AlloSchool

Physique et Chimie : 2ème Année Bac

Séance 14 (Ondes électromagnétiques et modulation d'amplitude)

Professeur : Mr El GOUFIFA Jihad

Sommaire

I- Ondes électromagnétiques

1-1/ Définition

1-2/ Classification des ondes électromagnétiques

1-3/ Intérêt des ondes électromagnétiques

II- Nécessité d'une modulation

III- Les différents types de modulations

3-1/ Principe

3-2/ La modulation d'amplitude

3-3/ La modulation de fréquence

3-4/ La modulation de phase

IV- La modulation d'amplitude

4-1/ Principe

4-2/ Le montage multiplieur

4-3/ Le signal modulé

4-4/ Analyse fréquentielle

4-5/ La surmodulation

V- La démodulation

5-1/ Principe

5-2/ Les étapes de démodulation

VI- Réalisation d'un récepteur d'émission radio

VII- Exercices

7-1/ Exercice 1

7-2/ Exercice 2

7-3/ Exercice 3

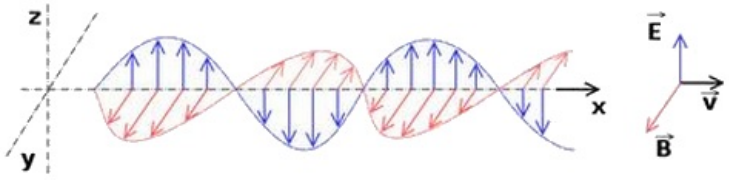
7-4/ Exercice 4

I- Ondes électromagnétiques

1-1/ Définition

Les ondes électromagnétiques correspondent aux oscillations couplées d'un champ électrique et d'un champ magnétique, dont les amplitudes varient de façon sinusoïdale au cours du temps.Elles se propagent dans l'air et dans le vide ainsi que dans certains milieux matériels.

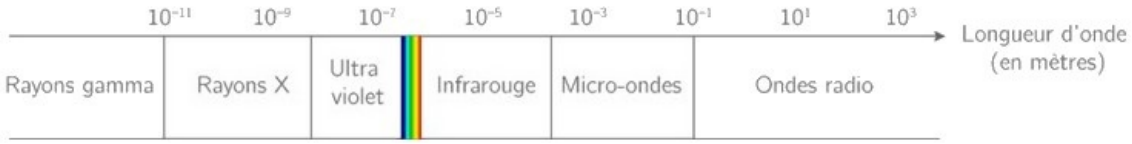
La vitesse de propagation des ondes électromagnétiques dans le vide et dans l'air est d'environ $3.10^8\ m.s^{-1}$.



1-2/ Classification des ondes électromagnétiques

On rencontre différents types des ondes électromagnétiques, ayant des propriétés très différentes.

Elles comprennent un vaste domaine de longueur d'onde, elles sont classées en fonction de leurs fréquences dans ce qu'on appelle le spectre électromagnétique, par leurs longueur d'onde croissantes, nous avons les rayons gamma, les rayons X, les ultraviolets, la lumière visible, les infrarouges, les micro-ondes et les ondes radio.



La lumière visible est une onde électromagnétique ainsi que ondes hertziennes qui sont utilisées dans le domaine de la radio, la télévision et la télécommunication.

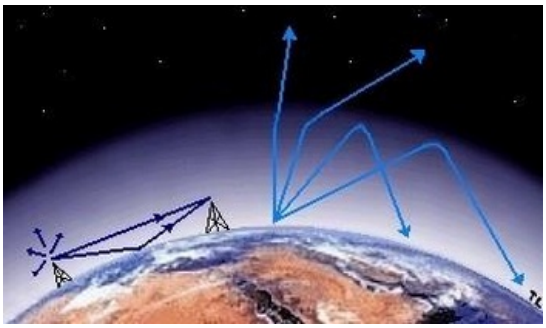
Les ondes électromagnétiques pendant leur propagation ne transportent pas la matière, mais elles transportent l'énergie, et elles sont capables de transporter les informations.

1-3/ Intérêt des ondes électromagnétiques

Il réside dans leur mode de propagation : rectiligne, avec une vitesse égale à celle de la lumière, pouvant subir les phénomènes de réflexion et de réfraction.

Les ondes hertziennes se propagent dans le vide. Elles traversent plus ou moins bien les milieux matériels, mais ne se propagent pas à travers les métaux.

Selon les milieux de propagation et leur fréquence, les ondes se propagent sur plus ou moins grandes
distances soit directement en ligne droite soit en se réfléchissant sur l'ionosphère (couches ionisées de l'atmosphère 80 à 400 km d'altitude) et sur le sol. Elles sont en outre diffractées par certains obstacles.



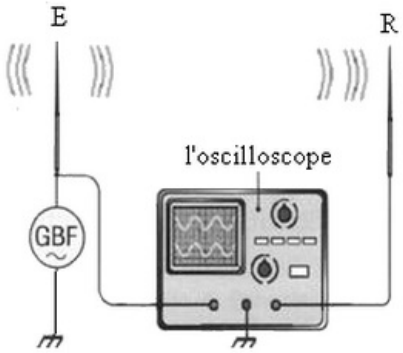
Une autre façon de parcourir de grandes distances à la surface de la Terre est obtenue au moyen de satellites qui sont en orbite au-delà de l'ionosphère : l'onde traverse l'ionosphère en subissant une réfraction et est captée par un satellite qui la renvoie sur Terre.

Pour cela, il faut utiliser des ondes de haute fréquence, capables de franchir l'ionosphère. C'est le cas des ondes utilisées en radio FM, par la télévision par satellite, pour les téléphones cellulaires.

Mise en évidence de la méthode d'envoi et de réception d'une onde électromagnétique

Dans le montage suivant E et R sont deux fils électriques conducteurs qui jouent le rôle d'émetteur et de récepteur.

On visualise sur l'entrée Y_A de l'oscilloscope un signal sinusoïdal émis par le générateur GBF et on obtient sur l'entrée Y_B un signal reçu par le récepteur R qui la même fréquence et la même forme que le signal émis par E :



L'antenne émettrice E émet une onde électromagnétique de même fréquence que le signal électrique du circuit.

Cette onde se propage dans tout l'espace et provoque dans l'antenne réceptrice R un signal de même fréquence.

L'onde électromagnétique peut transporter le signal qui contient l'information à des grandes distances sans aucun transport de la matière et avec une vitesse égale à la célérité de lumière dans le vide.

