Durée : 3h

DÉMODULATION COHÉRENTE

Une information s(t) est transmise en modulation d'amplitude par une porteuse à la fréquence f_0 de 1 MHz. Le signal modulé est du type :

$$e(t) = E\,[1 + ks(t)]\sin\omega_0 t$$

alors qu'en l'absence de modulation, la porteuse est du type :

$$e_p(t) = E\sin\omega_0 t$$

k étant une constante dépendant du modulateur.

Dans le cas d'une information sinusoïdale basse fréquence du type :

$$s(t) = S\cos\Omega t$$

e(t) se met sous la forme :

$$e(t) = E\,[1 + m\cos\Omega t]\sin\omega_0 t$$

où m est le taux de modulation, soit m = kS.

Le problème de la démodulation consiste à retrouver, à partir de l'onde modulée, l'information d'origine. On peut envisager en particulier deux types de démodulation (ou détection) :

- la détection d'enveloppe ou détection apériodique, où le signal modulé est redressé puis filtré.
- la détection cohérente ou synchrone, objet du problème.

Le problème comporte trois parties, indépendantes les unes des autres.

I - PRINCIPE DE LA DÉMODULATION COHÉRENTE :

1.1 - Le circuit multiplieur représenté figure 1 délivre une tension de sortie $u = K_1 e.e_0$, K_1 étant un coefficient positif.

Vis-à-vis de la sortie, il se comporte comme un générateur de tension, d'impédance interne nulle.

Les signaux e(t) et $e_0(t)$ sont respectivement l'onde modulée en amplitude, soit
$e(t) = E\,(1 + m\cos\Omega t)\sin\omega_0 t$ et un signal d'amplitude constante et de même pulsation que la porteuse, soit $e_0(t) = E_0\sin\omega_0 t$.

Exprimer le signal de sortie u(t) et montrer que son spectre comporte 5 composantes que l'on précisera.

1.2 - Comment peut-on faire pour ne conserver que l'information basse fréquence et une image de l'amplitude de la porteuse ?

1.3 - Quelle peut être l'utilité de conserver une image de l'amplitude de la porteuse ?

II - FILTRE PASSE BAS (F1) :

On fait suivre le multiplieur précédent d'un filtre passe-bas dont le schéma est donné figure 2. Montrer que la transmittance de ce filtre s'écrit :

$$I(\omega) = \frac{V}{U} = \frac{-1}{1 + 2jk\frac{\omega}{\omega_c} + (j^2)\frac{\omega^2}{\omega_c^2}} \qquad \text{avec} \quad \begin{cases} k = \dfrac{3}{2\sqrt{n}} \\ \omega_c = \dfrac{1}{\sqrt{n}.RC} \end{cases}$$

2.1 - On s'impose une valeur de $k = \frac{1}{\sqrt{2}}$ et une atténuation de 80 dB à la fréquence de 2 MHz.

- Justifiez le choix de cette fréquence.
- On choisit C = 1000 pF. Calculer n, ω_c, R.

2.2 - Représenter le diagramme de Bode du filtre (amplitude et phase).

2.3 Représenter les signaux e(t) et v(t) pour des taux de modulation m inférieurs et supérieurs à 1. Comparer les signaux obtenus à la sortie du filtre avec ceux que l'on obtiendrait dans le cas d'une détection d'enveloppe. Que peut-on conclure ?

figure 1

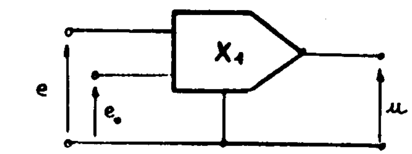
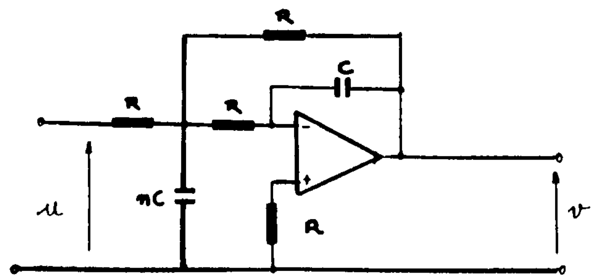


figure 2



III - RECONSTITUTION DE LA PORTEUSE :

Le signal reçu à l'entrée du récepteur est modulé en amplitude. Il ne peut donc pas constituer le signal $e_0(t)$ à l'entrée du multiplieur de la figure 1. Pour reconstituer la porteuse à partir du signal e(t), on utilise une boucle à verrouillage de phase (figure 3) comprenant :

