



Modulation et démodulation d'amplitude

Exercice 1 :

Etude du Rôle du dipôle RC dans le circuit du détecteur de crêtes d'un récepteur d'ondes électromagnétiques.

On utilise le résistor (D) et le condensateur (c), dans le détecteur de crêtes correspondant à l'un des étages du circuit représenté par la figure 3, pour détecter les crêtes de la tension modulée en amplitude d'expression :

$$u(t) = K[0,5\cos(10^3\pi t) + 0,7\cos(10^4\pi t)]$$

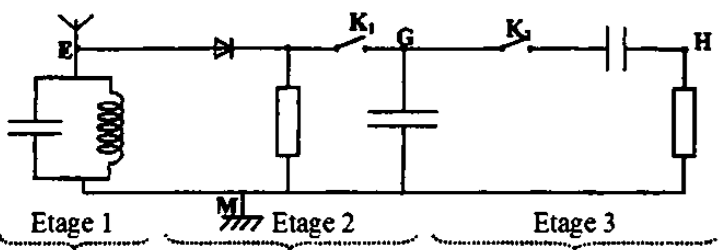
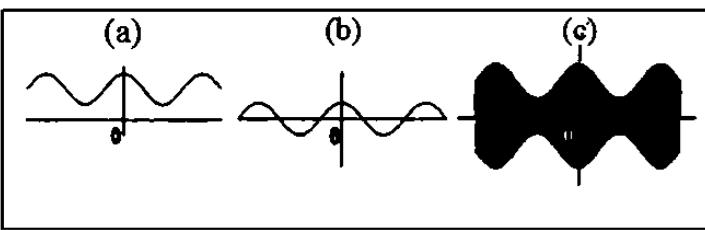


Figure 3

1. Indiquer, à l'aide de la figure 3, l'étage correspondant au détecteur de crêtes.
2. Montrer que le dipôle RC permet une bonne détection de crêtes.
3. Les deux interrupteurs K_1 et K_2 sont fermés, les courbes obtenus successivement sur l'écran d'un oscilloscope Représentent les variations des tensions u_{EM} , u_{GM} et u_{HM} . Indiquer en justifiant, la courbe correspondant à la sortie du détecteur de crêtes.



Exercice 2 : communication par les ondes électromagnétiques

Lors d'une communication , la voix est convertie en signal électrique par un microphone, grâce à un système de conversion numérique et d'amplification.

Le signal électrique est porté par une onde porteuse qui après amplification est émise vers l'antenne la plus proche.

L'antenne transmet le signal à une station base qui l'envoie alors à une centrale, par ligne téléphonique conventionnelle ou par les ondes électromagnétiques.

De là sont acheminées les conversations vers le téléphone du destinataire .

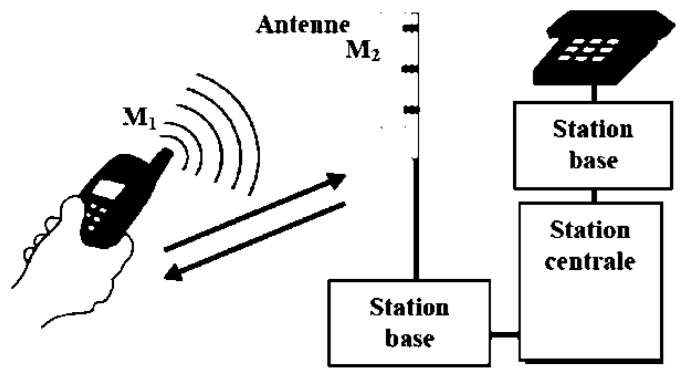


Figure 2

1. Émission d'une onde électromagnétique par un portable

Les ondes électromagnétiques sont utilisées par la télévision , La radio et les radars. Si bien que la gamme de fréquence restant pour les portables sont de plus en plus restreints : l'une

d'entre elles s'étend de 900 à 1800 MHz.

Données : La célérité des ondes électromagnétiques dans le vide et dans l'air : $c = 3,00 \times 10^8 m.s^{-1}$; $1MHz = 10^6 Hz$.

- 1.1. Calculer la durée que met une onde électromagnétique de fréquence $f=900MHz$ pour parcourir la distance $M_1M_2 = 1km$ séparant le téléphone et l'antenne, figure (2).
- 1.2. Que signifie l'expression « l'air est un milieu dispersif pour les ondes électromagnétiques » ?
- 1.3. On peut représenter la chaîne d'émission par le schéma de la figure (3).

