

Institut Préparatoire aux Etudes d'Ingénieur de Sfax



Devoir de contrôle de Physique Semestre 1

MP2
A.U : 2022-2023
Durée : 2H

Données utiles :

$$\sin(p + q) + \sin(p - q) = 2 \sin(p) \cos(q)$$

$$\cos(p + q) + \cos(p - q) = 2 \cos(p) \cos(q)$$

$$1 - \cos(2\theta) = 2 \sin^2(\theta)$$

Démodulation de signaux modulés en amplitude

Il est fréquent qu'un signal se présente sous une forme inadaptée à sa transmission ou à son traitement. La *modulation* est le procédé permettant de transposer les caractéristiques de ce signal dans des domaines où la propagation ou le traitement sont possibles. La *démodulation* est l'opération inverse. Les méthodes de modulation se sont élaborées à partir d'une onde sinusoïdale pure, appelée *porteuse*. La modulation consiste à faire en sorte que l'amplitude, ou la phase (ou les deux) varient proportionnellement au signal de départ, appelé *signal modulant*. Le résultat s'appelle *signal modulé*. La modulation d'amplitude appartient à la classe des modulations dites linéaires et il en existe plusieurs variantes. Celle qui fait l'objet de ce problème est la plus populaire, c'est la *double bande avec porteuse*.

A. Détection d'enveloppe

À partir d'un signal $e(t) = E \cos(\Omega t)$ et d'une porteuse haute fréquence $p(t) = S \sin(\omega_0 t)$. ($\omega_0 \gg \Omega$), on génère le signal modulé $s(t) = S[1 + ke(t)] \sin(\omega_0 t)$, porteur de l'information initiale, et qui sera transmis.

1. On définit le taux de modulation par $m = kE$. Représenter le signal modulé en amplitude $s(t)$ dans les deux cas $m < 1$ et $m > 1$. Préciser les valeurs remarquables prises par $s(t)$.

2. En déduire qu'une *détection d'enveloppe* peut restituer l'information $e(t)$ à une condition que l'on précisera.

3. Représenter la décomposition spectrale du signal $s(t)$.

4. Reprendre la question précédente lorsque l'information à transmettre $e(t)$ possède un spectre fréquentiel continu, analogue à celui de la figure 1.

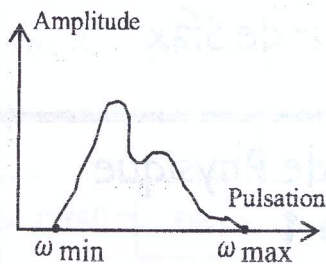


Fig. 1 : spectre continu

B. Boucle à verrouillage de phase

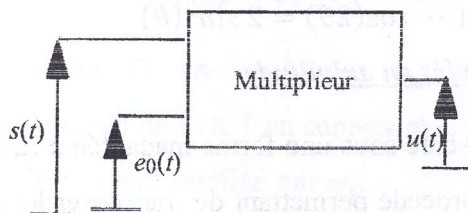


Fig.2 multiplieur

Le signal $s(t) = S[1 + ke(t)] \sin(\omega_0 t)$ avec $e(t) = E \cos(\Omega t)$ est modulé en amplitude. Le circuit multiplieur délivre la tension $u(t) = Ks(t)e_0(t)$ où $e_0(t) = E_0 \sin(\omega_0 t)$ désigne un signal d'amplitude constante E_0 de même fréquence $f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi} = 1\text{MHz}$ que celle de la porteuse. Vis-à-vis de la sortie, le multiplieur (fig. 2) se comporte comme un générateur de tension d'impédance interne nulle.

