

EXERCICE 1

25 min

1 - Modulation

Pour étudier la modulation d'amplitude et vérifier la qualité de la modulation, au cours d'une séance de TP, le professeur a utilisé avec ses élèves, un circuit intégré multiplieur (X) en appliquant une tension sinusoïdale $u_1(t) = P_m \cdot \cos(2\pi \cdot F_p \cdot t)$ à son entrée E_1 et une tension

$u_2(t) = U_0 + s(t)$ à son entrée E_2 , avec U_0 la composante continue de la tension et

$s(t) = S_m \cdot \cos(2\pi \cdot f_s \cdot t)$ la tension modulante (figure 1).

La courbe de la figure 2 représente la tension de sortie $u_s(t) = k \cdot u_1(t) \cdot u_2(t)$, visualisée par les élèves sur

l'écran d'un oscilloscope. k est une constante positive caractérisant le multiplieur X.

1 Montrer, en précisant les expressions de A et de m , que la tension $u_s(t)$ s'écrit sous la forme: $u_s(t) = A [1 + m \cdot \cos(2\pi f_s t)] \cos(2\pi F_p t)$.

2 En exploitant la courbe de la figure 2 :

- Trouver les fréquences F_p de la porteuse et f_s de la tension modulante.
- Déterminer le taux de modulation et en déduire la qualité de modulation.

2 - Démodulation

Pour recevoir une onde radio, modulée en amplitude de fréquence

$F_p = 594 \text{ kHz}$ dispositif simplifié représenté par le schéma de la figure 3.

Parmi les réponses proposées préciser, sans aucune justification, la réponse juste :

1 La partie 1 du dispositif comporte une antenne et une bobine d'inductance $L_1 = 1,44 \text{ mH}$ et de résistance négligeable qui est montée en parallèle avec un condensateur de capacité C variable

a. La partie 1 sert à :

- | | |
|--|--|
| <input type="checkbox"/> recevoir et sélectionner l'onde | <input type="checkbox"/> éliminer la composante continue |
| <input type="checkbox"/> éliminer la porteuse | <input type="checkbox"/> moduler l'onde |

b. Pour capter l'onde radio de la fréquence f_0 , la capacité C doit être fixée sur la valeur :

- | | | | |
|---------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|
| <input type="checkbox"/> 499 pF | <input type="checkbox"/> 49,9 pF | <input type="checkbox"/> 4,99 pF | <input type="checkbox"/> 0,499 pF |
|---------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|

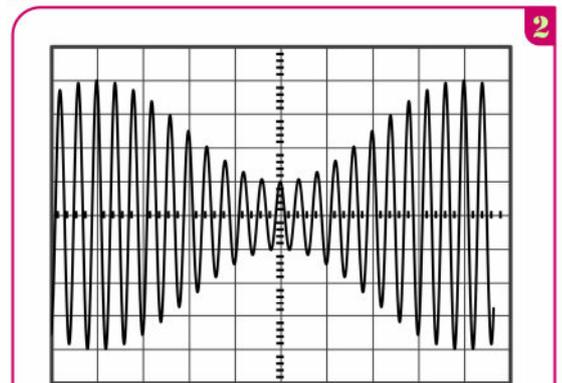
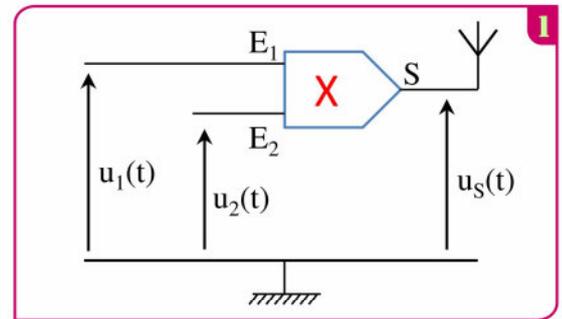
2 La partie 2 joue le rôle du détecteur d'enveloppe. La capacité du condensateur utilisé dans cette partie est $C_2 = 50 \text{ nF}$.

a. La dimension du produit $R_2 \cdot C_2$ est :

