

Nota Bene : Les documents ne sont pas autorisés. La qualité, la clarté de la présentation ainsi que l'orthographe seront pris en considération dans la notation. Le barème est donné à titre indicatif.

EXERCICE (8 points)

Le schéma de la figure 1 est celui d'un amplificateur inverseur dans lequel on a simplement remplacé la résistance d'entrée par la résistance drain-source (R_{DS}) d'un transistor à effet de champ (TEC) utilisé dans sa région ohmique.

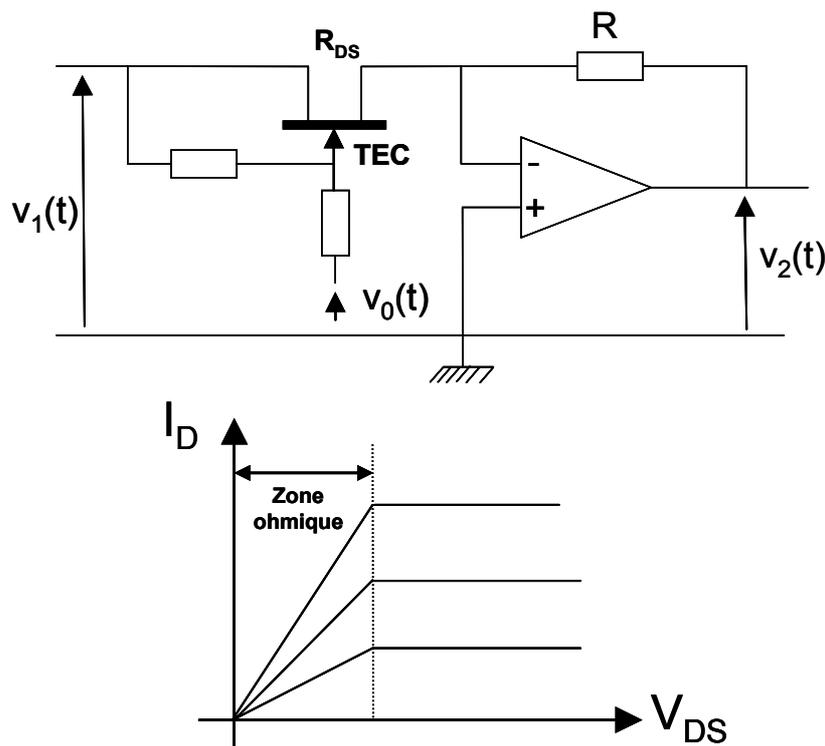


Figure 1

On montre que la conductance drain-source $G_{DS}=1/R_{DS}$ varie selon la valeur de la tension $v_0(t)$ suivant la loi :

$$G_{DS} = g_0 \left[1 + \frac{v_0(t)}{2V_p} \right]$$

où g_0 est la conductance interne du TEC et V_p sa tension de pincement. La modulation est obtenue en appliquant l'onde BF en v_0 et l'onde porteuse HF en v_1

- 1) Rappeler l'expression de l'amplification en tension v_2/v_1 de ce montage inverseur en fonction de R_{DS} et R . On supposera l'ampli-op idéal.
- 2) L'onde modulante a pour expression : $v_0(t) = -A + B \cos(\omega t)$ où A est un potentiel continu et B est l'amplitude de la BF. L'onde porteuse a pour expression $v_1(t) = \Delta v_1 \cos(\Omega t)$, Δv_1 étant son amplitude. Montrer que la tension de sortie $v_2(t)$ est une onde modulée en amplitude. Quelle est l'expression du taux de modulation m ?
- 3) On montre que le taux de modulation maximum est donné par $m_{\max} = 1 - (\Delta v_1/V_p)$. On désire $m_{\max} = 30\%$. On choisit A égal à la tension de pincement du TEC : $A = V_p = 3V$. Calculer l'amplitude maximale de la porteuse ainsi que B .
- 4) En utilisant les résultats de la question précédente, déterminer la valeur à donner à R si l'amplitude maximale en sortie de l'amplificateur est de 10 V. On prendra $g_0 = 10^{-4}$ S.