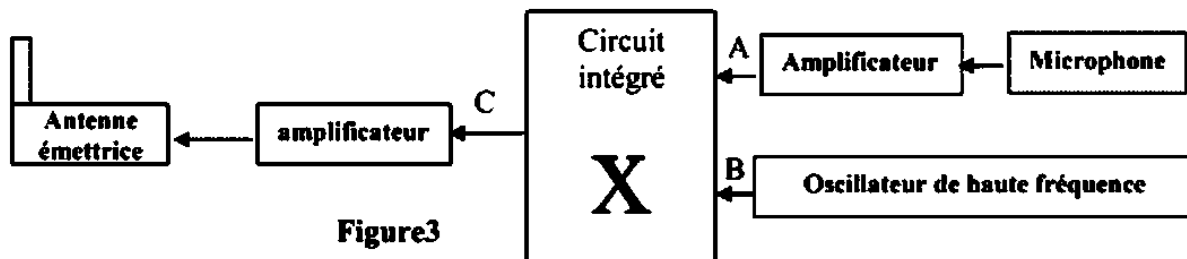


Figure3

En quel point A ou B ou C de la figure (3) trouve-t-on :

- a) L'onde porteuse ?
- b) Le signal modulant ?



2. Modulation d'amplitude

Le circuit de modulation est constitué d'un composant nommé multiplieur qui possède deux entrées E_1 et E_2 et une sortie S, figure (4).

Pour simuler la modulation d'amplitude, on applique :

- à l'entrée E_1 le signal $u_1(t) = u(t) + U_0$ dont $u(t) = U_m \cos(2\pi.f.t)$ est le signal modulant et U_0 tension continue de décalage.
- à l'entrée E_2 le signal porteur $u_2(t) = v(t) = V_m \cdot \cos(2\pi F.t)$.

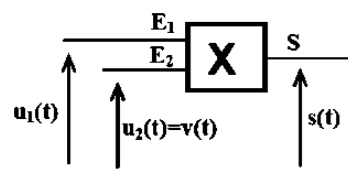


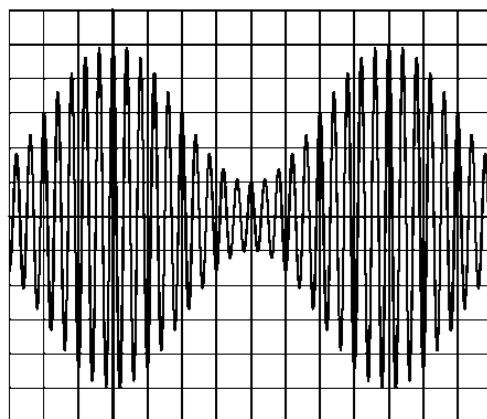
Figure 4

Le circuit intégré X donne une tension modulée proportionnelle au produit des deux tensions, $s(t) = k.u_1(t).u_2(t)$ où k est une constante dépendant uniquement du circuit intégré.

$s(t)$ s'écrit sous la forme : $s(t) = S_m \cdot \cos(2\pi Ft)$

- 2.1. Montrer que S_m , amplitude du signal modulé, peut se mettre sous la forme $S_m = A[m \cdot \cos(2\pi.f.t) + 1]$ en précisant l'expression du taux de modulation m et celle de la constante A.

- 2.2. Le graphe représenté sur la figure (5) donne l'allure de la tension modulée en fonction du temps. Déterminer à partir de ce graphe :



Sensibilité verticale : 1V/div
Sensibilité horizontale : 0,25 ms/div

Figure 5

- a) La fréquence F de l'onde porteuse .
- b) La fréquence f du signal modulant .
- c) L'amplitude minimale $S_{m(min)}$ et l'amplitude maximale $S_{m(max)}$ du signal modulé.

- d) Donner l'expression du taux de modulation en fonction de $S_{m(min)}$ et $S_{m(max)}$. Calculer la valeur de m .
- e) La modulation effectuée est – elle de bonne qualité? Justifier .

Exercice 3 : Circuit d'accort

On réalise un circuit d'accord pour l'utiliser dans le dispositif de réception des ondes électromagnétiques en utilisant une bobine d'inductance $L = 8,7 \times 10^{-2} H$ et de résistance négligeable et le condensateur (C) précédent comme l'indique la figure (4). Calculer la valeur de C' sur laquelle on doit régler la capacité du condensateur (C) pour capter une station radio qui émet ses programmes sur la fréquence $F=540 \text{ kHz}$.

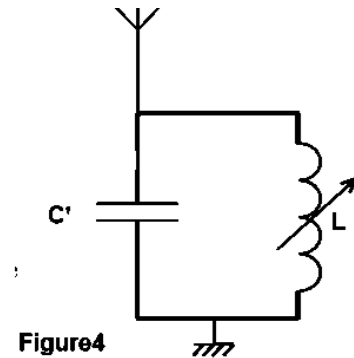


Figure4

Exercice 4 : Emission et réception d'un signal modulé

Pour transmettre un signal sinusoïdal $s(t)$ on utilise un multiplieur.