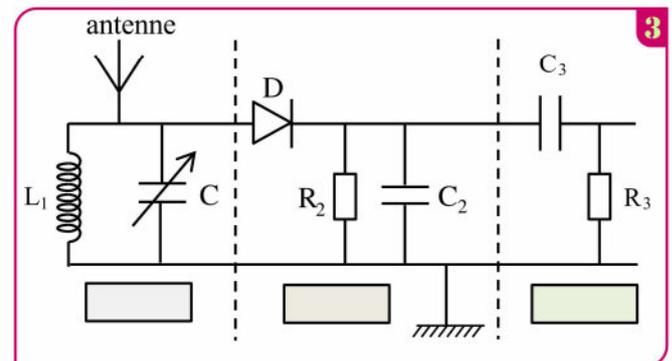
- | | | | |
|------------------------------|------------------------------|---|------------------------------|
| <input type="checkbox"/> [L] | <input type="checkbox"/> [T] | <input type="checkbox"/> [T ⁻¹] | <input type="checkbox"/> [I] |
|------------------------------|------------------------------|---|------------------------------|

b. La moyenne des fréquences des ondes sonores est 1 kHz. La valeur de la résistance R_2 qui permet d'avoir une bonne démodulation de l'onde radio étudiée est:

- | | | | |
|--------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| <input type="checkbox"/> 20 kΩ | <input type="checkbox"/> 5 kΩ | <input type="checkbox"/> 35 Ω | <input type="checkbox"/> 10 Ω |
|--------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|



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



EXERCICE 2

35 min

Les ondes sonores audibles ont une faible fréquence, leur transmission à des longues distances nécessite qu'elles soient modulées à une onde électromagnétique de haute fréquence. Cet exercice vise à étudier la modulation et la démodulation.

1 - Modulation

On considère le montage représenté dans la figure 1 ;

- Le générateur $(GBF)_1$ applique à l'entrée E_1 de la composante électronique X une tension sinusoïdale $u_1(t) = P_m \cdot \cos\left(\frac{2\pi t}{T_p}\right)$
- 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

$$S(t) = S_m \cdot \cos\left(\frac{2\pi t}{T_s}\right) \text{ la tension correspondante}$$

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

1 Montrer que l'expression de la tension S s'écrit sous la forme :

$$u_s(t) = A \left[1 + m \cos\left(\frac{2\pi t}{T_s}\right) \right] \cos\left(\frac{2\pi t}{T_p}\right)$$

et préciser l'expression de A et celle de m .

2 En exploitant la courbe de la figure 2 :

- a. Trouver les fréquences F_p de la porteuse et f_s de la tension modulante.
- b. Déterminer le taux de modulation et en déduire la qualité de modulation.

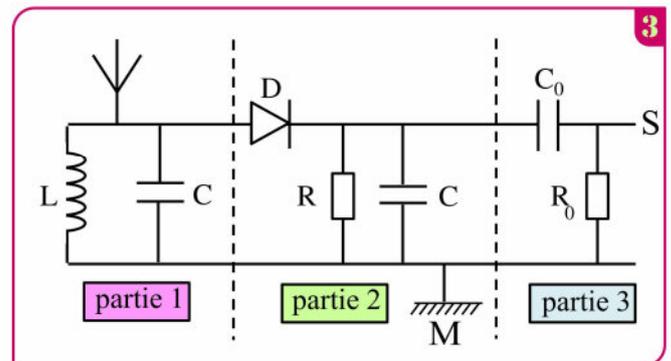
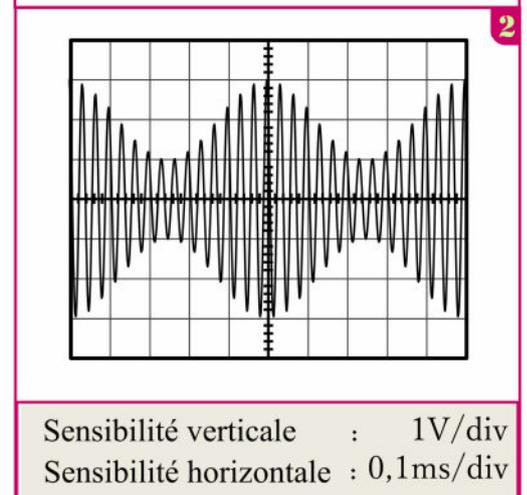
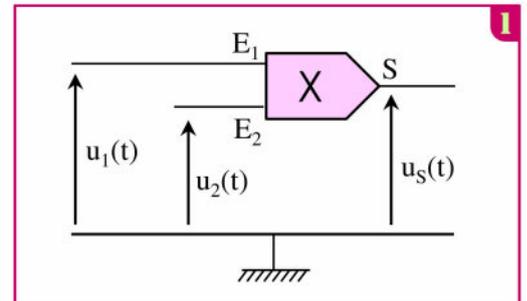
2 - Démodulation

La figure 3 représente le montage utilisé dans un dispositif de réception constitué de trois parties.

