



I- La modulation d'amplitude

1- Principe de la modulation d'amplitude

L'information à transmettre est contenue dans un signal électrique $S(t)$ de basse fréquence.

Pour le transporter, on utilise une « onde porteuse » de haute fréquence.

L'amplitude de l'onde porteuse est modulée par le signal électrique de basse fréquence.

Ceci est effectué par un modulateur.

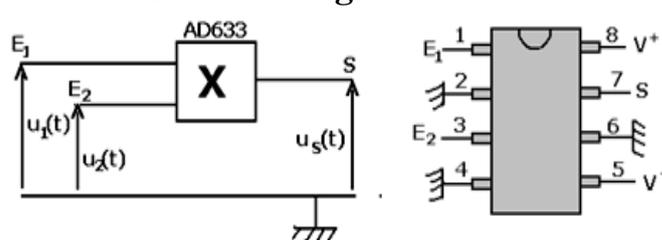
2- Le modulateur d'amplitude

Pour moduler l'amplitude de l'onde porteuse on utilise un multiplieur (symbole : X) qui réalise le produit du signal informatif décalé $[s(t)+U_0]$ par le signal porteur $P(t)$.

La tension de sortie $u_s(t)$ du multiplieur, modulée en amplitude s'écrit alors :

$$s(t) = k \times [s(t) + U_0] \times P(t) \text{ avec } k \text{ constante en } V^{-1}$$

Circuit intégré AD633



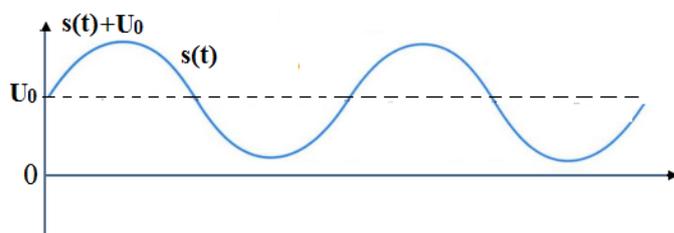
3- Application à la modulation d'amplitude :

On applique une tension $s(t) + U_0$ à l'entrée E_1

- Signal sinusoïdal contenant l'information à transmettre, signal **modulant** :

$$S(t) = S_m \cdot \cos(2\pi \cdot f_s \cdot t)$$

- Tension continue de décalage ajoutée à $s(t)$: U_0

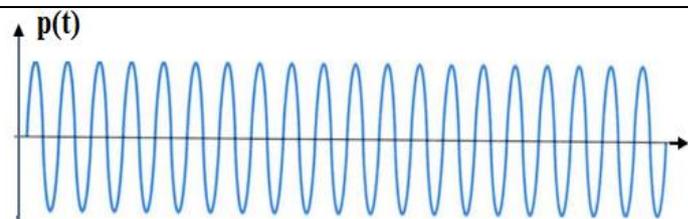


On applique une tension $p(t)$ à l'entrée E_2

Signal sinusoïdal **porteur haute fréquence** :

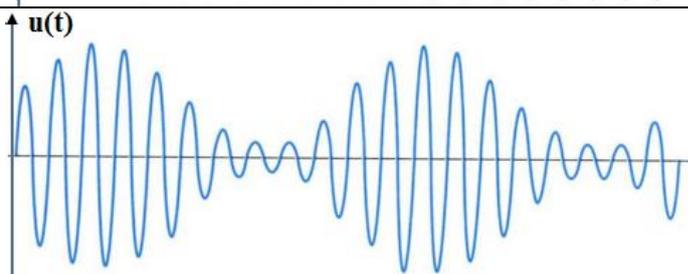
$$p(t) = P_m \cdot \cos(2\pi \cdot f_p \cdot t)$$

avec $f_p \gg f_s$



Le signal porteur est **modulé**, afin que son **amplitude varie** à l'image du signal BF (signal modulant).

À la sortie du multiplicateur, on récupère le signal modulé $u_s(t)$ tel que : $u_s(t) = U_m(t) \times \cos(2\pi \cdot f_p \cdot t)$



4- Expression de la tension modulée en amplitude

On a : $u_s(t) = k \times [S(t) + U_0] \times P(t)$ avec

Avec $p(t) = P_m \cdot \cos(2\pi \cdot f_p \cdot t)$

Donc $u_s(t) = k \times [S(t) + U_0] \times P(t) = k \times [S(t) + U_0] \times P_m \cdot \cos(2\pi \cdot f_p \cdot t)$

soit $u_s(t) = U_m(t) \times \cos(2\pi \cdot f_p \cdot t)$

On peut interpréter le signal $u_s(t)$ comme étant le signal de l'onde porteuse $p(t)$ dont l'amplitude P_m est remplacée par le terme $K \times P_m \cdot [s(t) + U_0]$ correspondant à une amplitude modulée par le signal informatif.