II- Nécessité d'une modulation

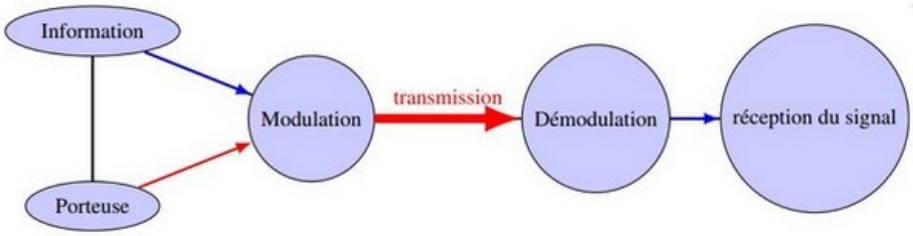
Pour transmettre un signal de basse fréquence BF à une distance de plusieurs millions de kilomètres, il serait rapidement atténué, et en plus la réception de ce signal nécessitera des antennes de très grandes dimensions, car la longueur de l'antenne est en général de l'ordre de la moitié de la longueur d'onde du signal de réception $l = \frac{\lambda}{2}$.

Pour un signal BF, $f = 200Hz$ par exemple, sa longueur d'onde est $\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3.10^8}{200} = 1500Km$, pour le capter on a besoin d'une antenne de longueur $l = 750Km$.

Un signal haute fréquence HF sera facilement transmissible [HF correspond à des fréquences $f > 100MHz$], de longueurs d'ondes $\lambda = \frac{c}{f} < 3m$, et pour le capter l'antenne utilisée sera de longueur inférieure à $1,5m$.

Pour cette raison on doit utiliser une technique pour transmettre les informations, cette technique s'appelle la modulation.

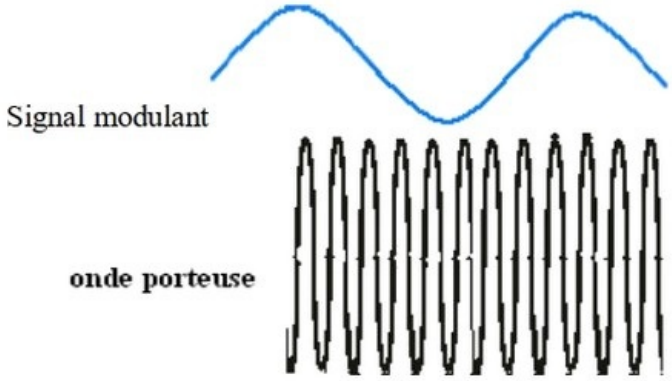
La modulation est un processus qui consiste à transmettre le signal de sa forme original en une forme adaptée au canal de transmission en faisant varier son amplitude ou sa fréquence ou bien sa phase.



III- Les différents types de modulations

3-1/ Principe

Généralement on "greffe" sur un signal haute fréquence appelé "onde porteuse" le signal basse fréquence à transmette appelé "signal modulant" :



On obtient ainsi un signal modulé.

L'onde porteuse est une onde sinusoïdale qui s'écrit :

$$u(t) = U_m \cos(2\pi ft + \varphi)$$

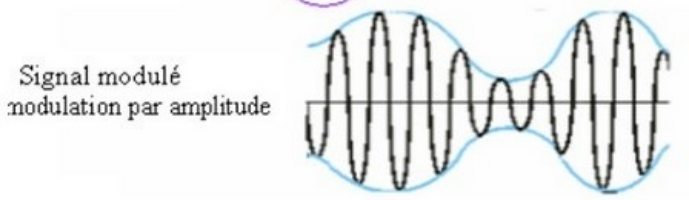
- U_m : Amplitude
- f : Fréquence
- φ : Phase à l'origine

La modulation consiste à transmettre le signal en faisant varier son amplitude ou sa fréquence ou bien sa phase.

3-2/ La modulation d'amplitude

Elle correspond à la modulation de l'amplitude de l'onde porteuse selon le signal modulant contenant l'information :

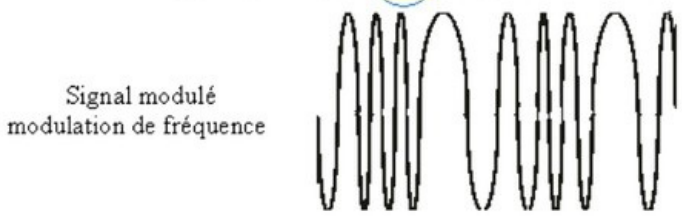
$$u(t) = U_m(t)\cos(2.\pi.f.t + \varphi)$$



3-3/ La modulation de fréquence

Elle correspond à une variation de la fréquence de l'onde porteuse par celle de l'information :

$$u(t) = U_m \cos(2.\pi.f(t).t + \varphi)$$



3-4/ La modulation de phase

Elle correspond à une variation de la phase de l'onde porteuse par celle de l'information :

$$u(t) = U_m \cos(2.\pi.t + \varphi(t))$$



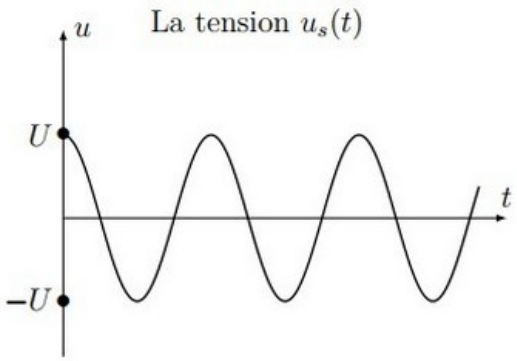
IV- La modulation d'amplitude

4-1/ Principe

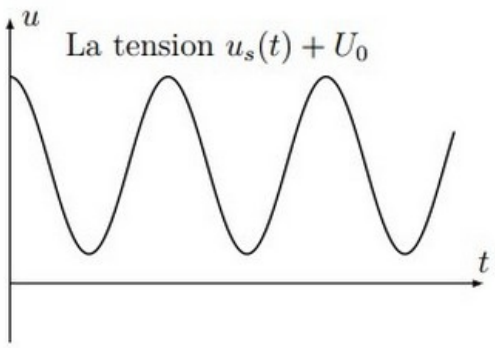
La modulation est obtenue par combinaison de deux ondes.

La première onde est liée à l'information à transmettre. Elle est supposée sinusoïdale, d'amplitude U_{sm} et de fréquence f_s, la tension correspondante s'écrit alors :

$$u_s(t) = U_{sm}\cos(2\pi f_s t)$$

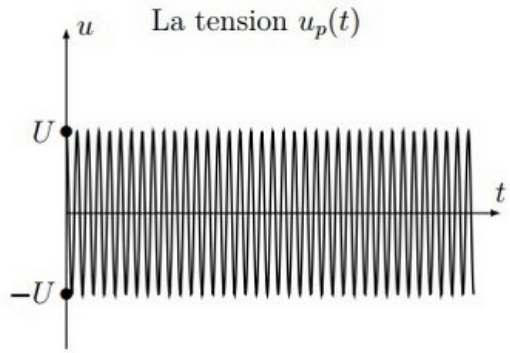


Dans le cas de la modulation d'amplitude, on ajoute à cette tension u_s une tension continue U_0 appelée tension de décalage (ou offset).