- 1 Préciser le rôle de la partie 3 dans ce montage.
- 2 Déterminer la valeur du produit $L.C$ pour que la sélection de l'onde soit bonne.
- 3 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 : $\frac{4\pi^2 L}{T_p} \ll R \ll \frac{4\pi^2 L T_s}{T_p^2}$

4 Calculer les bornes de cet intervalle sachant que $L = 1,5mH$.



EXERCICE 3

10 min

L'expression d'une tension modulée est :

$$u(t) = 4 \times [1 + 0,8 \cos(1,6 \cdot 10^2 \cdot t)] \cos(2,5 \cdot 10^4 \cdot t)$$

- 1 Cette tension est-elle modulée en amplitude, en fréquence ou en phase ?
- 2 Quelles sont les fréquences de porteuse F_p et du signal modulant f ?
- 3 En se basant sur l'amplitude de la tension modulée $U_m(t)$. Déterminer la valeur du taux de modulation. Conclure.

EXERCICE 1

55 min

Beaucoup d'appareils électriques contiennent des circuits qui se composent de condensateurs, de bobines, de conducteurs ohmiques ... La fonction de ces composantes varie selon leurs domaines d'utilisation et la façon dont elles sont montées dans les circuits.

1- Etude du dipôle RL

- On réalise le montage, représenté dans la figure 1, comportant :
- un générateur de f.e.m $E = 12\text{ V}$ et de résistance interne négligeable ;
 - un conducteur ohmique de résistance $R_1 = 52\ \Omega$;
 - une bobine (b) d'inductance L et de résistance r ;
 - un interrupteur K .

On ferme l'interrupteur K à l'instant de date $t=0$. Un système d'acquisition informatisé adéquat permet de tracer la courbe représentant la tension $u_{R_1}(t)$ aux bornes du conducteur ohmique (fig.2). (La droite (T) représente la tangente à la courbe à $t=0$).

- 1 Etablir l'équation différentielle régissant l'évolution de u_{R_1} .
- 2 Déterminer la valeur de la résistance r de la bobine.
- 3 Vérifier que $L=0,6\text{ H}$.

2- Etude des dipôles RC et RLC.

On réalise le montage, représenté dans la figure 3, comportant :

- un générateur idéal de courant ;
- un microampèremètre ;
- deux conducteurs ohmiques de résistance R_0 et $R=40\ \Omega$;
- un condensateur de capacité C , non chargé initialement ;
- la bobine (b) précédente ;
- deux interrupteurs K_1 et K_2 .

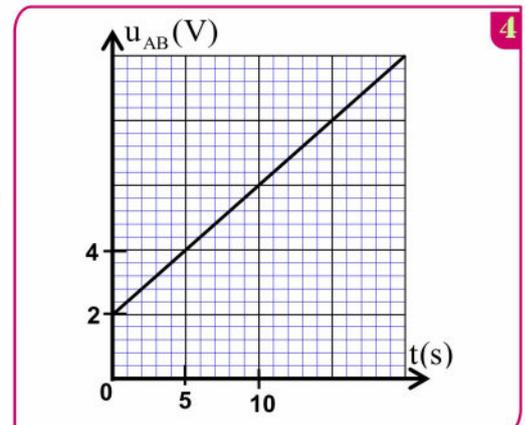
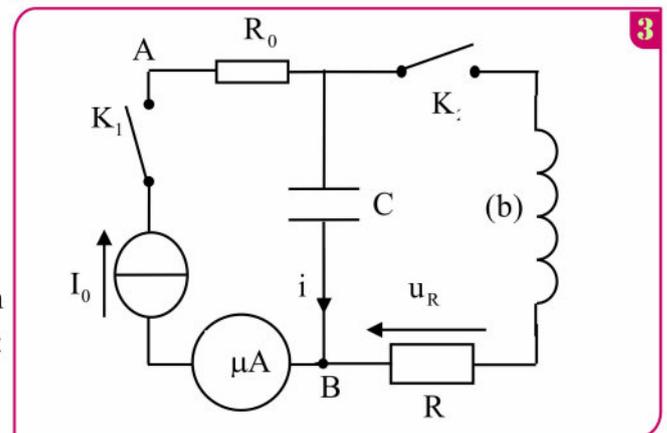
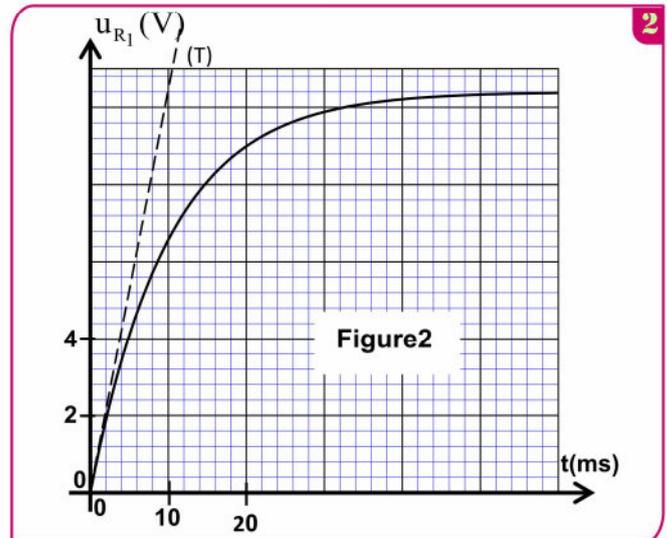
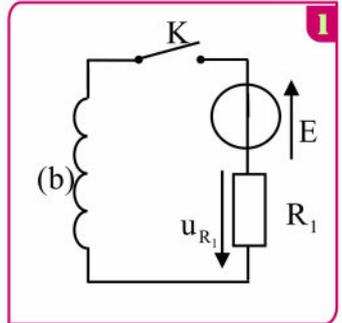
Etude du dipôle RC