$U_m(t) = B \cdot S(t) + A$ avec $B = K \cdot P_m$ et $A = K \cdot P_m \cdot U_0$

L'amplitude $U_m(t)$ de la tension modulée est une fonction affine de la tension modulante $s(t)$. Elle en reproduit les variations de $S(t)$ au cours du temps.

5- Le taux de modulation

On a $u_s(t) = k \times [S(t) + U_0] \times P(t) = k \times [S_m \cdot \cos(2\pi \cdot f_s \cdot t) + U_0] \times P_m \cdot \cos(2\pi \cdot f_p \cdot t)$

soit $s(t) = k \times U_0 \times P_m \times \left[\frac{S_m}{U_0} \cos(2\pi \cdot f_s \cdot t) + 1 \right] \times \cos(2\pi \cdot f_p \cdot t)$

En posant : $A = k \times U_0 \times P_m$

et $m = \frac{S_m}{U_0}$ appelé taux de modulation, il vient : $u_s(t) = A \times [1 + m \cos(2\pi \cdot f_s \cdot t)] \times \cos(2\pi \cdot f_p \cdot t)$

Autre expression de taux de modulation

On peut écrire $u_s(t)$ sous la forme $u_s(t) = U_m(t) \times \cos(2\pi \cdot f_p \cdot t)$ où

$U_m(t)$ est l'amplitude du signal modulé :

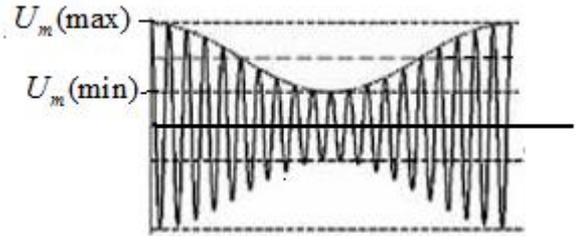
$U_m(t) = A \times [1 + m \cos(2\pi \cdot f_m \cdot t)]$

- Si $\cos(2\pi \cdot f_m \cdot t) = +1$ alors $U_{m \max} = A \times [1 + m]$

- Si $\cos(2\pi \cdot f_m \cdot t) = -1$ alors $U_{m \min} = A \times [1 - m]$

D'où $U_{m \max} - U_{m \min} = 2 \times A \times m$ et $U_{m \max} + U_{m \min} = 2 \times A$

En faisant le rapport des deux dernières égalités, on obtient finalement : $m = \frac{U_{m \max} - U_{m \min}}{U_{m \max} + U_{m \min}}$

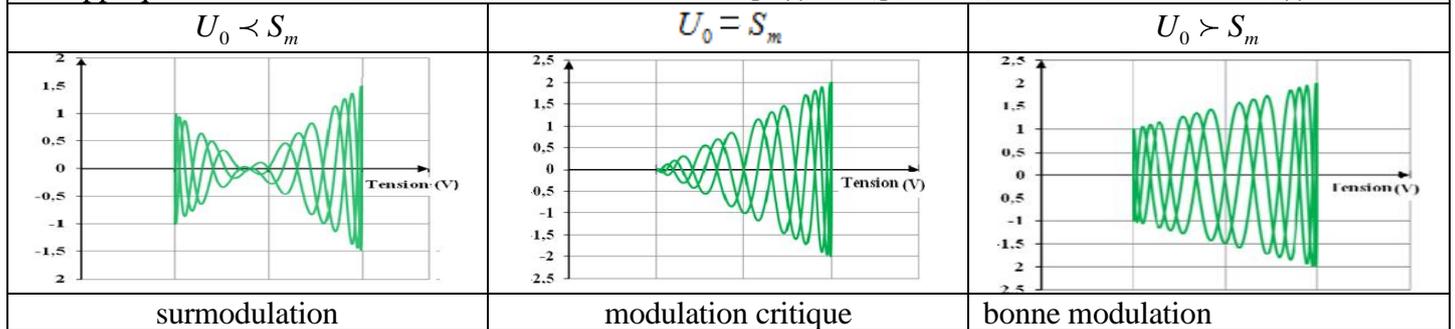


6- Qualité de la modulation

Méthode du trapèze

Utiliser l'oscilloscope en mode XY (Éliminer le balayage), dans ce mode on n'a plus X(t) et Y(t) mais Y en fonction de X.