On applique à l'entrée E_1 du multiplieur un signal de tension $u(t) = s(t) + V_0$ avec V_0 la tension continue de décalage, et on applique à l'entrée E_2 une tension $p(t)$ d'une onde porteuse (figure 5).

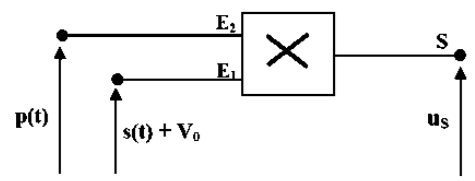


Figure 5

On obtient à la sortie S du multiplieur la tension modulée en amplitude $u_S(t)$ telle que :

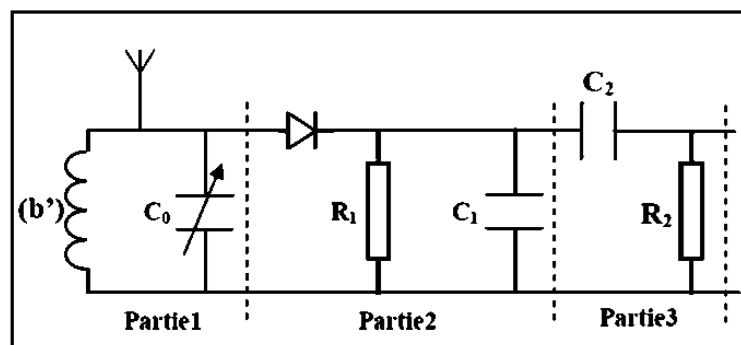
$$u_S(t) = A[1 + 0,6\cos(10^4\pi.t)].\cos(2.10^5\pi.t).$$

1. Montrer que la modulation d'amplitude obtenue est bonne .
2. La démodulation d'amplitude est réalisée à l'aide du montage de la figure 6.

La partie 1 du montage comprend la bobine (b') et un condensateur de capacité C_0 réglable entre les deux valeurs $6.10^{-12} F$ et $12.10^{-12} F$. Le conducteur ohmique utilisé dans la partie 2 du montage a une résistance $R_1 = 30k\Omega$.

(a) Montrer que l'utilisation de la bobine (b') dans le montage permet à la partie1 du montage de sélectionner le signal $u_S(t)$.

(b) On veut obtenir une bonne détection d'enveloppe en utilisant l'un des condensateurs de capacités : 10 nF ; 5 nF ; $0,5 \text{ nF}$; $0,1 \text{ nF}$. Déterminer la capacité du condensateur qui convient



Exercice 5 : Transmission des signaux sonores

Les ondes sonores audibles ont une faible fréquence, leur transmission à des longues distances nécessite qu'elles soient modulante à une onde électromagnétique de haute fréquence.

Cet exercice vise à étudier la modulation et la de démodulation.

1. Modulation

On considère le montage représenté dans la figure 4 :

— Le générateur $(GBF)_1$ applique à l'entrée E_1 de la composante électronique X une tension sinusoïdale

$$u_1(t) = P_m \cdot \cos\left(\frac{2\pi \cdot t}{T_p}\right)$$

— Le générateur $(GBF)_2$ applique à l'entrée E_2 de la composante électronique X une tension sinusoïdale

$u_2(t) = U_0 + s(t)$. avec U_0 la composante continue

de la tension et $s(t) = S_m \cdot \cos\left(\frac{2\pi \cdot t}{T_s}\right)$ la tension

correspondante à l'onde qu'on désire transmettre.

On visualise sur l'écran d'un oscilloscope la tension de sortie $u_s(t) = k \cdot u_1(t) \cdot u_2(t)$ avec k constante positive caractérisant la composante X, fig 5

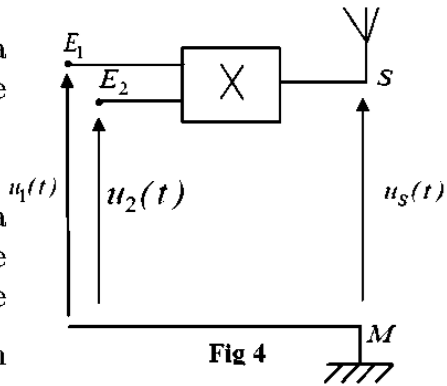


Fig 4

(a) Montrer que l'expression de la de la tension $u_s(t)$ S'écrit sous la forme : $u_s(t) =$

$$A \cdot \left[1 + m \cdot \cos\left(\frac{2\pi t}{T_0}\right) \right] \cos\left(\frac{2\pi \cdot t}{T_p}\right) . \text{ et préciser l'expression de A et celle de m .}$$

(b) Calculer la valeur de m et déduire la qualité de la modulation.

2. Démodulation

La figure 6 représente le montage utilisé dans un dispositif de réception constitué de trois parties.

(a) Préciser le rôle de la partie 3 dans ce montage.