PROBLEME : ETUDE DE LA DEMODULATION COHERENTE (12 points)

Ce problème comporte trois parties, indépendantes les unes des autres

Une information $e(t)$ est transmise en modulation d'amplitude par une porteuse $e_p(t) = E \sin(\omega_0 t)$ avec $f_0 = \omega_0/2\pi = 1\text{MHz}$. Le but du problème est d'étudier la démodulation cohérente (ou synchrone), technique qui consiste à retrouver, à partir de l'onde modulée l'information d'origine. On rappelle que d'une manière générale deux types de démodulation (ou détection) peuvent être envisagées :

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

On note m le taux de modulation en amplitude.

I. PRINCIPE DE LA DEMODULATION COHERENTE

1) Rappeler brièvement la définition d'un signal modulé en amplitude avec porteuse. En particulier on montrera qu'à partir d'un signal modulant sinusoïdal basse-fréquence du type $e(t) = U \cos(\Omega t)$, le signal modulé se met sous la forme :

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

2) Le circuit multiplieur (X1) représenté à la figure 1 délivre une tension de sortie $u(t) = K s(t) s_0(t)$ avec K un coefficient positif lié au multiplieur. Vis-à-vis de la sortie, ce montage se comporte comme un générateur de tension, d'impédance interne nulle. Le signal

$s_0(t)$ est un signal d'amplitude constante et de même pulsation que la porteuse soit $s_0(t) = E_0 \sin(\omega_0 t)$. Exprimer le signal de sortie $u(t)$ et montrer que son spectre comporte cinq composantes que l'on précisera.

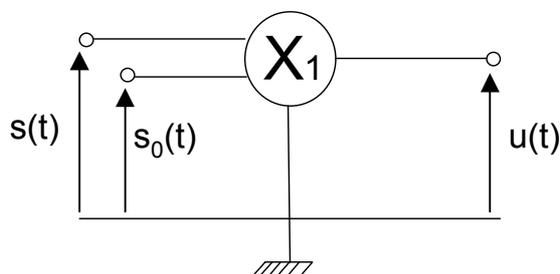


Figure 1

2) Comment peut-on faire pour ne conserver que l'information basse-fréquence et une image de l'amplitude de la porteuse (i.e composante continue).

II. ETUDE DU FILTRE PASSE-BAS

On fait suivre le multiplieur précédent par un filtre passe-bas (F1) dont le montage est représenté sur la figure 2.

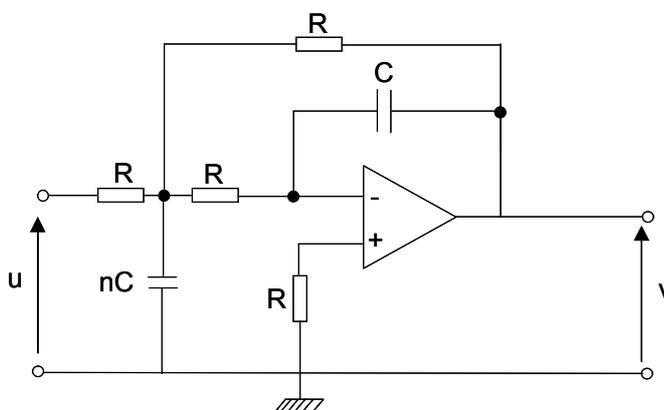


Figure 2

1) En supposant l'ampli-op idéal montrer que la transmittance de ce filtre s'écrit :

$$T(\omega) = \frac{v}{u} = \frac{-1}{1 + 2jk \frac{\omega}{\omega_c} + j^2 \left(\frac{\omega}{\omega_c} \right)^2}$$

$$\text{avec } k = \frac{3}{2\sqrt{n}} \quad \text{et} \quad \omega_c = \frac{1}{RC\sqrt{n}}$$

2) On impose une valeur de $k = 1/\sqrt{2}$ et une atténuation de 80 dB à la fréquence de 2 MHz. Justifier le choix de cette fréquence. En choisissant $C = 1000 \text{ pF}$ calculer n , ω_c et R .

3) Représenter qualitativement le gain du filtre $G_{dB} = 20 \log(|T(j\omega)|)$.

4) Représenter l'allure des signaux $e(t)$ et $v(t)$ pour des taux de modulation m inférieurs et supérieurs à 1.

Comparer l'allure des signaux obtenus à la sortie du filtre avec ceux que l'on obtiendrait dans le cas d'une détection d'enveloppe (détecteur crête). Que peut-on en conclure ?