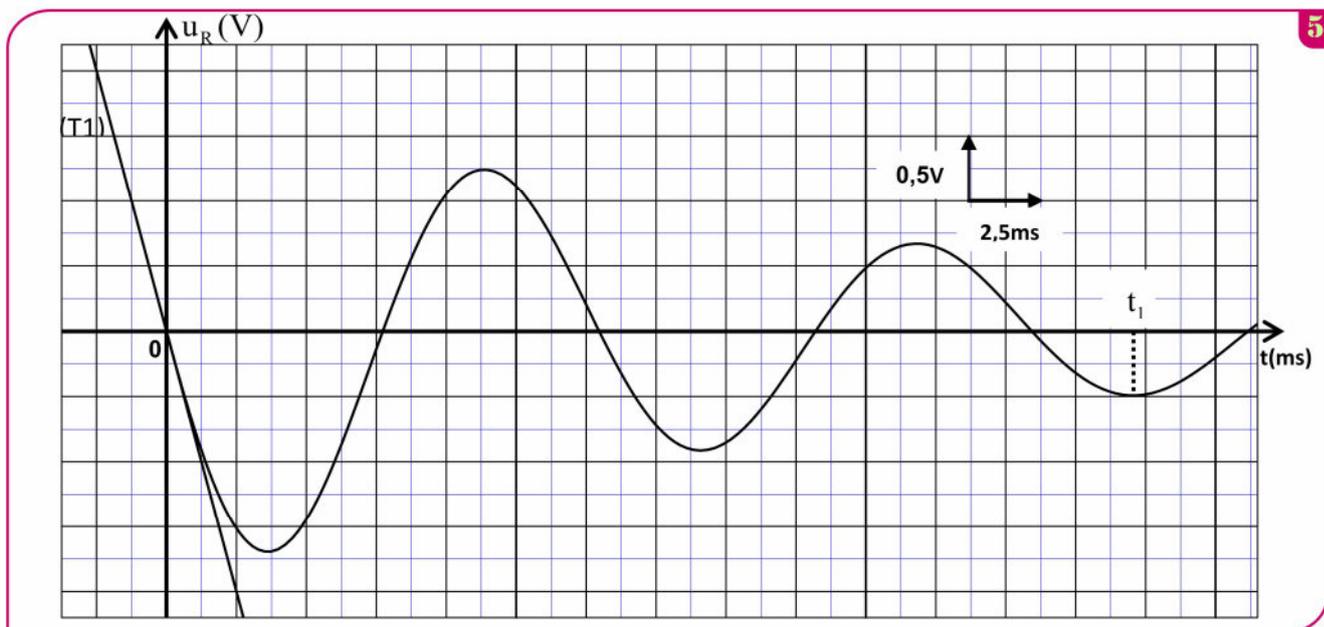
On ferme l'interrupteur K_1 (K_2 ouvert) à l'instant de date $t=0$. L'intensité du courant indiquée par le microampèremètre est $I_0 = 4\ \mu\text{A}$. Un système d'acquisition informatisé adéquat permet de tracer la courbe représentant la tension $u_{AB}(t)$ (fig.4).

- 1 Déterminer la valeur de R_0 .
- 2 Trouver la valeur de la capacité C du condensateur.

