

I-Modulation d'amplitude:

1) Définition:

Le principe de modulation d'amplitude consiste à transmettre une onde de basse fréquence au moyen d'une onde électromagnétique porteuse de haute fréquence puis par démodulation on obtient le signal transmit.

Parmi les conditions nécessaires pour faire la modulation d'amplitude:

- Les signaux basses fréquences sont rapidement amortis avec la distance.
- leur vitesse de propagation est faible par rapport à celle des ondes électromagnétiques.
- La réception des signaux de basses fréquences nécessitent des antennes de grandes dimensions difficiles à réaliser.

2) Le modulateur d'amplitude:

Le montage expérimental est constitué de deux générateurs GBF plus un oscilloscope et un multiplieur réalisant la modulation.

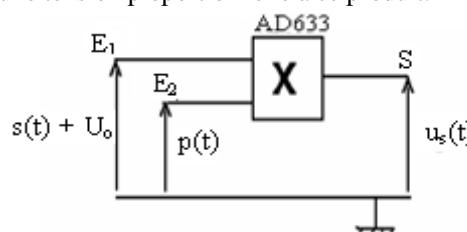
Le premier générateur GBF fournit un signal $s(t)$ sinusoïdal de basse fréquence décalé :

$$\text{Soit } s(t): \text{le signal sinusoïdal de basse fréquence à transmettre appelé: } \text{signal modulant}, \text{ de fréquence } f_s : \quad s(t) = S_m \cdot \cos 2\pi f_s t$$

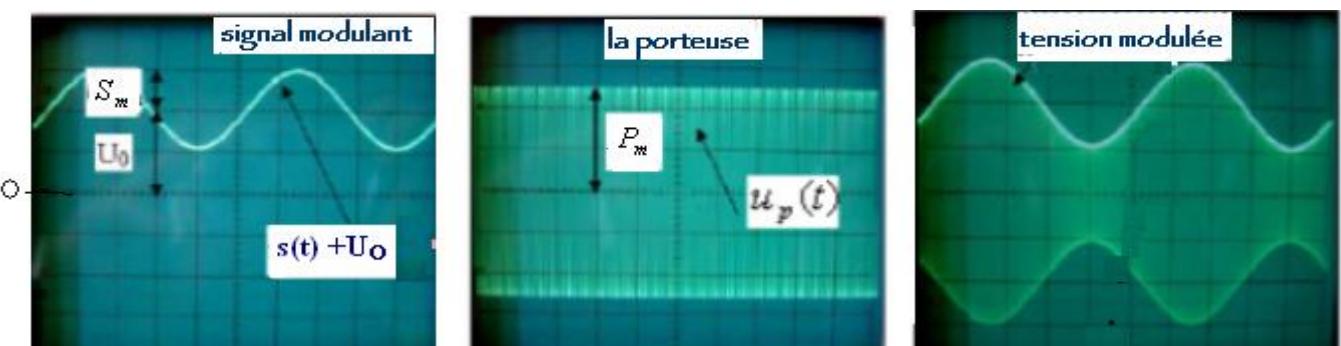
Le deuxième générateur GBF fournit un signal $p(t)$ sinusoïdal de haute fréquence (la porteuse) :

$$\text{- } p(t): \text{la porteuse}, \text{ de fréquence } f_p \text{ très grande par rapport à la fréquence } f_s : \quad p(t) = P_m \cdot \cos 2\pi f_p t$$

Pratiquement on utilise un composant électronique **AD633** nommé **multiplieur** symbolisé par **X** qui multiplie les tensions qui lui sont appliquées en entrées, et qui donne à sa sortie une tension proportionnelle à ce produit.



On applique à l'entrée **E₁** du multiplieur le signal modulant **s(t)** après lui avoir ajouter une **tension continue U_o** (dont nous allons voir l'utilité par la suite) puis on applique à l'entrée **E₂** la tension porteuse **p(t)** et on obtient à la sortie **S** du multiplieur la **tension modulée u_s(t)**.



La **tension modulée u_s(t)** obtenue à la sortie du multiplieur est proportionnelle au produit des deux tensions : $p(t)$ et $(s(t) + U_o)$.

s(t) : étant la **tension modulante** qui représente le **signal à transmettre** et **U_o** est une tension constante appelée **tension de décalage**.

donc : $u_{s(t)} = K \cdot [s(t) + U_o] \cdot p(t)$ avec : $p(t) = P_m \cdot \cos 2\pi f_p t$

Le coefficient multiplicateur K dépend du multiplieur, il s'exprime en **V⁻¹**.