III. RECONSTITUTION DE LA PORTEUSE

Le signal reçu à l'entrée du détecteur synchrone de la figure 3 est modulé en amplitude. Il ne peut donc pas constituer le signal $s_0(t)$ à l'entrée du multiplieur de la figure 1.

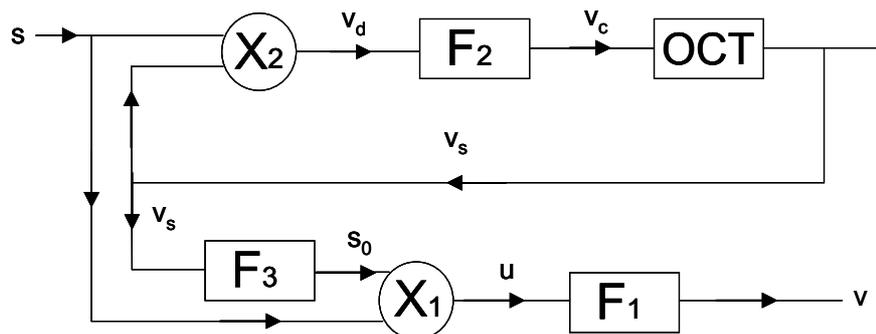


Figure 3

Pour reconstituer la porteuse à partir du signal $s(t)$, on utilise une boucle à verrouillage de phase (cf. figure 4) comprenant :

- un multiplieur (X_2) identique à celui de la figure 1,
- un filtre passe-bas (F_2) 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 (F_2) :

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

d'où $v_s(t) = E_s \cos(\omega_0 t + \varphi_s)$ avec E_s une constante et $\frac{d\varphi_s}{dt} = K_0 v_c$ (avec $K_0 > 0$ la pente

du convertisseur). La boucle est dite verrouillée en phase quand la fréquence du signal incident est égale à celle du signal de sortie de l'oscillateur contrôlé.

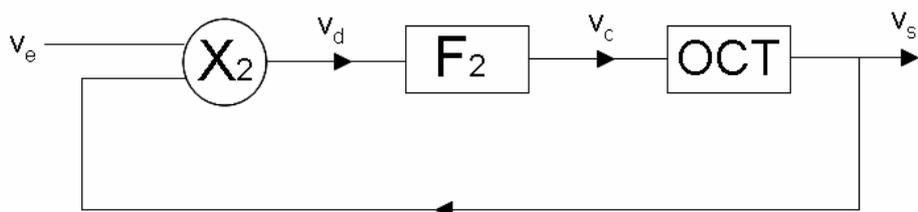


Figure 4

1) Pour des tensions $v_e(t) = E \sin(\omega_0 t + \varphi_e)$ et $v_s(t) = E_s \cos(\omega_0 t + \varphi_s)$ montrer que la valeur de la tension de sortie du filtre (F2) peut se mettre sous la forme :

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

On supposera que les hypothèses $\left| \frac{d\varphi_e}{dt} \right| \ll \omega_0$ et $\left| \frac{d\varphi_s}{dt} \right| \ll \omega_0$ sont vérifiées.

Donner l'expression 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, l'expression donnant la tension de sortie du filtre (F2) s'exprime linéairement en fonction de la différence de phase $\varphi_e - \varphi_s$.

2) Le signal $e(t)$ est maintenant un signal modulé en amplitude du type :

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

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 $\varphi_s(t)$. On supposera qu'à $t=0$ $\varphi_s(0) = \varphi_0$.

3) Résoudre cette équation différentielle et en montrer que φ_s tend vers 0 rapidement. En déduire que le signal de sortie de l'oscillateur contrôlé se fixe rapidement à la valeur $v_s(t) = E_s \cos(\omega_0 t)$ qu'il y ait ou non une modulation d'amplitude sur la porteuse.

4) On fait suivre l'oscillateur contrôlé d'un quadripôle introduisant un déphasage φ et une atténuation à la fréquence f_0 ((F3) sur la figure 3). Quelle doit être la valeur de φ pour obtenir le signal $s_0(t)$ de la première partie ? L'atténuation introduite par le quadripôle a-t-elle de l'importance ? Quelle serait la valeur du signal de sortie $v(t)$ si φ avait une valeur quelconque.

Quelques relations trigonométriques :

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

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

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