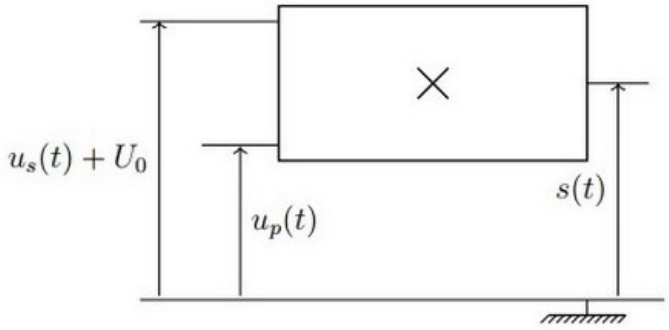
La seconde est la porteuse, onde sinusoïdale de haute fréquence et d'amplitude constante. Elle est produite par l'oscillateur de l'émetteur qui délivre une tension de la forme :

$$u_p(t) = U_{pm} \cos(2\pi f_p t)$$



4-2/ Le montage multiplieur

Un circuit électronique, appelé multiplieur, donne en sortie une tension modulée s(t) proportionnelle au produit des tensions d'entrée avec un coefficient multiplicateur k exprimé généralement en V−1 :

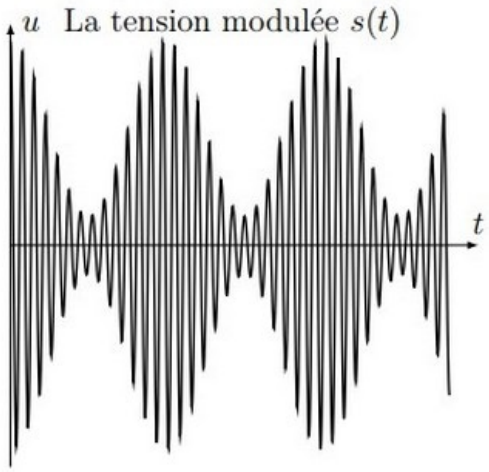


Le multiplieur donne en sortie la tension :

$$s(t) = K.u_p(t).(u_s(t) + U_0)$$

$$s(t) = A\cos(2\pi f_p t)\,[1 + m\cos(2\pi f_s t)]$$

$$\begin{cases} A = KU_{pm}U_0 \\ m = \frac{U_{sm}}{U_0} \end{cases}$$

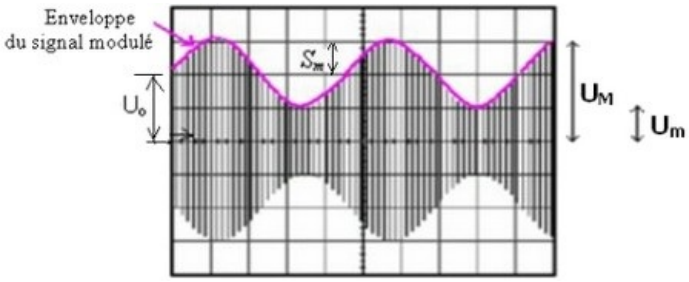


4-3/ Le signal modulé

L'enveloppe du signal modulé a la même forme et la même fréquence que le signal modulant.

L'amplitude du signal modulé varie entre deux valeurs U_M et U_m.

La modulation est bonne qualité si l'enveloppe du signal modulé correspond au signal modulant.



Le taux de modulation : $m = \frac{U_M - U_m}{U_M + U_m}$

Les conditions d'avoir une modulation de bonne qualité sont :

- Le taux de modulation doit être : $m < 1$
- La fréquence de l'onde porteuse doit être : $f_p > 10.\, f_s$

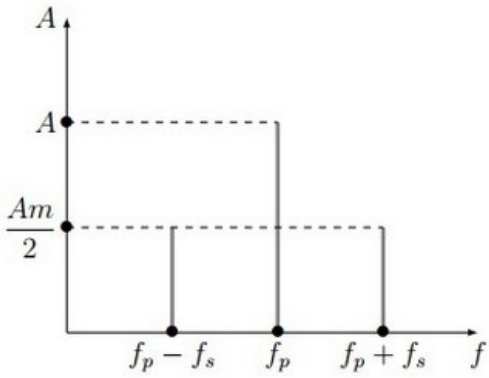
4-4/ Analyse fréquentielle

$$s(t) = A\cos(2\pi f_p t)\left[1 + m\cos(2\pi f_s t)\right]$$

$$s(t) = Am\cos(2\pi f_p t)\cos(2\pi f_s t) + A\cos(2\pi f_p t)$$

$$s(t) = \frac{Am}{2}\cos(2\pi(f_p - f_s)t) + \frac{Am}{2}\cos(2\pi(f_p + f_s)t) + A\cos(2\pi f_p t)$$

Cela correspond à la somme de trois tensions sinusoïdales des fréquences respectives , leurs valeurs se situent dans le domaine des fréquences qui correspondent aux ondes hertziennes à grande portée.



4-5/ La surmodulation

Lorsque la valeur de U_0 varie on obtient les courbes suivantes :

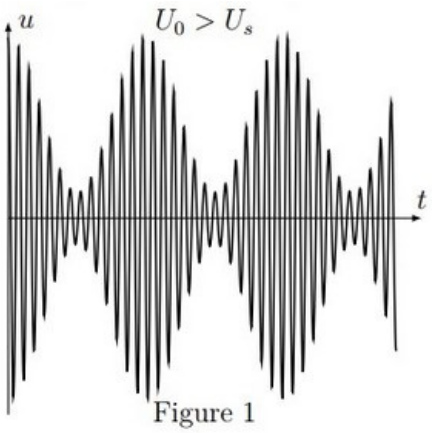


Figure 1

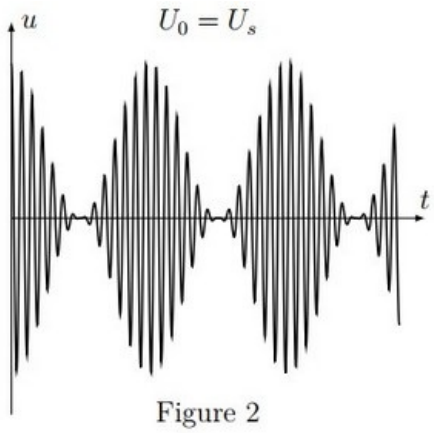


Figure 2

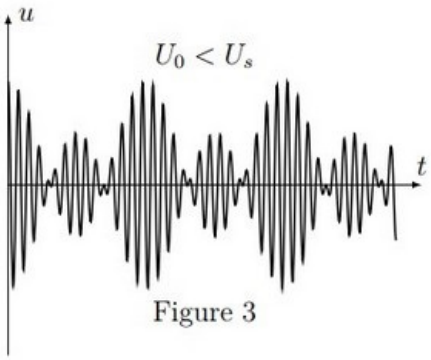


Figure 3

La modulation est de bonne qualité sur la figure 1 et mauvaise sur les figures 2 et 3.