5. Exprimer $u(t)$ et préciser les différentes composantes de son spectre.
6. Comment peut-on conserver les informations sur l'amplitude de la porteuse et sur la pulsation Ω .
7. Le circuit multiplieur alimente le filtre de la figure 3, où l'amplificateur opérationnel est supposé parfait. Déterminer la fonction de transfert du filtre (fig.3) en régime sinusoïdal permanent. Préciser la nature du filtrage effectué ainsi que l'ordre du filtre. Écrivant la fonction de transfert du filtre sous la forme canonique

$$H(j\omega) = \frac{H_0}{1 + 2j\alpha \frac{\omega}{\omega_c} - \frac{\omega^2}{\omega_c^2}}$$

8. Préciser les expressions des coefficients H_0 , α et celle de la pulsation caractéristique ω_c .

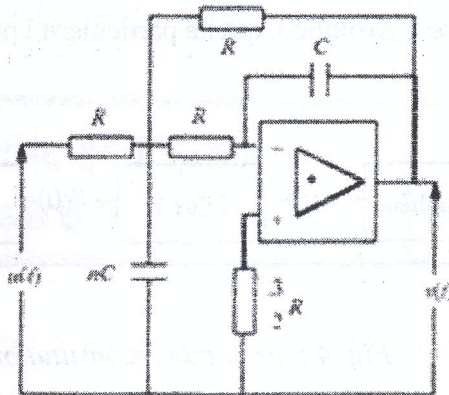


Fig. 3 : circuit de filtrage

9. On impose $\alpha = \frac{1}{\sqrt{2}}$ et une atténuation de 80 dB à $2\omega_0$. Justifier le choix de cette fréquence et calculer n , ω_c et R lorsque $C = 1 \text{ nF}$ et $f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi} = 1 \text{ MHz}$.
10. Commenter la valeur numérique obtenue pour ω_c .
11. Représenter le diagramme de Bode associé à la fonction de transfert $H(j\omega)$ (module et phase).
12. Représenter les signaux $e(t)$ et $v(t)$ pour des taux de modulation m respectivement inférieurs et supérieurs à 1.

Lors de la réception du signal modulé en amplitude, il est nécessaire de produire le signal $e_0(t)$. Cette opération, qui s'appelle *reconstitution de porteuse*, repose sur l'emploi d'une boucle à verrouillage de phase (fig. 4) comprenant les éléments suivants :

- un multiplieur identique à celui de la figure 2, de sortie $v_d(t)$.
- un filtre passe-bas noté F dont la transmittance vaut 1 pour tous les signaux de fréquence très inférieure à f_0 et de sortie $v_f(t)$.
- un oscillateur contrôlé en tension (OCT), délivrant un signal sinusoïdal $v_s(t)$ d'amplitude constante E_s , de pulsation ω_s proportionnelle à la tension de sortie du filtre F :

$$\omega_s = \omega_0 + K_s v_f$$

La boucle est verrouillée lorsque la fréquence du signal incident est égale à celle du signal de sortie de l'oscillateur OCT,

13. 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 en supposant que les dérivées temporelles de φ_e et φ_s sont très inférieures à ω_0 , montrer que la tension de sortie du filtre F s'écrit $v_f(t) = K_f \sin(\varphi_e - \varphi_s)$. Préciser l'expression de K_f .

14. Lorsque la boucle est verrouillée, quelle particularité présente la phase de la sortie par rapport à celle de l'entrée.

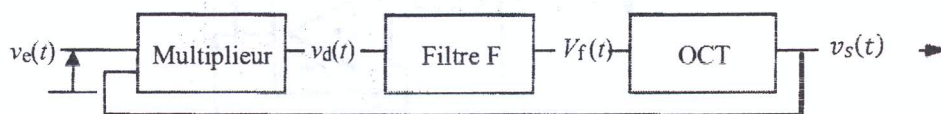


Fig. 4 : circuit de reconstitution de porteuse

15. Quelle relation simple lie $v_f(t)$ à φ_e et φ_s pour un régime proche du verrouillage.

16. Le signal $v_e(t)$ est modulé en amplitude : $v_e(t) = E[1 + m \cos(\Omega t)] \sin(\omega_0 t)$. Exprimer la tension de commande de l'OCT en supposant le régime proche du verrouillage. En déduire l'équation différentielle vérifiée par φ_s .

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

18. L'oscillateur contrôlé en tension alimente un filtre introduisant un déphasage φ et une atténuation A à la fréquence f_0 .

Quelle doit être la valeur de φ pour obtenir le signal $e_0(t)$ introduit au début de la deuxième partie du problème

19. Quelle est l'influence de l'atténuation introduite par ce dernier filtre.