Etude du dipôle RLC

Lorsque la tension entre les bornes du condensateur prend la valeur $u_C = U_0$, on ouvre K_1 et on ferme K_2 à un instant pris comme nouvelle origine des dates ($t=0$). Un système d'acquisition informatisé adéquat permet de tracer la courbe représentant la tension $u_R(t)$ (fig.5). (la droite (T1) représente la tangente à la courbe à $t = 0$.)





- 1 Etablir l'équation différentielle régissant l'évolution de la charge q du condensateur.
- 2 Exprimer $\frac{dE_t}{dt}$ en fonction de R , r et i ; E_t représente l'énergie totale du circuit à un instant t et i l'intensité du courant circulant dans le circuit au même instant.
- 3 Montrer que $U_0 = -\frac{L}{R} \cdot \left(\frac{du_R}{dt}\right)_{t=0}$ où $\left(\frac{du_R}{dt}\right)_{t=0}$ représente la dérivée par rapport au temps de $u_R(t)$ à $t=0$. Calculer U_0 .
- 4 Trouver $|E_j|$ l'énergie dissipée par effet Joule dans le circuit entre les instants $t=0$ et $t=t_1$ (fig.5).

3- 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 $u_2(t) = U_m \cdot \cos(2\pi \cdot f_p \cdot t)$.

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.

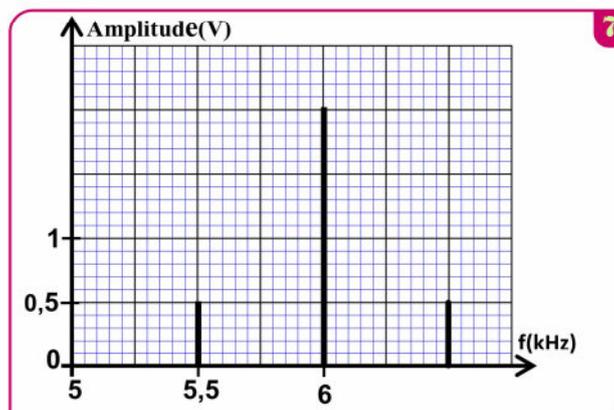
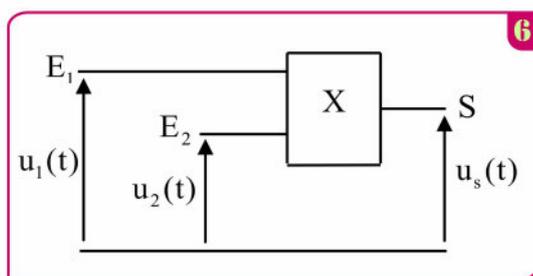
Rappel: $\cos(a) \cdot \cos(b) = \frac{1}{2} [\cos(a+b) + \cos(a-b)]$

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

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

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 modulé, 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 .



Les parties I et II sont indépendantes

Partie I : Etude du dipôle RC et du circuit LC

Les circuits RC, RL et RLC sont utilisés dans les montages électroniques des appareils électriques. On se propose, dans cette partie, d'étudier le dipôle RC et le circuit LC.

Le montage électrique schématisé sur la figure 1 comporte :

- un générateur idéal de tension de f.e.m E ,
- deux condensateurs de capacité C_1 et $C_2 = 2 \mu\text{F}$,
- un conducteur ohmique de résistance $R = 3 \text{ k}\Omega$,
- une bobine d'inductance L et de résistance négligeable,
- un interrupteur K à double position.

1-Etude du dipôle RC

On place l'interrupteur K dans la position (1) à un instant pris comme origine des dates ($t=0$).

1 Montrer que la capacité C_e du condensateur équivalent aux deux condensateurs associés en série est :

$$C_e = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2}$$

2 Montrer que l'équation différentielle vérifiée par la tension $u_2(t)$ entre les bornes du condensateur de capacité C_2 s'écrit :

$$\frac{du_2(t)}{dt} + \frac{1}{R \cdot C_e} \cdot u_2(t) = \frac{E}{R \cdot C_2}$$

3 La solution de cette équation différentielle s'écrit sous la forme :

$$u_2(t) = A \cdot (1 - e^{-\alpha t})$$

l'expression de A et celle de α en fonction des paramètres du circuit.

4 Les courbes de la figure 2, représentent l'évolution des tensions $u_2(t)$ et $u_R(t)$.

La droite (T) représente la tangente à la courbe représentant $u_2(t)$ à l'instant $t = 0$.

a. Déterminer la valeur de :

- E ,
- $u_2(t)$ et celle de $u_1(t)$ en régime permanent.

b. Montrer que $C_1 = 4 \mu\text{F}$.