On constate alors que pour avoir une modulation de bonne qualité, la tension de décalage doit

être supérieure à l'amplitude de l'onde transmise. Autrement dit :

$$U_0 > U_s \Leftrightarrow m = \frac{U_s}{U_0} < 1$$

On parle de la surmodulation dans les deux autres figures.

Lorsque la valeur de f_p la fréquence de l'onde porteuse varie on obtient les courbes suivantes :

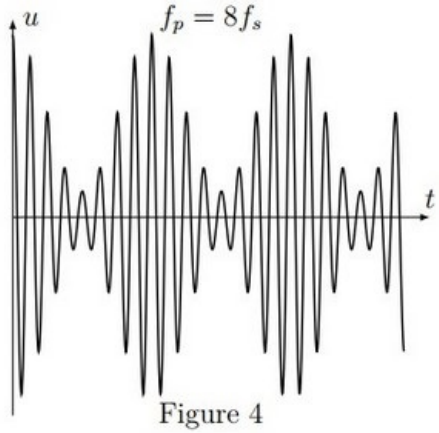


Figure 4

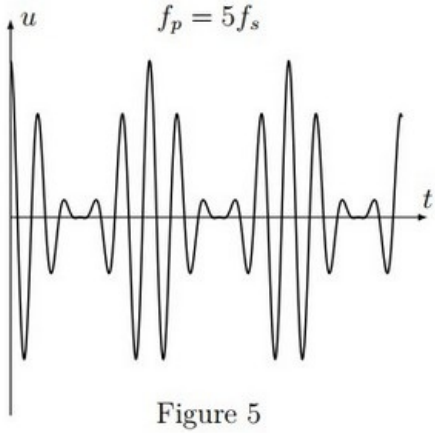


Figure 5

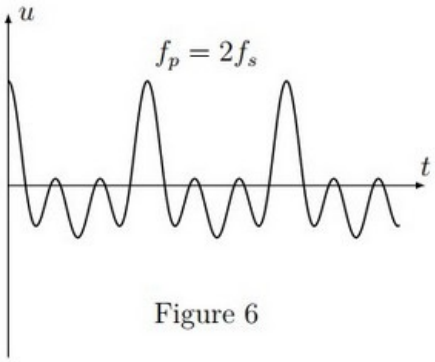


Figure 6

La modulation est de bonne qualité sur la figure 4 et mauvaise sur les figures 5 et 6.

On constate alors que pour avoir une modulation de bonne qualité, la fréquence de l'onde porteuse
doit être très supérieure à la fréquence de l'onde transmise :

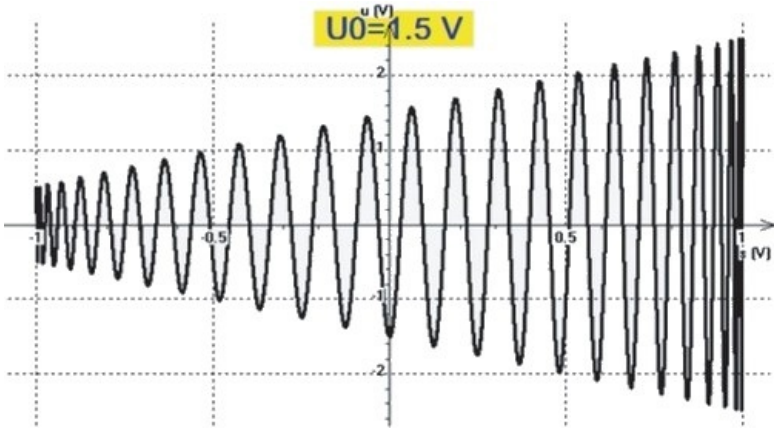
$$f_p >> f_s$$

Pour s'assurer que la modulation est de bonne qualité on utilise la méthode du trapèze qui représente $u_s(t)$ en fonction de $s(t)$.

Pratiquement on suit la démarche suivante :

- Relier la tension $s(t) + U_0$ à l'entrée X de l'oscilloscope
- Relier la tension $u_s(t)$ à l'entrée Y .
- Éliminer le balayage de l'oscilloscope (mod XY)

On obtient un signal en forme trapèze :



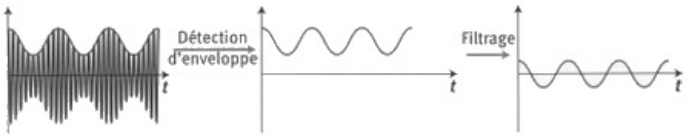
V- La démodulation

5-1/ Principe

La démodulation consiste à détecter l'enveloppe de l'onde modulée et la séparer de la tension de décalage, pour retrouver à la réception l'onde transmise.

Elle s'opère en deux étapes :

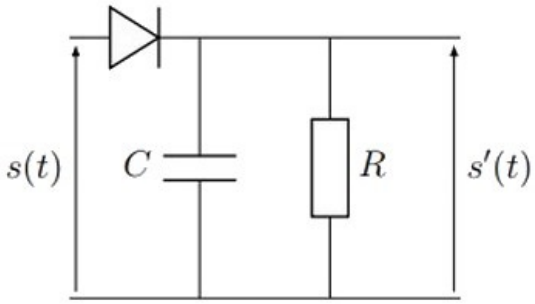
- La détection d'enveloppe.
- L'élimination de la tension continue par filtrage.



5-2/ Les étapes de démodulation

Étape 1 : Suppression des alternances négatives et élimination de l'enveloppe

On utilise un montage détecteur d'enveloppe appelé encore (filtre passe-bas) :

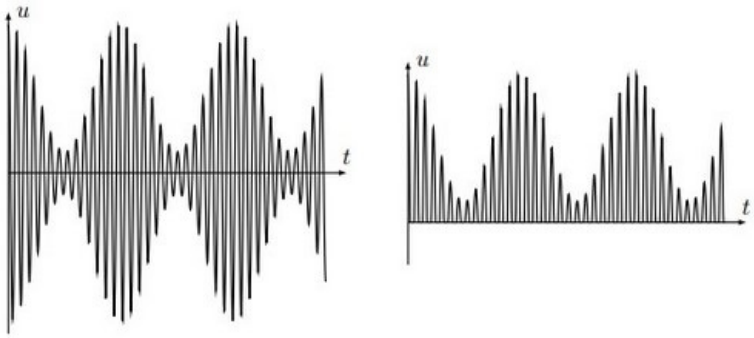


Ce montage nous permet de trouver l'onde émise, il comporte une diode associée à un dipôle RC.