On applique sur la voie X, la tension modulante décalée $[S(t) + U_0]$; sur Y, la tension modulée $u_s(t)$.



Conditions d'obtention d'une bonne modulation

Pour obtenir une modulation d'amplitude de bonne qualité il faut que :

- La tension de décalage U_0 doit être plus grande à l'amplitude S_m de la tension modulante : $U_0 > S_m$ donc $m < 1$.
- La fréquence F_p de la tension porteuse doit être supérieure à la fréquence f_s de la tension modulante. ($F_p \gg f_s$).

Au minimum $F_p > 10 \cdot f_s$

8- Décomposition de la tension modulée :

On a montré que : $u_s(t) = k \cdot [u_s(t) + U_0] \times u_p(t) = A \cdot (1 + m \cos(2\pi f_s t)) \times \cos(2\pi f_p t)$ (avec $A = k \cdot U_0 \cdot P_m$)

$u_s(t) = A \cos(2\pi f_p t) + A m [\cos(2\pi f_s t) \times \cos(2\pi f_p t)]$ or : $\cos p \times \cos q = \frac{1}{2} \cdot [\cos(p + q) + \cos(p - q)]$

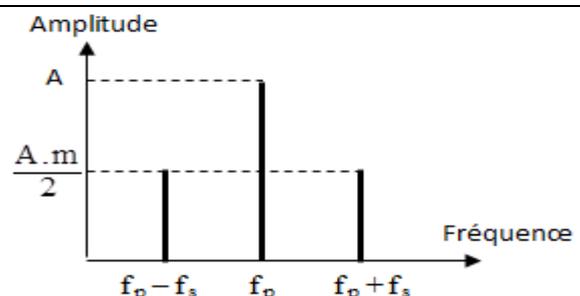
alors : $u_s(t) = A \cdot \cos[2\pi f_p t] + \frac{A \cdot m}{2} \cos[2\pi(f_p + f_s)t] + \frac{A \cdot m}{2} \cos[2\pi(f_p - f_s)t]$

Lorsque la tension modulante et la porteuse sont des tensions sinusoïdales, de fréquences respectives f_s et f_p , la tension modulée en amplitude est la **somme** de 3 tensions sinusoïdales de fréquences f_p , $(f_p + f_s)$ et $(f_p - f_s)$

Spectre en fréquence :

La tension modulée occupe la bande de fréquences $(f_p - f_s ; f_p + f_s)$

Une bande de fréquences de largeur minimale $2 f_s$, centrée en f_p , est nécessaire à la propagation et à la réception du signal à transmettre.



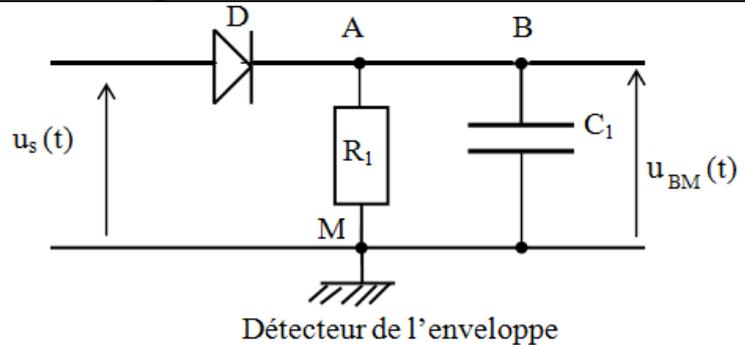
II-Démodulation d'amplitude

1- Principe de la modulation d'amplitude

La démodulation consiste à récupérer le signal informatif modulant qui est contenu dans la partie supérieure de l'enveloppe du signal modulé en amplitude.

2- Détection de l'enveloppe : Suppression de la porteuse.