On a donc : $u_{s(t)} = K \cdot [s(t) + U_o] \cdot P_m \cdot \cos 2\pi f_p t$ qui est de la forme :

$$u_{s(t)} = U_m(t) \cdot \cos 2\pi f_p t$$

Donc : $U_m(t) = K \cdot [s(t) + U_o] \cdot P_m$ représente **l'amplitude** de la tension modulée.

3) Expression de l'amplitude de la tension modulée:

Or l'amplitude de la tension modulée est : $U_m(t) = K \cdot [s(t) + U_o]$ avec : $s(t) = S_m \cdot \cos 2\pi f_s t$

$$\text{donc: } U_m(t) = k \cdot P_m \cdot \left[S_m \cdot \cos 2\pi f_s t + U_o \right] = k \cdot P_m \cdot U_o \cdot \left[\frac{S_m}{U_o} \cos(2\pi f_s t) + 1 \right]$$

On pose : $A = K \cdot P_m \cdot U_o$ et : $m = \frac{S_m}{U_o}$ m : représente le **taux de modulation**.

L'amplitude de la tension modulée devient:

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

$$\text{On a: } -1 \leq \cos(2\pi f_s t) \leq 1 \Rightarrow U_{m,\min} = A \cdot (1 - m) \quad \text{donc: } U_{m,\max} + U_{m,\min} = 2A \\ \text{et: } U_{m,\max} = A \cdot (1 + m) \quad U_{m,\max} - U_{m,\min} = 2A m$$

En posant : $U_{m,\max} = U_M$ et : $U_{m,\min} = U_m$

le **taux de modulation** :

$$m = \frac{U_M - U_m}{U_M + U_m}$$

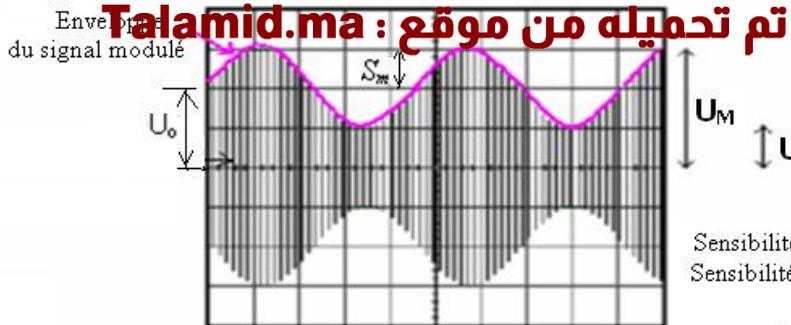
Donc l'expression de la tension modulée $u_s(t)$ devient :

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

-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.



Sensibilité horizontale: $500 \mu s/div$
Sensibilité verticale: $2V/div$

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

- Le taux de modulation doit être : $m < 1$

- La fréquence de l'onde porteuse doit être : $f_p > 10 \cdot f_s$

Exemple: Taux de modulation dans le cas la figure précédente :

on a: $U_m = 1div \cdot 2V/div = 2V$ et $U_M = 3div \cdot 2V/div = 6V$

$$\text{Le taux de modulation : } m = \frac{U_M - U_m}{U_M + U_m} = \frac{6 - 2}{6 + 2} = \frac{4}{8} = 0,5 \quad \text{la modulation est bonne.} \Rightarrow m < 1,$$

$$\text{Autre méthode: } S_m = 1div \cdot 2V/div = 2V \quad \text{et: } U_o = 4V \Rightarrow m = \frac{S_m}{U_o} = \frac{2}{4} = 0,5$$

4) Analyse fréquentielle:

En développant l'expression de la tension modulée :

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

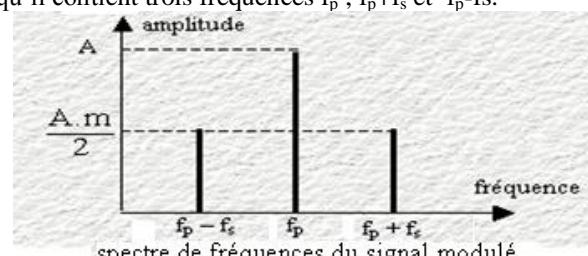
Et en utilisant la relation :

$$\cos p \times \cos q = \frac{1}{2} [\cos(p+q) + \cos(p-q)]$$

On obtient :