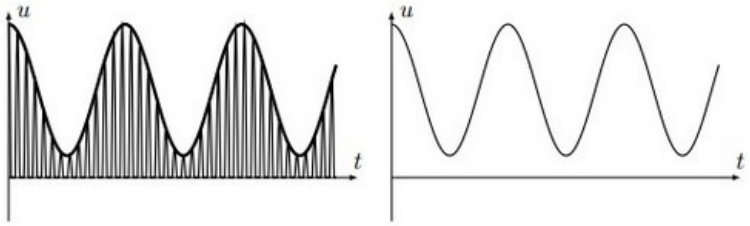
À l'entrée du montage on applique directement la tension $s(t)$ représentant l'onde modulée délivrée par le multiplieur, et on observe à la sortie une tension $s'(t)$ semblable à l'onde modulante.

Une condition est toutefois nécessaire pour obtenir une bonne démodulation est la vérification de la condition $f_s < \frac{1}{\tau} << f_p$.

La diode bloque les alternances négatives et donne la tension suivante :



Et le dipôle RC élimine les hautes fréquences, et on obtient l'enveloppe $s'(t)$:

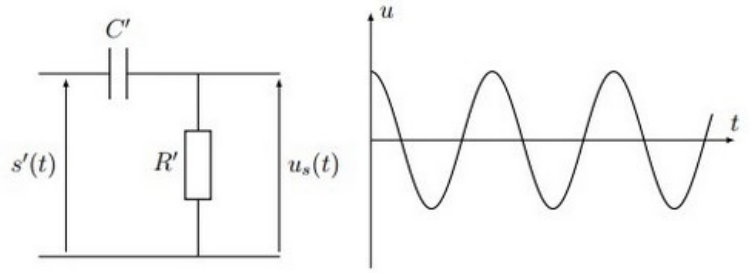


Étape 2 : Élimination de la tension de décalage

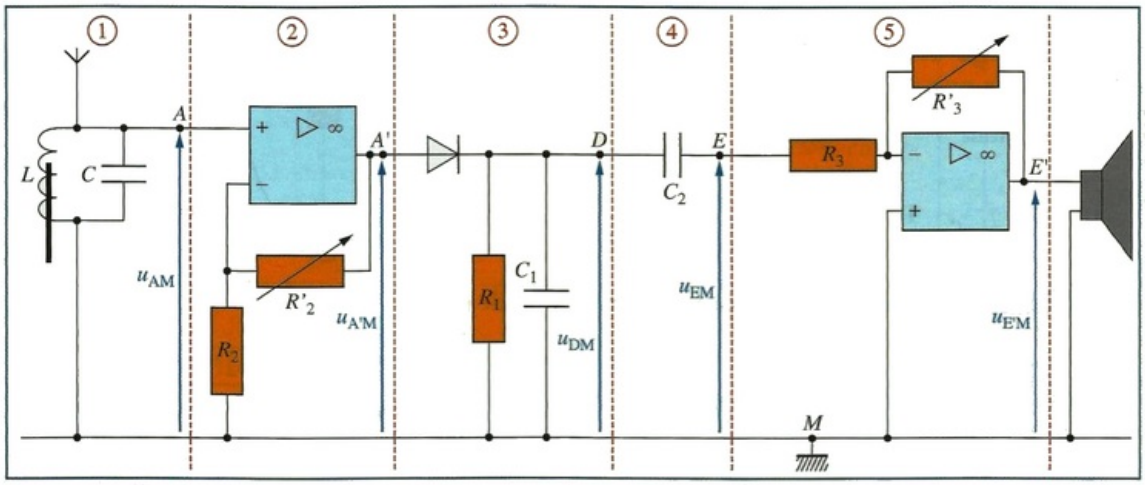
On utilise un filtre $R'C'$ passe-haut.

L'onde $s'(t)$ est appliquée à l'entrée de ce montage, et à la sortie on observe la tension $u_s(t)$ émise.

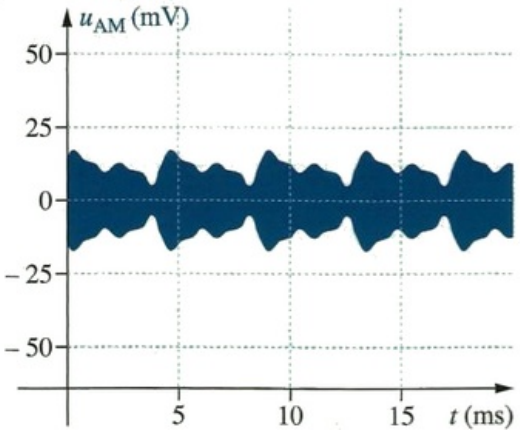
On élimine la tension constante U_0 par le condensateur C', et on obtient le signal original $u_s(t)$.



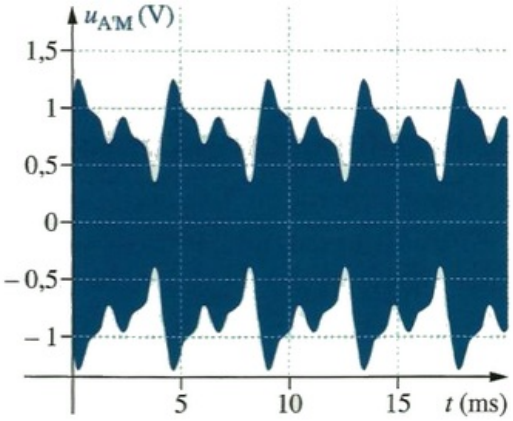
VI- Réalisation d'un récepteur d'émission radio



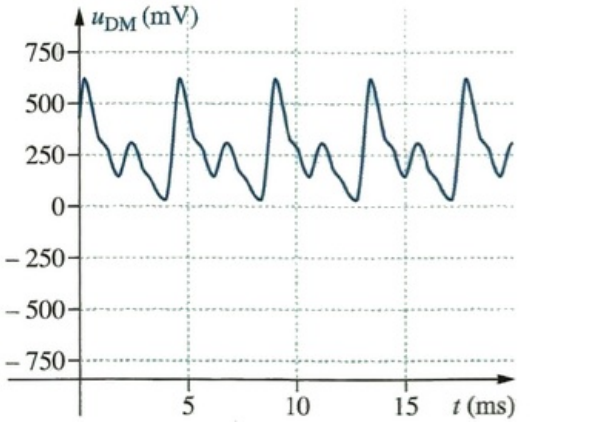
La partie (1) du montage d'un récepteur radio comporte une antenne qui reçoit une multitude d'ondes hertziennes que le circuit d'accord filtre afin de sélectionner le signal modulé en amplitude de fonde radio désirée. On obtient le signal suivant :

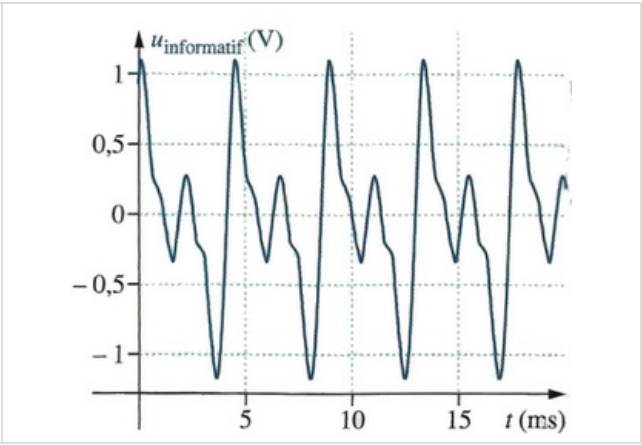


Dans la partie (2) le signal modulé en amplitude est amplifié. On obtient le signal suivant :