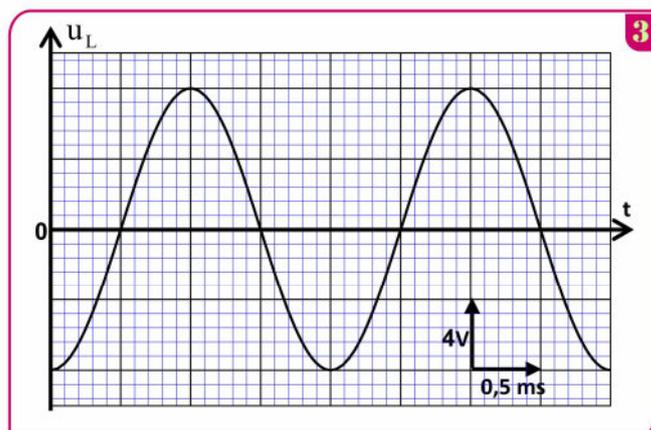
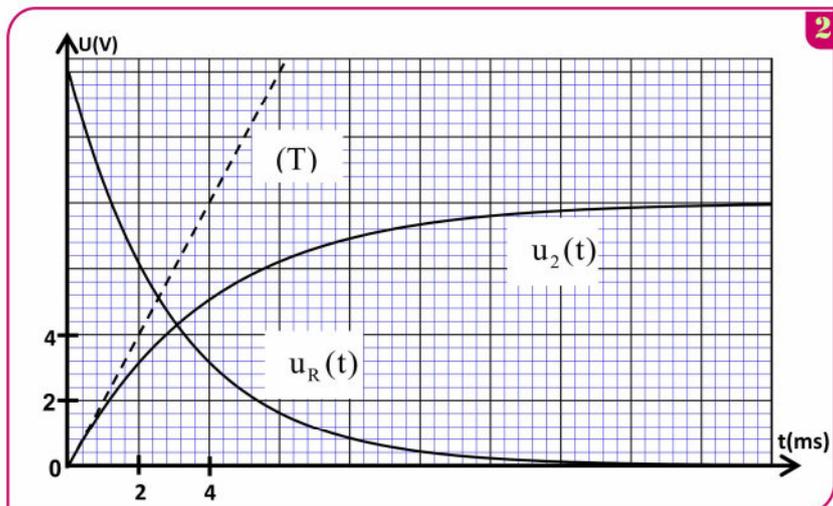
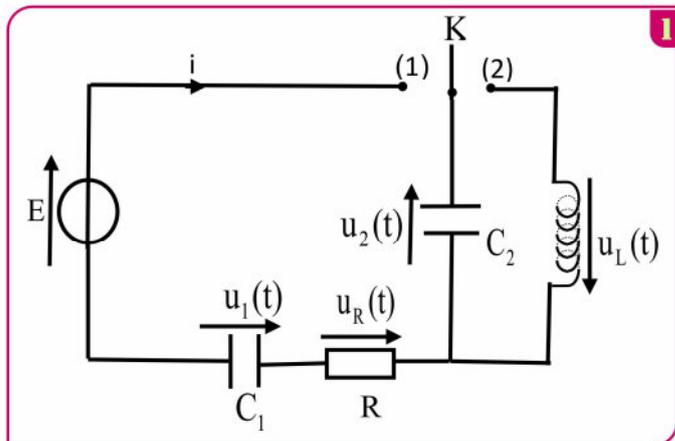
2-Etude des oscillations électriques dans le circuit LC

Lorsque le régime permanent est établi, on bascule l'interrupteur K à la position (2) à un instant pris comme nouvelle origine des dates ($t = 0$).

1 Montrer que l'équation différentielle vérifiée par la tension $u_L(t)$ entre les bornes de la bobine s'écrit :

$$\frac{d^2 u_L(t)}{dt^2} + \frac{1}{LC_2} u_L(t) = 0$$

2 La courbe de la figure 3 représente les variations de la tension $u_L(t)$ en fonction du temps



- a. Déterminer l'énergie totale E_t du circuit.
 b. Calculer l'énergie magnétique E_m emmagasinée dans la bobine à l'instant $t = 2,7 \text{ ms}$.

Partie II : 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 : $u(t) = k.p(t).(s(t) + U_0)$ où $s(t) = S_m \cdot \cos(2\pi f_s t)$ et $p(t) = P_m \cdot \cos(2\pi f_p t)$ et k une constante qui caractérise le circuit intégré multiplieur .