(b) Déterminer la valeur du produit L.C pour que la sélection de l'onde soient bonne.

(c) Montrer que l'intervalle auquel doit appartenir la valeur de la résistance R pour une bonne Détection de l'enveloppe de la tension modulante dans ce montage est :

$$\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot L}{T_p} \ll R <$$

$\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot L \cdot T_s}{T_p^2}$ Calculer les bornes de cet intervalle sachant que $L = 1,5\text{mH}$.

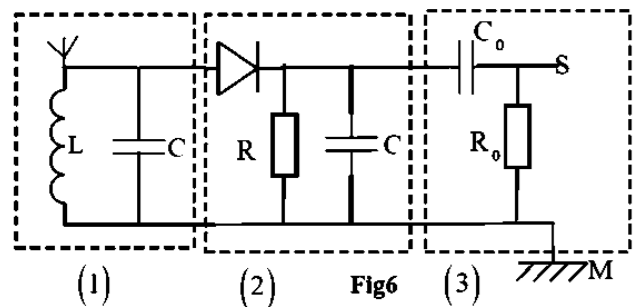
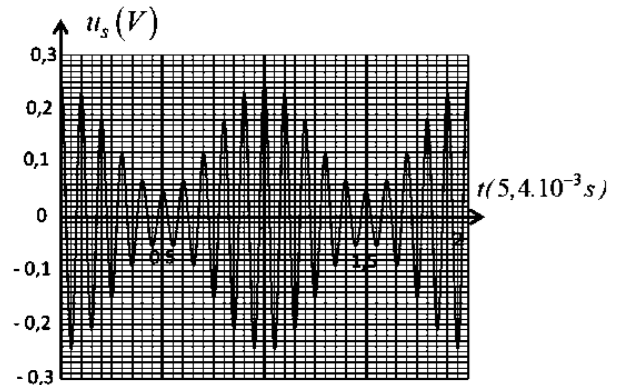


Fig6

Exercice 6 : Modulation d'amplitude d'un signal sinusoïdal

Afin d'obtenir un signal modulé en amplitude, on utilise un circuit intégré multiplieur X (fig.6).

On applique à l'entrée :

— E_1 : la tension $u_1(t) = s(t) + U_0$ avec $s(t) = S_m \cdot \cos(2\pi \cdot f_s \cdot t)$ représentant le signal informatif et U_0 une composante continue de la tension.

— E_2 : une tension sinusoïdale représentant la porteuse $u(t) = P_m \cdot \cos(2\pi \cdot F_p \cdot t)$.

La tension de sortie $u_s(t)$ obtenue est $u_s(t) = k \cdot u_1(t) \cdot u_2(t)$;

k est une constante qui dépend du circuit intégré X.

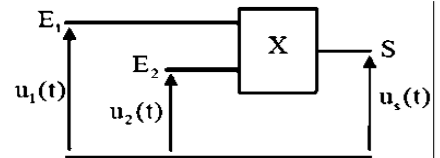


Figure 6



Rappel : $\cos(a) \cdot \cos(b) = \frac{1}{2} \cdot [\cos(a+b) + \cos(a-b)]$

1. Montrer que $u_s(t)$ s'écrit sous la forme :

$$u_s(t) = \frac{A \cdot m}{2} \cos(2 \cdot \pi \cdot f_1 \cdot t) + A \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_2 \cdot t) + \frac{A \cdot m}{2} \cos(2 \cdot \pi \cdot f_3 \cdot t)$$

où m est le taux de modulation et A une constante.

2. La figure 7 représente le spectre de fréquences formé de trois raies de la tension modulée $u_s(t)$. Déterminer m et la fréquence f_s . La modulation est-elle bonne ?

3. Pour une bonne réception du signal modulée, on utilise un circuit bouchon (circuit d'accord) formé d'une bobine d'inductance $L_0 = 60 \text{ mH}$ et de résistance négligeable et de deux condensateurs, montés en série, de capacité $C = 10 \mu\text{F}$ et C_0 . Déterminer la valeur de C_0 .

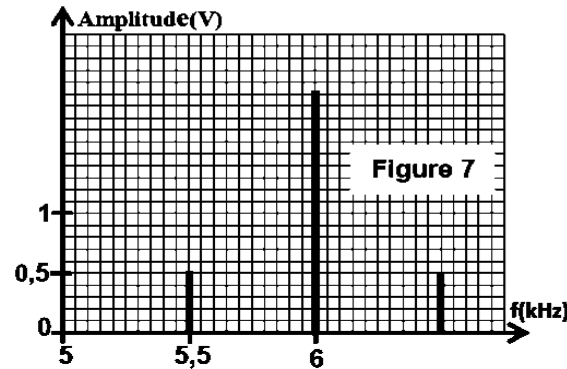


Figure 7

Exercice 7 : Etude de la qualité d'une modulation d'amplitude

La modulation d'amplitude est obtenue en utilisant un circuit intégré multiplieur .