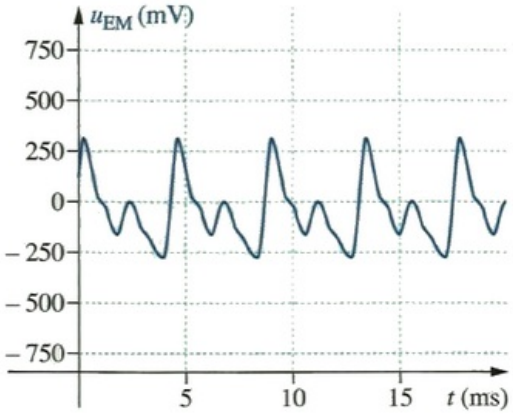


La partie (3) est le montage détecteur d'enveloppe. À sa sortie, la tension u_{DM} a la même allure et même fréquence que le signal informatif :





Le condensateur de la partie (4) enlève la composante continue de la tension u_{DM}, on obtient u_{EM} :



La tension u_{EM} est trop faible pour alimenter le haut-parleur. La partie (5) amplifie le signal, on obtient $u_{E'M}$ qui alimente le haut-parleur.

VII- Exercices

7-1/ Exercice 1

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.

Modulation

On considéré le montage suivant :

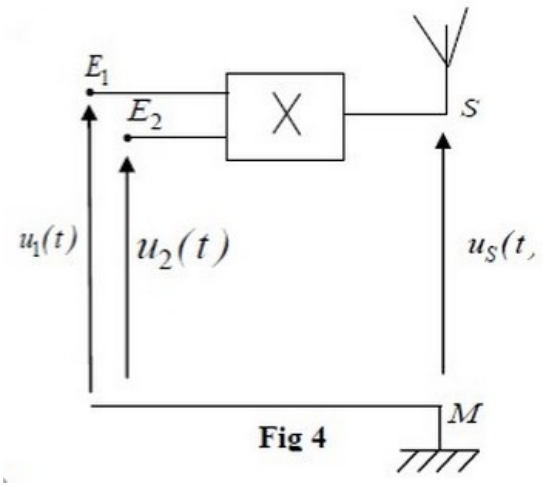
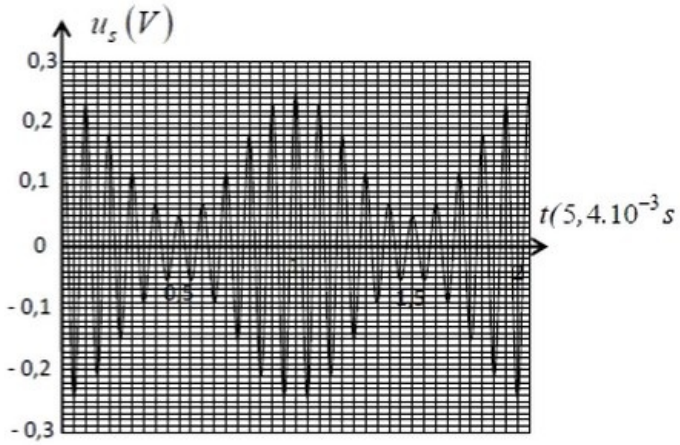


Fig 4

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

Le générateur $(GBF)_2$ applique à l'entrée 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 $S(t) = S_m.\cos\left(\frac{2\pi t}{T_S}\right)$ la tension correspondante à l'onde qu'on désire transmettre.

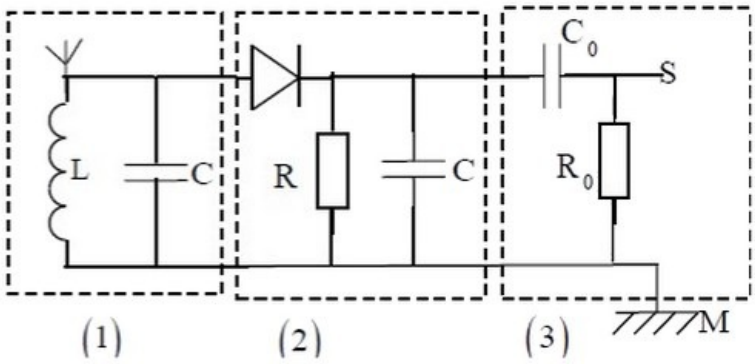
On visualise sur l'écran d'un oscilloscope la tension de sortie $u_s(t) = k.u_1(t).u_2(t)$ avec k constante positive caractérisant la composante X :



1. Montrer que l'expression de la de la tension 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. Calculer la valeur de m et déduire la qualité de la modulation.

Démodulation

La figure suivante représente le montage utilisé dans un dispositif de réception constitué de trois parties :



3. Préciser le rôle de la partie 3 dans ce montage.
4. Déterminer la valeur du produit $L.C$ pour que la sélection de l'onde soit bonne.
5. 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 : $\frac{4\pi^2 \mathrm{L}}{T_P} << R < \frac{4\pi^2 \mathrm{L.T_S}}{{T_P}^2}$
6. Calculer les bornes de cet intervalle sachant que $L = 1,5mH$.

7-2/ Exercice 2

Modulation

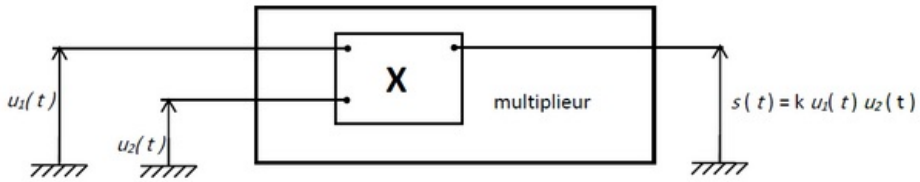
Lors d'une séance de travaux pratiques, un élève réalise des expériences qui illustrent l'émission et la réception d'un signal sinusoïdal de fréquence $f_m = 500Hz$.

Pour réaliser une modulation d'amplitude, les élèves utilisent un montage multiplieur (figure ci-dessous) agissant sur les tensions $u_1(t)$ et $u_2(t)$ dont les expressions sont :

$u_1(t) = U_0 + U_m.\cos(2\pi f_m t)$
$u_2(t) = U_P.\cos(2\pi f_P t)$

avec $U_m.\cos(2\pi f_m t)$ la tension modulante, U_0 une tension constante positive et $u_2(t)$ la tension porteuse.