- 1 La tension modulée en amplitude peut s'écrire sous la forme : $u(t) = A \left[\frac{m}{S_m} s(t) + 1 \right] \cdot \cos(2\pi f_p t)$
 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 m en 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 $20 \mu\text{s} \cdot \text{div}^{-1}$;

- 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 ?

EXERCICE 3

55 min

1^{ère} partie: Etude d'un oscillateur électrique libre

On charge un condensateur de capacité $C = 10 \mu\text{F}$ sous une tension continue $U = 6 \text{ V}$.On le branche aux bornes d'une bobine d'inductance L et de résistance négligeable ,figure (1).

On ferme l'interrupteur K à l'instant $t = 0$.

- 1 Etablir l'équation différentielle vérifiée par la charge $q(t)$ du condensateur .
 2 La solution de l'équation différentielle s'écrit sous la forme :

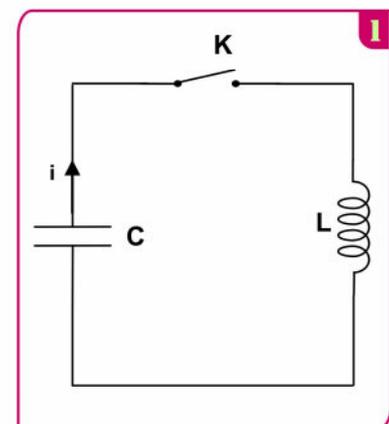
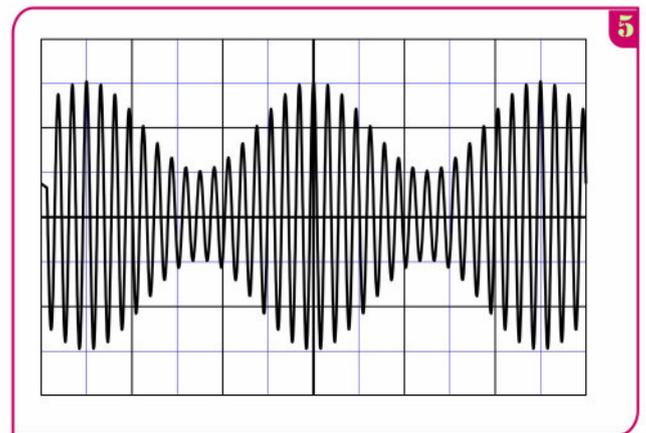
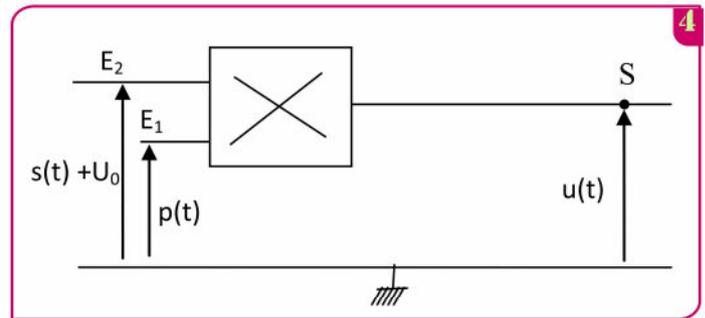
$$q = Q_m \cos\left(\frac{2\pi}{T_0} \cdot t\right), \text{ dont } T_0 \text{ est la période propre de l'oscillateur (LC) .}$$

Calculer Q_m et trouver l'expression de T_0 en fonction des paramètres du circuit .

- 3 Monter que le rapport de l'énergie électrique E_e emmagasinée dans le condensateur et l'énergie totale E du circuit s'écrit à un instant t

$$\text{sous la forme : } \frac{E_e}{E} = \cos^2\left(\frac{2\pi}{T} \cdot t\right).$$

- 4 Compléter le tableau suivant, après l'avoir copié sur votre copie ,en calculant le rapport $\frac{E_e}{E}$:

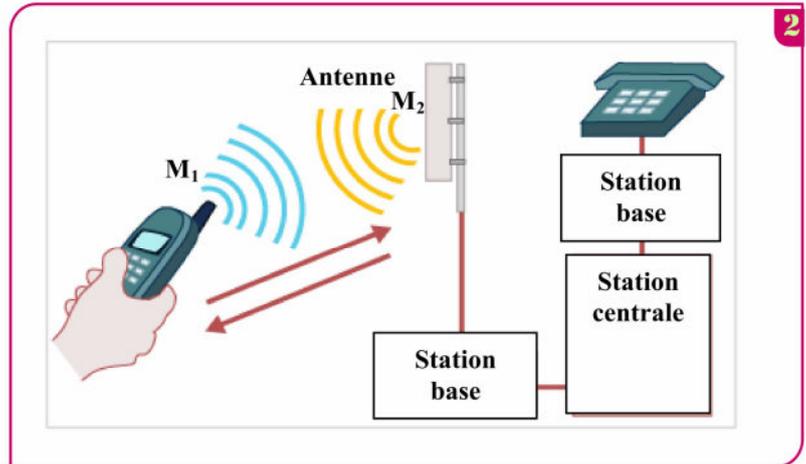


L'instant t	0	$\frac{T_0}{8}$	$\frac{T_0}{4}$	$\frac{3T_0}{8}$	$\frac{T_0}{2}$
Le rapport $\frac{E_e}{E}$					