On applique à l'entrée E_1 du circuit intégré multiplieur une tension $p(t)$ qui correspond au signal porteur, et à l'entrée E_2 la tension $s(t) + U_0$ avec $s(t)$ la tension correspondant au signal modulant à transmettre et U_0 la composante continue (figure 4).

On obtient à la sortie S du circuit la tension $u(t)$ correspondant au signal modulé en amplitude. L'expression de cette tension est : $u(t) = k \cdot p(t) \cdot (s(t) + U_0)$ où $s(t) = S_m \cdot \cos(2\pi f_s \cdot t)$ et $p(t) = P_m \cdot \cos(2\pi \cdot f_p \cdot t)$ et k une constante qui caractérise le circuit intégré multiplieur.

1. La tension modulée en amplitude peut s'écrire sous

$$\text{la forme : } u(t) = A \left[\frac{m}{S_m} \cdot s(t) + 1 \right]$$

avec $A = k \cdot P_m \cdot U_0$ et $m = \frac{S_m}{U_0}$ le taux de modulation.

Trouver l'expression du taux de modulation men fonction de U_{max} et U_{min} avec U_{max} la valeur maximale de l'amplitude de $u(t)$ et U_{min} la valeur minimale de son amplitude.

2. Quand aucune tension n'est appliquée sur l'oscilloscope, les traces du spot sont confondues avec l'axe médian horizontal de l'écran. On visualise la tension $u(t)$ et on obtient l'oscillogramme de la figure 5.

— Sensibilité horizontale $20 \text{ s} \cdot \text{div}^{-1}$;

— Sensibilité verticale : $1 \text{ V} \cdot \text{div}^{-1}$.

Déterminer f_p , f_s et m . Que peut-on en déduire à propos de la qualité de la modulation ?

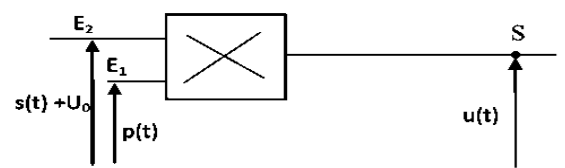


Figure 4

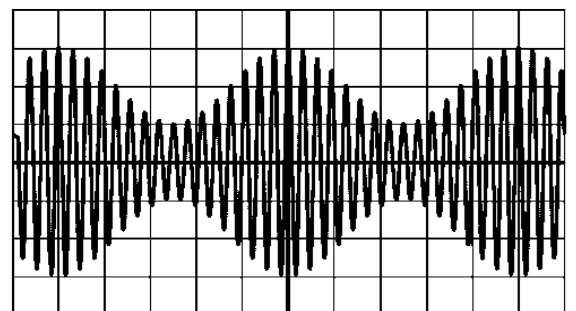


Figure 5

Exercice 8 : Réception d'une onde électromagnétique

Pour capter une onde électromagnétique de fréquence $N_0 = 40kHz$ modulée en amplitude, on utilise le dispositif simplifié représenté sur la figure 6.

1. Choisir la proposition juste parmi les affirmations suivantes :

- (a) La fréquence de l'onde porteuse est très petite devant celle de l'onde modulante.
- (b) Le rôle de la partie 1 du dispositif est d'éliminer la composante continue.
- (c) Le rôle des deux parties 2 et 3 du dispositif est de moduler l'onde.
- (d) Dans une antenne réceptrice, l'onde électromagnétique engendre un signal électrique de même fréquence.

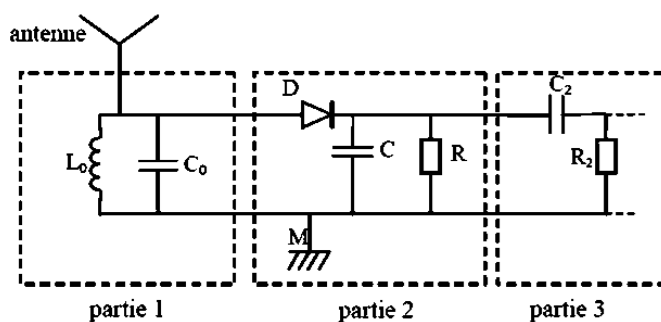


Figure 6

2. On associe un condensateur de capacité C_0 avec une bobine d'inductance $L_0 = 0,781mH$ dans le circuit d'accord.

Peut-on recevoir l'onde de fréquence $N_0 = 40kHz$ si $C_0 = C = 20nF$? justifier la réponse.

3. Pour détecter l'enveloppe de l'onde modulée, on utilise le condensateur de capacité $C = 20nF$ et le conducteur ohmique de résistance $R = 1k\Omega$. Pour avoir une bonne détection d'enveloppe, on monte en parallèle avec le condensateur de capacité C un autre condensateur de capacité C_0 .