Ce montage délivre une tension de sortie $s(t)$ telle que $s(t) = k.u_1(t).u_2(t)$ où k est un coefficient caractéristique du multiplieur :



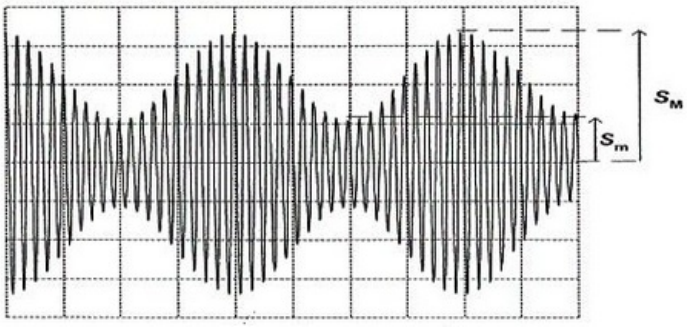
1. Quelle est l'unité du coefficient k ?

La tension de sortie $s(t)$ peut se mettre sous la forme
$s(t) = A[1 + m\cos(2\pi f_m t)]\cos(2\pi f_P t)$ avec $A = k.U_0.U_P$ et $m = \frac{U_m}{U_0}$ (taux de modulation).

On veut éviter la surmodulation qui se produit lorsque l'amplitude du signal modulant est supérieure à U_0.

2. Dans quel intervalle de valeurs doit se situer le taux de modulation m pour réaliser une bonne modulation d'amplitude ?

L'élève visualise la tension $s(t)$ à l'aide d'un oscilloscope, il obtient la courbe suivante :



Réglages de l'oscilloscope :

- Balayage : $0,5ms/div$
- Sensibilité verticale : $0,5V/div$

3. Montrer que le taux de modulation m peut s'exprimer selon la relation $m = \frac{S_M - S_m}{S_M + S_m}$.

Les grandeurs S_M et S_m sont représentées sur courbe ci-dessus.

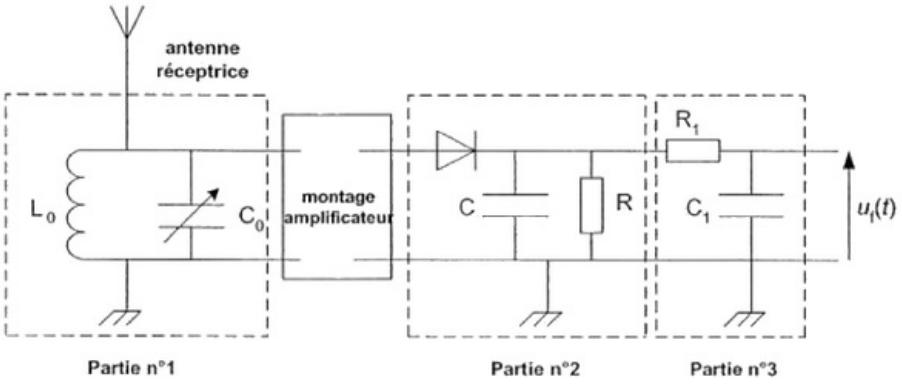
4. À partir de la courbe ci-dessus, déduire une valeur numérique approchée de m.
5. Vérifier que la fréquence de la porteuse utilisée est $f_P = 10KHz$.

Réception du signal modulé et démodulation

La tension $s(t)$ est appliquée à une antenne qui émet alors un signal électromagnétique reproduisant les mêmes variations que $s(t)$.

Un peu plus loin, l'élève place une antenne réceptrice servant à capter le signal.

Cette antenne est reliée à un circuit électrique comportant plusieurs parties aux fonctions distinctes :



On appelle $u_f(t)$ la tension mesurée en bout de chaîne.

La partie n°1 est constituée d'une bobine d'inductance $L_0 = 2,5mH$ et d'un condensateur de capacité C_0 ajustable, l'ensemble constituant un dipôle L_0C_0 en dérivation.

Ce dipôle oscille avec une fréquence propre dont l'expression est $f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_0C_0}}$.

On rappelle que la fréquence de la porteuse est $10KHz$ et celle du signal modulant est $500Hz$.

6. Quelle est la fonction de cette partie dans le montage ?
7. Quelle valeur doit-on choisir pour C_0 pour que cette fonction soit effectivement remplie ?

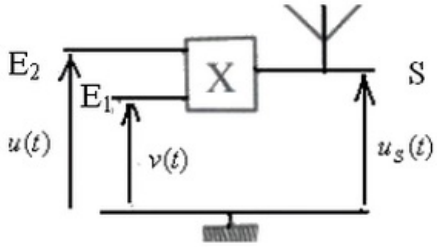
La partie n°2 comprend une diode, un conducteur ohmique de résistance R et un condensateur de capacité C. Cet ensemble constitue ce que l'on appelle un détecteur de crête. Sa fonction est d'obtenir une tension proportionnelle à la tension $u_1(t)$ de la partie modulation.

8. Quelle condition doit remplir la constante de temps du dipôle RC pour obtenir une bonne démodulation ?
9. Sachant que $C = 500\,nF$, choisir parmi les valeurs suivantes ,la valeur de R qui vous paraît la mieux convenir pour remplir convenablement cette fonction :
   20Ω ; 200Ω ; $2,0K\Omega$; $20K\Omega$.
10. Quel est le rôle de la partie n°3 ?

7-3/ Exercice 3

Modulation d'amplitude

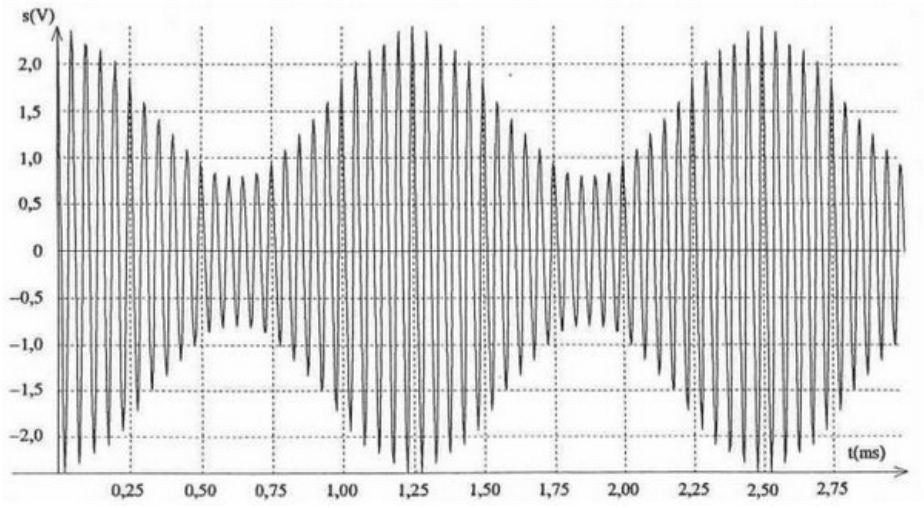
Pour envoyer un signal on utilise le montage représenté dans la figure suivante :



On applique à l'entrée E_1 une tension $v(t) = V_m.\cos(2\pi \mathrm{Ft})$.