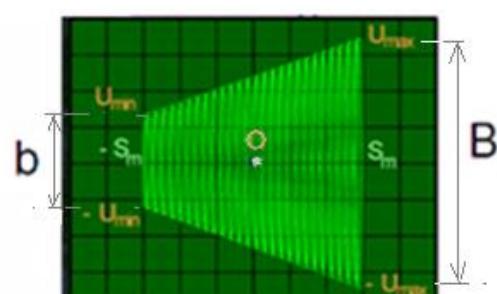
$$u_s(t) = A \cdot \cos(2\pi f_p t) + \frac{A \cdot m}{2} \cdot \cos(2\pi(f_p + f_s)t) + \frac{A \cdot m}{2} \cdot \cos(2\pi(f_p - f_s)t)$$

L'analyse du spectre modulé montre qu'il contient trois fréquences f_p , $f_p + f_s$ et $f_p - f_s$.



Pour s'assurer que la modulation est bonne qualité on lie la tension modulée u_s à l'une des entrées de l'oscilloscope et le signal modulant à l'autre entrée puis on élimine la sensibilité horizontale en utilisant le bouton xy et on obtient sur l'écran de l'oscilloscope un signal en forme de trapèze.

Cas d'une bonne modulation:



La grande base représente $2U_M$
la petite base représente $2U_m$

la relation entre le taux de modulation et les dimensions du trapèze : $m = \frac{B - b}{B + b}$

U_M : l'amplitude maximale du signal modulé
 U_m : l'amplitude minimale du signal modulé.

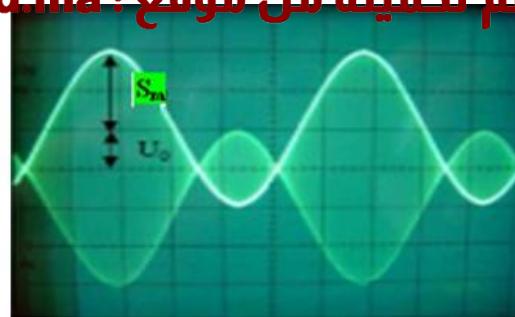
Si la modulation est mauvaise qualité on obtient un signal en forme suivante:



Quand la modulation est mauvaise qualité, l'enveloppe du signal modulé n'est pas identique au signal modulant. Cela est dû au fait que le décalage en tension U_o est inférieur à l'amplitude S_m du signal modulant, $m = \frac{S_m}{U_o} > 1$ soit $U_o < S_m$ on dit qu'il y'a surmodulation.

Pour éviter la surmodulation le décalage U_o doit être supérieur à S_m ce qui permet par la suite la restitution du signal initial complet par démodulation.

L'oscillogramme correspondant est de la forme suivante.



dans ce cas :
 $m = \frac{S_m}{U_o} = 2$
 \Rightarrow surmodulation

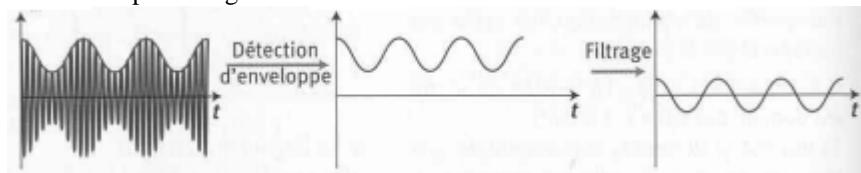
II-La démodulation:

1) Définition:

La démodulation consiste à récupérer au niveau du récepteur le signal modulant qui contient l'information et qui représente la partie supérieure du signal modulé.

Elle s'opère en deux étapes:

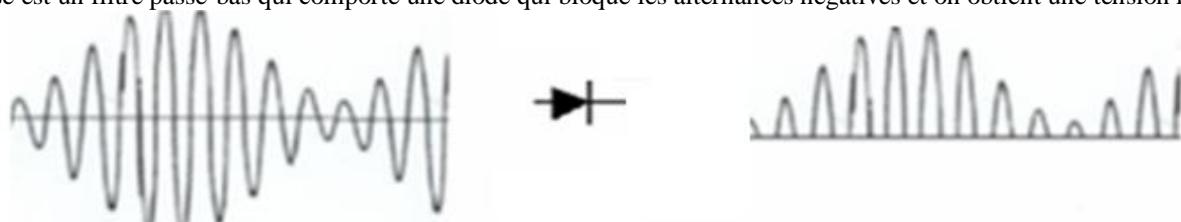
- La détection d'enveloppe.
- L'élimination de la tension continue par filtrage.