Pour capter une onde électromagnétique de fréquence $N_0 = 40kHz$ modulée en amplitude, on utilise le dispositif simplifié représenté sur la figure 6.

1. Choisir la proposition juste parmi les affirmations suivantes :

- (a) La fréquence de l'onde porteuse est très petite devant celle de l'onde modulante.
- (b) Le rôle de la partie 1 du dispositif est d'éliminer la composante continue.
- (c) Le rôle des deux parties 2 et 3 du dispositif est de moduler l'onde.
- (d) Dans une antenne réceptrice, l'onde électromagnétique engendre un signal électrique de même fréquence.

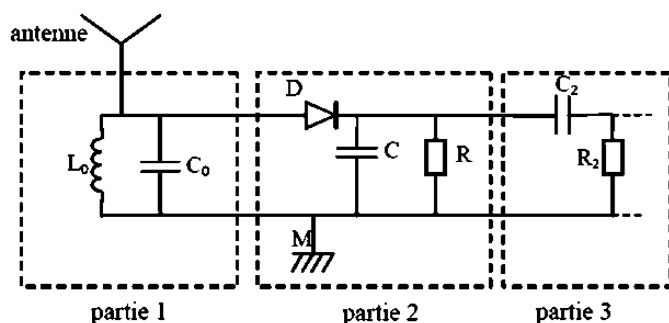


Figure 6

2. On associe un condensateur de capacité C_0 avec une bobine d'inductance $L_0 = 0,781mH$ dans le circuit d'accord.

Peut-on recevoir l'onde de fréquence $N_0 = 40kHz$ si $C_0 = C = 20nF$? justifier la réponse.

3. Pour détecter l'enveloppe de l'onde modulée, on utilise le condensateur de capacité $C = 20nF$ et le conducteur ohmique de résistance $R = 1k\Omega$. Pour avoir une bonne détection d'enveloppe, on monte en parallèle avec le condensateur de capacité C un autre condensateur de capacité C_0 .

Trouver l'intervalle de valeurs de $x C$ sachant que la fréquence de l'information émise est $N_i = 4kHz$.

Exercice 9 : Modulation d'amplitude

Afin de produire une onde hertzienne modulée en amplitude, on réalise le montage schématisé sur la figure 5, où X représente un circuit intégré multiplieur. Le coefficient du circuit multiplieur est k.

On applique à l'entrée E_1 la tension $u_1(t) = 6.\cos(4.10^5\pi.t)$ et à l'entrée E_2 la tension $u_2(t) = 2.\cos(8.10^3\pi.t) + 5$.

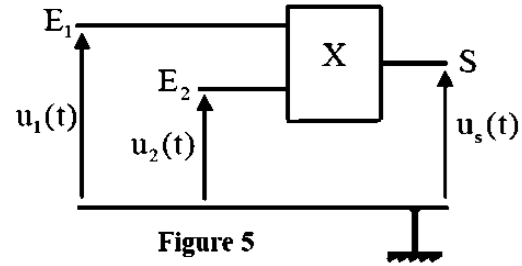


Figure 5

La tension de sortie $u_s(t)$ obtenue est $u_s(t) = k.u_1(t).u_2(t) = 3[1 + 0,4.\cos(8.10^3\pi.t)].\cos(4.10^5\pi.t)$
Toutes les tensions sont exprimées en volt(V).

1. Déterminer la fréquence de l'onde porteuse.
2. Choisir la réponse juste :
L'amplitude maximale de l'onde modulée est :



a- 6V ; b- 4,2V ; c- 3V ; d- 1,8V ; e- 2V.

3. Les conditions d'une modulation d'amplitude de bonne qualité sont-elles vérifiées ? justifier.
4. Exprimer $u_s(t)$ sous forme de la somme de trois fonctions sinusoïdales et représenter le spectre de fréquences en choisissant l'échelle suivante : 1cm/V pour les amplitudes.
Rappel : $\cos(a).\cos(b) = \frac{1}{2}[\cos(a+b) + \cos(a-b)]$.
5. Le circuit bouchon, constitué par la bobine et le condensateur précédents, permet-il une bonne réception de l'onde modulée étudiée ? justifier la réponse.

Exercice 10 : Réception d'une onde hertzienne

Pour recevoir une onde hertzienne, on utilise un montage récepteur formé par une chaîne électronique constituée de plusieurs étages.

Après réception du signal modulé, on le démodule en reliant le circuit d'accord LC (circuit bouchon) avec le circuit de démodulation comme l'indique le montage de la figure 4.

