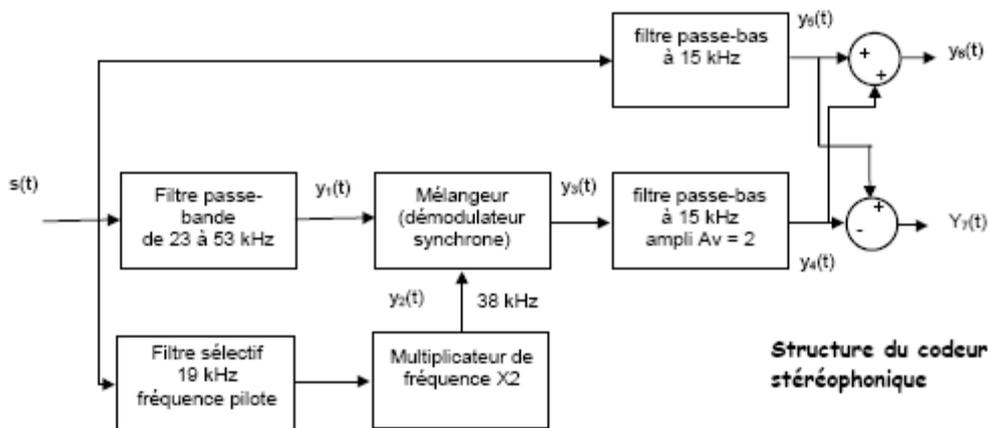
Sachant que dans la bande FM le signal audio est limité en fréquence à 15 kHz, les spectres des signaux $G+D$ et $G-D$ ont à un instant donné l'allure idéalisée suivante :



1) Dessiner le spectre du signal modulé en bande latérale double $x_3(t)$ puis celui du signal codé stéréo $s(t)$ complet.



2) En supposant que le multiplicateur de fréquence et le multiplieur n'introduisent ni amplification ni atténuation, donner l'expression mathématique des signaux $x_4(t)$, $x_5(t)$ et $s(t)$. Ce signal $s(t)$ est transmis par l'émetteur au récepteur qui fournit à la sortie du démodulateur un signal $s'(t)$ qu'on supposera identique à $s(t)$.



3) Donner les expressions mathématiques des signaux $y_1(t)$, $y_2(t)$, $y_3(t)$, $y_4(t)$, $y_5(t)$, $y_6(t)$ et $y_7(t)$.

4) Un récepteur monophonique envoie directement le signal $s(t)$ sur l'amplificateur audio. Quel est alors le signal entendu par l'auditeur ?

5) Par quel dispositif simple pourrait-on détecter la présence d'une émission « stéréo » pour mettre en service le décodeur ?