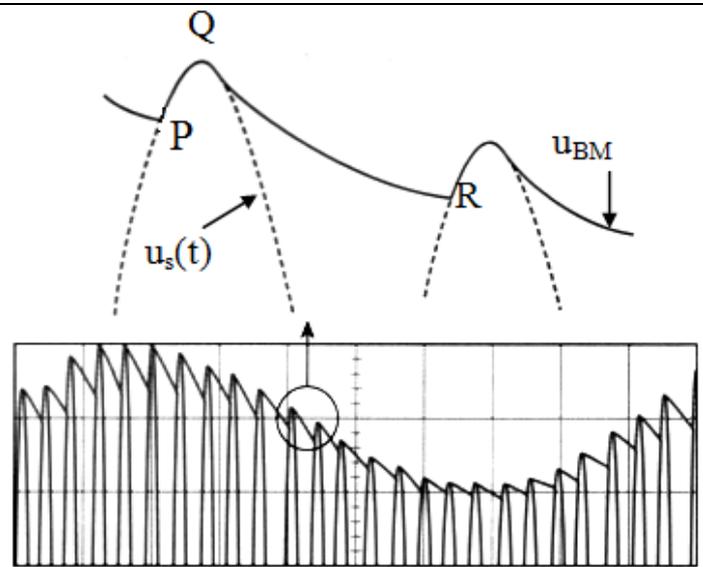
L'association (R_1C_1) en parallèle constitue un **filtre passe-bas** qui laisse passer les basses fréquences : la porteuse, de haute fréquence, va pouvoir être éliminée.



Interprétation :

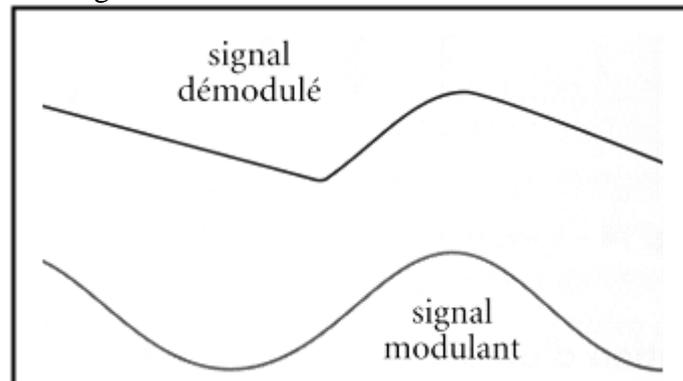
- Quand la tension modulée u_s est positive, la diode est passante et le condensateur C_1 se charge de façon quasi-instantanée puisqu'il se charge au travers de la résistance de la diode, pratiquement nulle: la tension u_{BM} augmente avec la tension u_s : **partie PQ** .

- Quand la tension modulée commence à décroître, la tension u_{BM} devient supérieure à u_s . La diode est bloquée (la tension à ses bornes est négative) et le condensateur se décharge dans la résistance R_1 . Cette décharge se poursuit jusqu'à ce que u_s redevienne supérieure à u_{BM} : **partie QR** .

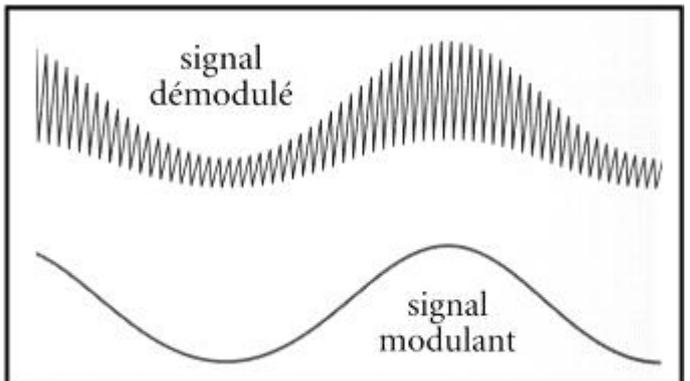


La constante de temps $\tau=RC$ du détecteur d'enveloppe ne doit pas être choisie au hasard pour obtenir une bonne démodulation :

• τ doit être inférieur à la période T_s de l'information transmise sinon u_C décroît plus lentement que la courbe enveloppe pendant la décharge du condensateur.



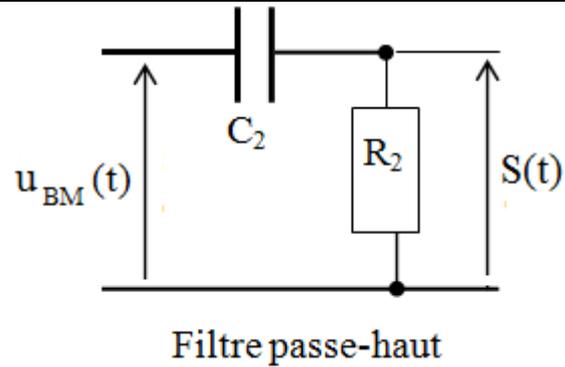
• τ doit être très supérieur à la période T_p de la porteuse sinon u_C décroît trop rapidement entre deux maximum du signal modulé et on obtient un signal démodulé en dents de scies.