1. Que signifie "démoduler le signal reçu" ?
2. Les graphes (1), (2), (3) et (4) de la figure 5 représentent les tensions visualisées à l'aide d'un système adéquat :
 - u_{PM} avec les deux interrupteurs K_1 et K_2 ouverts ;
 - u_{QM} avec les deux interrupteurs K_1 et K_2 ouverts ;
 - u_{SM} avec K_1 fermé et K_2 ouvert ;
 - u_{TM} avec les deux interrupteurs K_1 et K_2 fermés ;

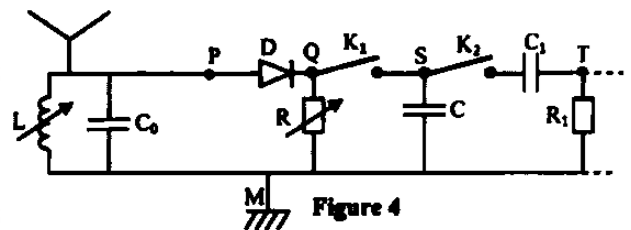


Figure 4

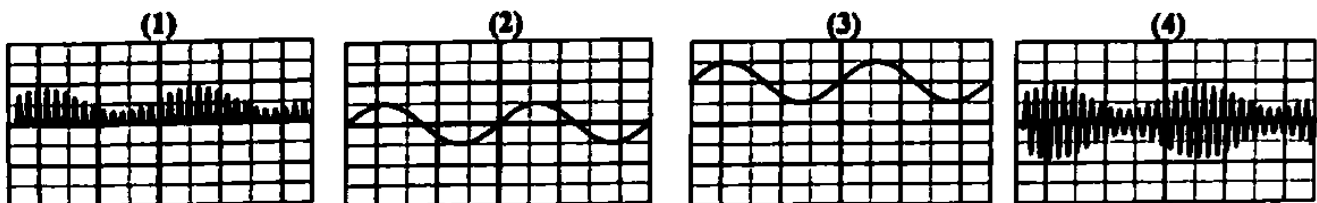


Figure 5

Associer, en justifiant, le graphe correspondant à u_{QM} et celui correspondant à u_{TM} .

Exercice 11 : Etude d'un signal modulé en amplitude

Afin d'obtenir un signal modulé en amplitude, on utilise un circuit intégré multiplieur X de constante caractéristique $k = 0,1V^{-1}$ (fig.4).

On applique à l'entrée :

- E_1 : la tension $v_p(t) = U_m \cdot \cos(2\pi \cdot 10^5 \cdot t)$
- E_2 : la tension $v_s(t) = s(t) + U_0$ avec $s(t) = S_m \cdot \cos(2\pi \cdot 10^3 \cdot t)$ et U_0 la tension de décalage.

La tension de sortie $u_s(t)$ obtenue est : $u_s(t) = k(s(t) + U_0) \cdot v_p(t)$. $u_s(t)$ peut s'écrire sous la forme : $u_s(t) = A \cdot \left[\frac{m}{2} \cdot \cos(2\pi N_1 \cdot t) + \cos(2\pi F \cdot t) + \frac{m}{2} \cdot \cos(2\pi N_2 \cdot t) \right]$ avec $A = k \cdot U_m \cdot U_0$, $N_1 < F < N_2$, F est la fréquence de l'onde porteuse et m le taux de modulation.

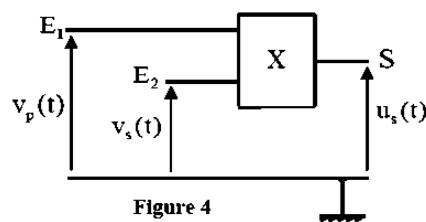


Figure 4

1. Déterminer la valeur de N_1 et celle de N_2 .
2. Donner le taux de modulation m en fonction de S_m et U_0 .
3. On visualise la tension $s(t)$ sur l'entrée X de l'oscilloscope et la tension de sortie $u_s(t)$ sur l'entrée Y, et on élimine la base de temps (mode XY). On obtient ainsi l'oscillogramme de la figure 5 représentant $u_s(t)$ en fonction de $s(t)$.

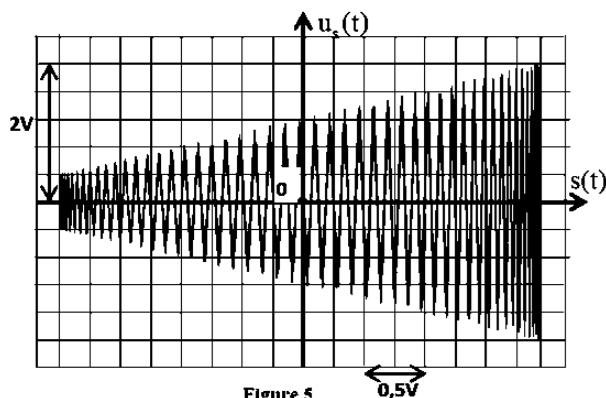


Figure 5

- 3.1. Déterminer graphiquement le taux de modulation m .
- 3.2. Déterminer les valeurs des tensions U_0 et U_m .