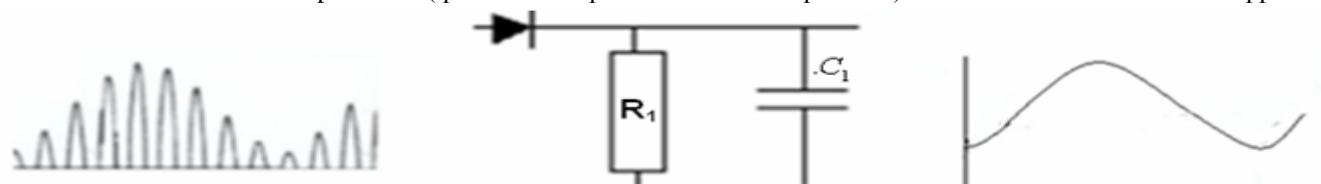
2) Les étapes de démodulation:

-1^{ère} étape: Suppression des alternances négatives et élimination de l'enveloppe.

Le montage utilisé est un filtre passe-bas qui comporte une diode qui bloque les alternances négatives et on obtient une tension redressée.



En associant la diode et le filtre passe-bas (qui élimine la partie restante de la porteuse) on obtient le détecteur d'enveloppe .



Remarque: Pour obtenir une bonne détection d'enveloppe il faut que la constante de temps du dipôle R_1C_1 vérifie la condition suivante:

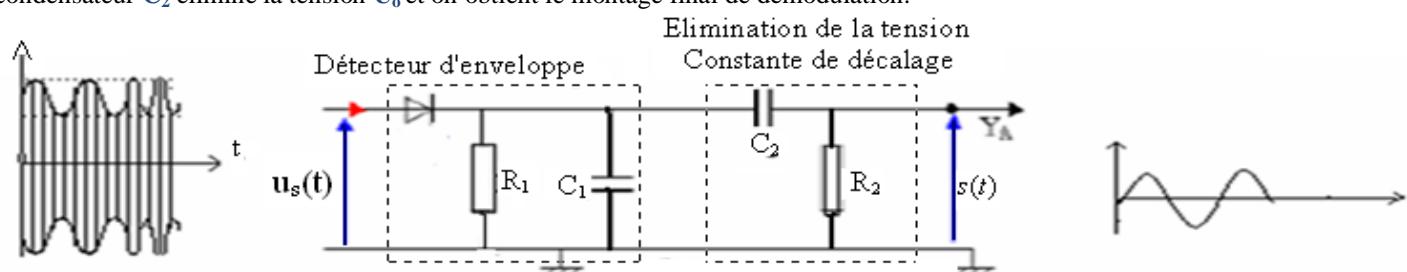
$$T_p \ll \tau < T_s$$

C'est-à-dire . bonne détection d'enveloppe $\Rightarrow T_p \ll R_1C_1 < T_s \Rightarrow f_s \ll \frac{1}{R_1C_1} < f_p$

-2^{ème} étape: Elimination de la tension constante de décalage U_o .

Cette dernière étape consiste à éliminer la tension constante pour cela on utilise un filtre passe-haut.

Le condensateur C_2 élimine la tension U_o et on obtient le montage final de démodulation.



III-Les éléments d'un récepteur radio:

Un récepteur radio AM se compose les éléments suivants:

-Une antenne qui capte les ondes radio.

-Un circuit LC pour sélectionner la fréquence de l'onde porteuse que l'on veut capter.

Cette sélection se réalise en faisant varier l'inductance de la bobine ou la capacité du condensateur jusqu'à ce la fréquence propre f_o du circuit **LC** soit égale à la fréquence de l'onde porteuse $f_o = f_p$.

$$f_o = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad \text{La fréquence propre } f_o \text{ du circuit LC :}$$

-On utilise un amplificateur après la réception et après la modulation du signal modulé.

-Un circuit de démodulation d'amplitude qui comporte un circuit de détection d'enveloppe et un autre d'élimination de la tension constante.