→ pour obtenir une bonne démodulation il faut donc choisir : $T_s \ll \tau = R.C < T_p$

3- Filtre passe-haut. Elimination de la composante continue :

L'association (R_2C_2) en série constitue un **filtre passe-haut** qui ne laisse passer que les hautes fréquences : la composante continue U_0 due à la tension d'offset va pouvoir être éliminée.

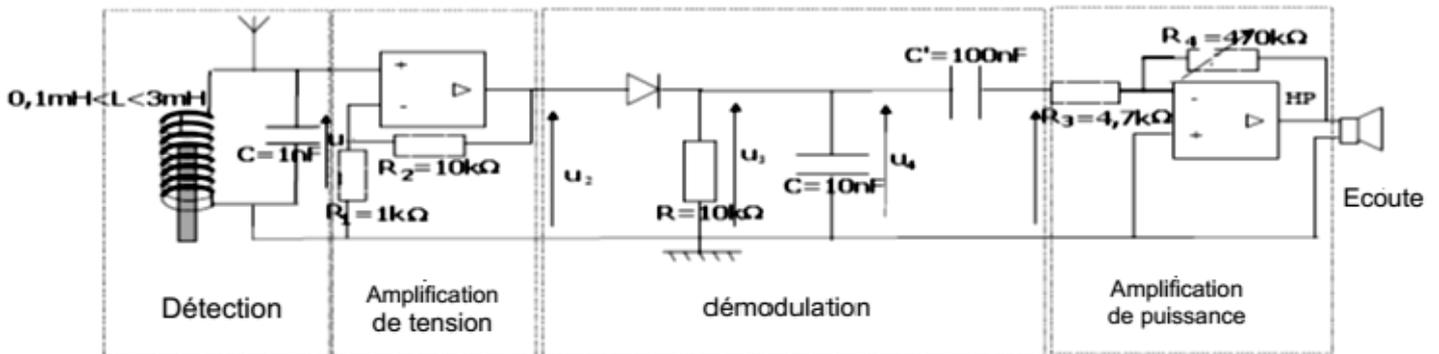


III. Réaliser un récepteur d'émission radio AM

1- Réalisation d'un récepteur radio.

Un modèle de récepteur radio (AM) est représenté par le schéma simplifié ci-dessous dans lequel on distingue 5 parties:

- une antenne réceptrice d'ondes radio qui capte les ondes électromagnétiques modulées en amplitude.
- un dipôle LC parallèle qui sélectionne la station souhaitée en fonction de la fréquence de la porteuse.
- un module d'amplification de la tension modulée sélectionnée.
- un circuit démodulateur formé de : 'un dispositif de détection d'enveloppe et de suppression de composante continue.
- un dispositif d'écoute (haut-parleur).



2- Sélection de la porteuse

Pour sélectionner un signal émet, il faut faire un accord entre la fréquence propre f_0 du circuit LC parallèle est la fréquence porteuse f_p de la station $f_p = \frac{1}{2\pi\sqrt{L.C}}$. Cette sélection se fait en faisant varier le coefficient d'induction L de la bobine ou la capacité C du condensateur.

Remarque :

Le dipôle LC parallèle sert à la réception sélective : on récupère tous les signaux dont la fréquence est centrée sur f_0 . Cet ensemble de fréquences correspond à la bande passante du filtre (le filtre est passe bande pour la tension).

Connaissances et savoir-faire

- Savoir que réaliser une modulation d'amplitude c'est rendre l'amplitude du signal modulé fonction affine de la tension modulante.
- Connaître les conditions à remplir pour éviter la surmodulation.
- Dans le cas d'une tension modulante sinusoïdale de fréquence f_s , savoir que la tension modulée est la somme de trois tensions sinusoïdales de fréquences $f_p - f_s$, f_p , $f_p + f_s$, f_p étant la fréquence du signal qui a été modulé.
- Réaliser un montage de modulation d'amplitude à partir d'un schéma.
- Choisir des tensions permettant une modulation de bonne qualité ; savoir visualiser les tensions pertinentes. - -
- Connaissant la fonction de l'ensemble diode-RC parallèle et du dipôle RC série, savoir les placer correctement dans un schéma de montage de démodulation.
- Savoir exploiter les oscillogrammes relatifs à une modulation et à une démodulation d'amplitude.
- Réaliser un montage de démodulation d'amplitude à partir d'un schéma.
- Choisir les composants permettant une démodulation de bonne qualité ;