Exercice 12 : Modulation et démodulation d'amplitude d'une O.E.M

On peut transmettre une information à grande distance, en modulant l'amplitude d'une onde électromagnétique qui se propage d'un émetteur à un récepteur.

L'émetteur doit assurer la production de l'onde électromagnétique et sa modulation pour porter le signal informatif. Quant au récepteur, il doit être conçu pour démoduler l'onde et récupérer le signal informatif, fournissant du sens pour l'utilisateur. La modulation d'amplitude consiste à varier l'amplitude de l'onde porteuse au cours du temps selon l'évolution temporelle du signal informatif à transmettre.

Afin d'obtenir un signal modulé en amplitude, on utilise un circuit intégré multiplieur X (figure 4). On applique à l'entrée :

- E_1 : la tension $u_s(t) = s(t) + U_0$ avec $s(t) = S_m \cdot \cos(2\pi \cdot f \cdot t)$ représentant le signal informatif et U_0 la tension de décalage.
- E_2 : une tension sinusoïdale représentant la porteuse $u_2(t) = U_m \cdot \cos(2\pi \cdot F \cdot t)$.

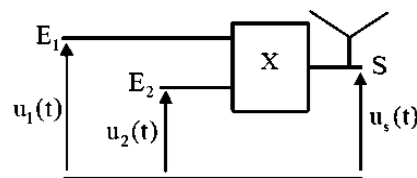


Figure 4

La tension de sortie $u_s(t)$ obtenue est $u_s(t) = k \cdot u_1(t) \cdot u_2(t)$; k est une constante qui dépend du circuit intégré X.

La tension de sortie $u_s(t)$ ainsi définie s'exprime par : $u_s(t) = S(t) \cdot \cos(2\pi \cdot F \cdot t)$ avec $S(t) = A \cdot [1 + m \cdot \cos(2\pi \cdot f \cdot t)]$.

Dans cette expression $S(t)$ est l'amplitude de la tension modulée et m le taux de modulation.

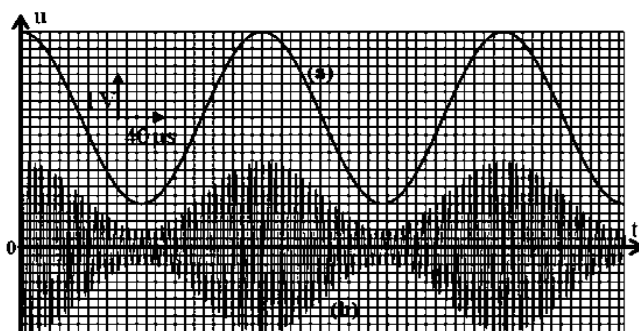


Figure 5

1. Un dispositif approprié permet de visualiser simultanément deux des tensions $u_1(t)$, $u_2(t)$ et $u_S(t)$. On observe ainsi les oscillogrammes (a) et (b) de la figure 5.

Indiquer, en justifiant, pour chacun des oscillogrammes de la figure 5, s'il correspond au signal modulant, au signal modulé ou à la porteuse.

2. En se basant sur les oscillogrammes de la figure 5, déterminer :

2.1. La fréquence de la porteuse et celle du signal informatif.

2.2. Le taux de modulation m .

3. Démodulation de l'onde

La figure 6 schématise un constituant de récepteur radio lié au circuit de démodulation. Ce constituant est équivalent à la bobine (b) précédée d'inductance L et de résistance r associée au condensateur de capacité C variable.

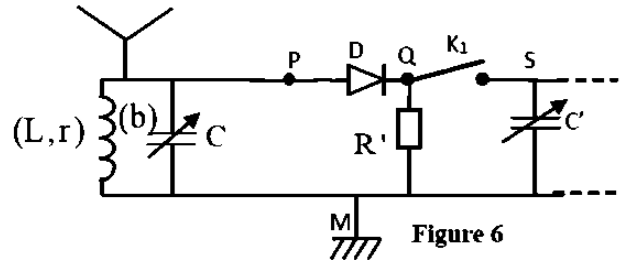


Figure 6

Le circuit formé par la bobine (b) et le condensateur est mis en vibration forcée par l'intermédiaire de l'antenne qui capte toutes les ondes émises par toutes les stations.

Pour écouter une seule station, il suffit d'accorder la fréquence propre du circuit à la fréquence de l'émetteur en réglant la capacité du condensateur.

3.1. Calculer la valeur à laquelle il faut ajuster la capacité C de l'élément récepteur pour que la fréquence propre soit $N_0 = 180kHz$.

3.2. Trouver alors l'intervalle des valeurs de la capacité C' pour avoir une bonne détection d'enveloppe sachant que la fréquence de l'information émise est $N_i = 5kHz$ et $R' = 100k\Omega$.