5 Dédurre la période T de l'échange d'énergie entre le condensateur et la bobine en fonction de T_0 .

2^{ème} partie : 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.

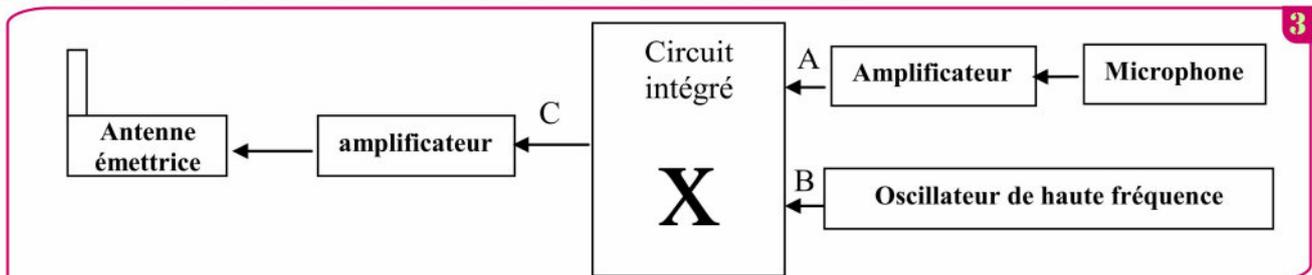


1- émission d'une onde électromagnétique par un portable

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 : $c = 3,00 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}$; $1\text{MHz} = 10^6\text{Hz}$.

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



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

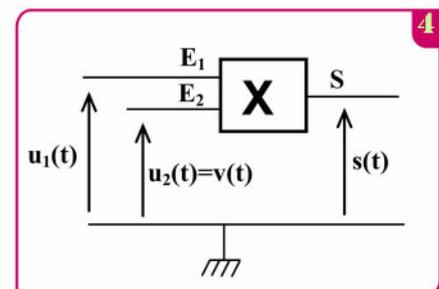
- L'onde porteuse ?
- Le signal modulant ?

2- Modulation d'amplitude

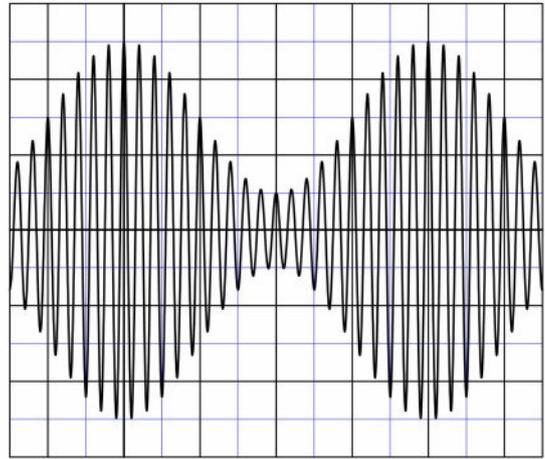
Le circuit de modulation est constitué d'un composant nommé multiplieur qui possède deux entrées E_1 et E_2 et une sortie S, figure (4). Pour simuler la modulation d'amplitude, on applique :

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

Le circuit intégré X donne une tension modulée proportionnelle au produit des deux tensions, $s(t) = k \cdot u_1(t) \cdot u_2(t)$ où k est une constante dépendant uniquement du circuit intégré. $s(t)$ s'écrit sous la forme : $s(t) = S_m \cos(2\pi Ft)$.



- 1 Montrer que S_m , amplitude du signal modulé, peut se mettre sous la forme $S_m = A[m.\cos(2\pi.f.t)+1]$ en précisant l'expression du taux de modulation m et celle de la constante A
- 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 :
 - 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.
- 3 Donner l'expression du taux de modulation en fonction de $S_{m(\min)}$ et $S_{m(\max)}$. Calculer la valeur de m .
- 4 La modulation effectuée est – elle de bonne qualité ? Justifier .



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