Le signal à envoyer est $s(t) = S_m.\cos(2\pi ft)$, on lui ajoute une tension continue U_0 et on obtient $u(t) = s(t) + U_0$.

On applique à l'entrée E_2 la tension $u(t)$, et à l'aide d'un système d'acquisition branché à la sortie S on obtient la tension $u_S(t)$ représentée dans la suivante :



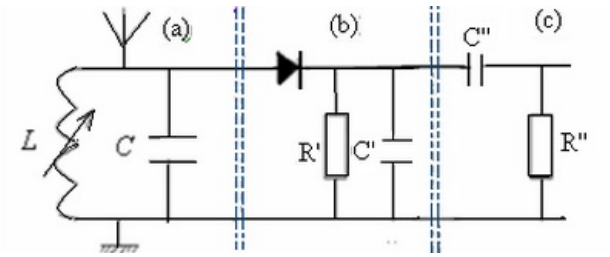
1. Pourquoi il est important de moduler un signal avant de le transmettre ?
2. Comment s'appelle le composant électronique utilisé pour réaliser la modulation d'amplitude ? Quelle est son rôle ?
3. Pourquoi faut-il ajouter une tension de décalage au signal à transmettre?

On obtient à la sortie du montage précédent la tension $u_S(t) = k.u(t).v(t)$.

4. Que représente k ? Quelle est son unité ?
5. Montrer que la tension $u_S(t)$ s'écrit sous la forme $u_S(t) = A[1 + m.\cos(2\pi ft)]\cos(2\pi Ft)$. Déduire l'expression de A et m.
6. Quelles sont les conditions pour obtenir une bonne modulation ?
7. En exploitant la figure précédente déterminer f et F.

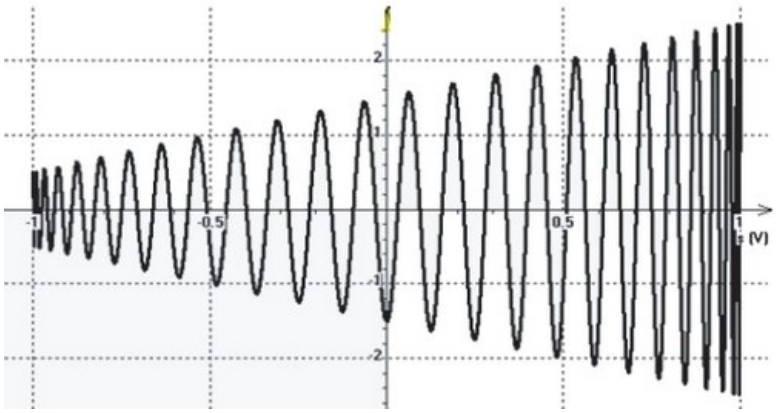
Démodulation

On utilise le montage de démodulation suivant qui se compose de trois parties (a), (b) et (c) :



8. Donner le nom du circuit représenté dans la partie (a) et préciser son rôle.
9. Quelle le rôle de la diode dans ce montage?
10. Quelle est le rôle du circuit R'C' montés en parallèle?
11. Quelle est le rôle du circuit R''C'' montés en série ?
12. Assurez vous que le circuit LC est réglé pour recevoir le signal envoyé lorsque $L = 62mH$.(on donne $C = 1nF$).
13. Quelle le but de la démodulation ?
14. Quelle est le rôle de chacune des parties (a), (b) et (c) dans le montage de démodulation ?

On lie la tension modulé us à l'entrée d'un oscilloscope et la tension $s(t)$ à l'autre entrée de l'oscilloscope puis on utilise le mode XY, on obtient sur l'écran de l'oscilloscope un signal en forme d'un trapèze :



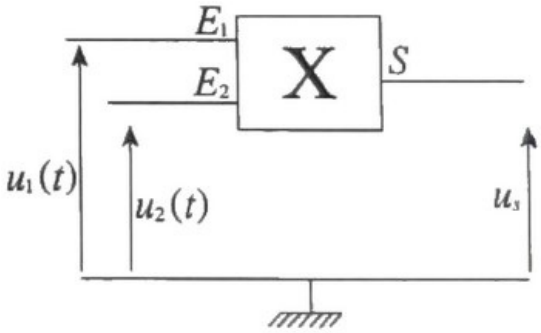
15. En utilisant la méthode du trapèze déterminer la valeur du taux de modulation.
16. Est-ce que la modulation est bonne ou non ?

7-4/ Exercice 4

La figure suivante représente le circuit de modulation d'amplitude utilisé pour transmettre un signal sinusoïdal $s(t) = S_m \cos 2\pi \mathrm{f.\,t}$ à l'aide d'une onde porteuse de haute fréquence : $p(t) = P_m \cos 2\pi F.\,\mathrm{t}$

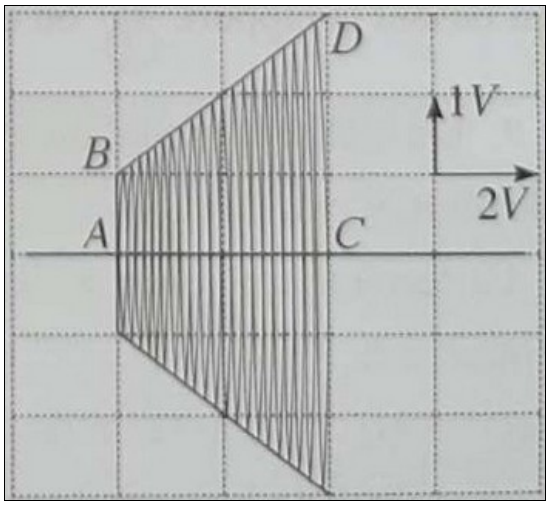
On donne $f = 1kHz$ et $F = 20kHz$.

On applique, à l'entrée E_1 du multiplieur la tension $u_1(t) = s(t) + U_0$ et à l'entrée E_2 la tension $u_2(t) = p(t)$:



La tension obtenue à la sortie est : $u_S(t) = k.\,u_1(t).\,u_2(t)$

Sur l'écran d'un oscilloscope bi-courbe, on obtient les tensions $u_1(t)$ et $u_S(t)$. Et en utilisant le mode $(X\text{—}Y)$ pour éliminer le temps, on visualise $u_S(t)$ en fonction de $u_1(t)$:



1. Montrer que le coefficient de modulation défini par le rapport $m = \frac{S_m}{U_0}$ peut être exprimé par la relation suivante : $m = \frac{H-h}{H+h}$, H étant la distance CD et h étant la distance AB.
2. Calculer m. Que peut-on déduire?
3. Déterminer, en exploitant le graphe, la valeur de S_m (amplitude du signal à transmettre).
4. En déduire la valeur de la tension de décalage.