- un multiplieur X2, identique à celui de la figure 1,
- un filtre passe-bas F2 dont la transmittance est égale à 1 pour tous les signaux de fréquence très inférieure à f_0,
- un oscillateur contrôlé en tension, OCT, délivrant un signal sinusoïdal d'amplitude constante E_s et de pulsation ω_s proportionnelle à la tension de sortie du filtre F2 :

$$\omega_s = \omega_0 + K_0 v_c$$

d'où $v_s(t) = E_s \cos(\omega_0 t + \varphi_s)$, E_s étant une constante

avec $\dfrac{d\varphi_s}{dt} = K_0 v_c$ K_0 étant positif.

La boucle est dite « verrouillée » quand la fréquence du signal incident est égale à celle du signal de sortie de l'oscillateur contrôlé.

3.1 - Pour des tensions $v_e(t) = E \sin(\omega_0 t + \varphi_e)$ et $v_s(t) = E_s \cos(\omega_0 t + \varphi_s)$ et si $\left|\dfrac{d\varphi_e}{dt}\right|$ et $\left|\dfrac{d\varphi_s}{dt}\right|$ restent très inférieurs à ω_0, montrer que la valeur de la tension de sortie du filtre F2 est :

$$v_c = K_d \sin(\varphi_e - \varphi_s)$$

Donner la valeur de K_d.

Quand la boucle est verrouillée qu'en déduisez-vous quant à la différence de phase des signaux d'entrée et de sortie ?

Montrer que, pour un régime proche du verrouillage, on peut admettre que : $v_c \simeq K_d(\varphi_e - \varphi_s)$.

3.2 - Le signal $v_e(t)$ est maintenant un signal modulé en amplitude du type :

$$v_e(t) = e(t) = E(1 + m \cos \Omega t) \sin \omega_0 t$$

Exprimer la tension de commande de l'oscillateur contrôlé en tension en admettant l'approximation du paragraphe précédent (régime proche du verrouillage) et en déduire l'équation différentielle donnant $\varphi_s(t)$.

Résoudre cette équation différentielle et en déduire que φ_s tend vers 0 rapidement.

En déduire que le signal de sortie de l'oscillateur contrôlé se fixe rapidement à la valeur $v_s(t) \simeq E_s \cos \omega_0 t$, qu'il y ait ou non une modulation d'amplitude sur la porteuse.

3.3 - On fait suivre l'oscillateur contrôlé d'un quadripôle introduisant un déphasage φ et une atténuation A à la fréquence f_0 (F3).

Quelle doit être la valeur de φ pour obtenir le signal $e_0(t)$ de la première partie ?

L'atténuation introduite par le quadripôle a-t-elle une importance ?

Quelle serait la valeur du signal de sortie v(t) si φ avait une valeur quelconque ?

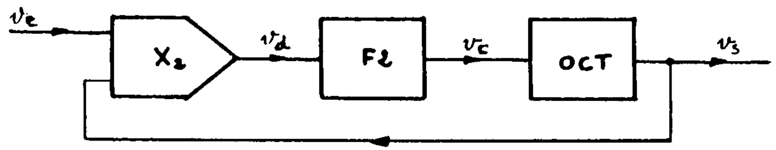


figure 3

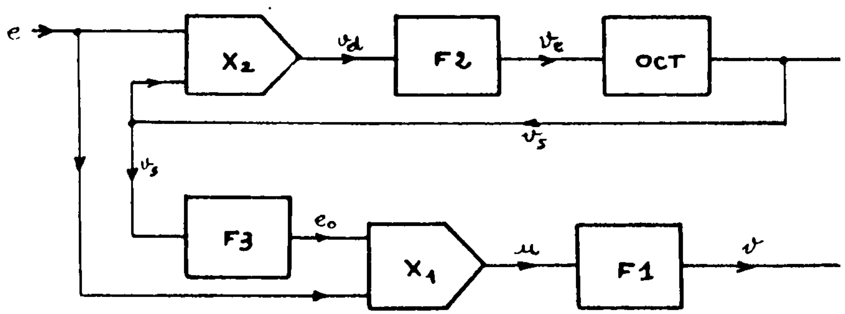


Schéma d'ensemble du détecteur synchrone

FORMULAIRE

$2 \cos a \cos b = \cos(a+b) + \cos(a-b)$

$2 \sin a \cos b = \sin(a+b) + \sin(a-b)$

$2 \sin^2 a = 1 - \cos 2a$