

# TP-E09 : Modulation d'amplitude - démodulation

La modulation d'amplitude est une opération réalisée sur signal sinusoïdal pour assurer son transport. Une fois le signal arrivé au point où on voulait le transmettre, il faut à nouveau réaliser un traitement pour récupérer le signal de départ : c'est la démodulation. Un montage complet de détection, démodulation et amplification vers un haut-parleur d'un signal radio est présenté en début de séance.

## 1 Lissage

Le lissage est une opération qui permet de passer d'un signal alternatif à un signal continu.

### 1.1 Préliminaires

Pour un signal variable  $s(t)$ , on peut définir la valeur moyenne  $\langle s(t) \rangle$ , ainsi que la valeur efficace de la partie alternative  $\sqrt{\langle (s(t) - \langle s(t) \rangle)^2 \rangle}$ . On définit également le taux d'ondulation par  $\tau = \sqrt{\langle (s(t) - \langle s(t) \rangle)^2 \rangle} / \langle s(t) \rangle$ .

Déterminer la valeur de  $\langle s(t) \rangle$  et  $\tau$  :

- pour un signal constant  $s(t) = S_0$ ,
- puis pour un signal sinusoïdal  $s(t) = S_0 \cos(\omega t)$ .

En déduire qu'un signal est d'autant plus lisse que son taux d'ondulation tend vers une valeur à préciser.

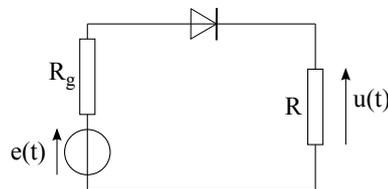
### 1.2 Redressement et lissage mono alternance

Dans toute cette partie, on utilise le modèle de diode idéale vu au TP précédent. Cela revient à travailler avec des tensions d'entrée qui sont suffisamment grandes pour que l'on puisse négliger l'influence de la tension de seuil.

#### 1.2.1 Redressement seul

On reprend le montage de redressement mono alternance avec  $e(t) = E \sin(2\pi ft)$  et  $E = 10 \text{ V}$ ,  $R = 1 \text{ k}\Omega$  et  $f = 1 \text{ kHz}$ .

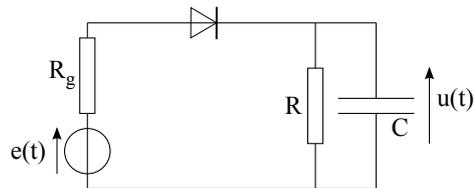
- Mesurer  $\langle u(t) \rangle$  et  $\tau$  pour le signal de sortie.
- Comparer avec les prédictions théoriques.



#### 1.2.2 Redressement et lissage capacitif

On reprend le même montage en rajoutant un condensateur en parallèle de la résistance.

- Pour chacune des trois valeurs de capacité suivantes :  $C = 0,1 \mu\text{F}$ ,  $C = 1,0 \mu\text{F}$  et  $C = 10 \mu\text{F}$  (attention au sens pour ce dernier cas), visualiser  $u(t)$  et mesurer  $\langle u(t) \rangle$  et  $\tau$ .



#### 1.2.3 Interprétation

Représenter les schémas équivalents du circuit avec condensateur qui correspondent aux états « diode passante » et « diode bloquée ».

En déduire l'existence de deux temps caractéristiques :

- Un temps caractéristique de charge du condensateur  $\tau_c$ .
- Un temps caractéristique de décharge du condensateur  $\tau_d$ .

- Donner les expressions ainsi que les valeurs numériques de  $\tau_c$ ,  $\tau_d$ , puis comparer avec la période  $T$  du signal et expliquer qualitativement les résultats observés.
- Comment choisir les valeurs de  $R$  et  $C$  pour avoir le meilleur lissage possible ?

## 2 Modulation d'amplitude

### 2.1 Principe

On considère deux signaux  $u_1(t) = U_0 + U_{1,0} \cos(2\pi f_1 t)$  et  $u_2(t) = U_{2,0} \cos(2\pi f_2 t)$  que l'on envoie à l'entrée d'un composant électronique appelé multiplieur qui délivre en sortie un signal  $u_s(t) = k u_1(t) u_2(t)$  avec  $k = 0, 1$ .

Ce composant possède une impédance d'entrée très élevée sur chacune des entrées, une impédance de sortie très faible sur la sortie, mais possède une tension de saturation de sortie (environ 10 V) ainsi qu'un courant de saturation de sortie (environ 30 mA). C'est un composant **actif** qui nécessite une alimentation en +15 V / -15 V .

→ Déterminer l'expression de la tension de sortie en conditions normales de fonctionnement et la mettre sous la forme :

$$u_s(t) = U_{max} [1 + m \cos(2\pi f_1 t)] \cos(2\pi f_2 t)$$

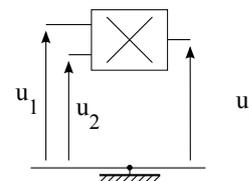
en précisant les expressions de  $U_{max}$  et du taux de modulation  $m$ .

On considère le cas où  $f_2 \gg f_1$  ( $u_2$  constitue alors le signal de **porteuse**). Le signal obtenu est un signal de porteuse de fréquence  $f_2$  **modulé en amplitude** par le signal  $1 + m \cos(2\pi f_1 t)$ , qui contient l'**information à transmettre**.

→ Représenter le graphe de la tension de sortie  $u_s(t)$  en précisant sur le graphique les quantités caractéristiques du signal.

→ Montrer que le signal de sortie peut se décomposer en une somme de trois signaux purement sinusoïdaux.

→ En déduire le spectre du signal de sortie (déterminer en particulier les amplitudes associées à chaque fréquence) et déterminer l'intervalle de fréquence occupé par un tel signal.



### 2.2 Manipulation

- Réaliser la manipulation en prenant les valeurs suivantes  $U_0 = 3\text{ V}$ ,  $U_{1,0} = 2\text{ V}$ ,  $f_1 = 1\text{ kHz}$ ,  $U_{2,0} = 4\text{ V}$ ,  $f_2 = 100\text{ kHz}$ , Visualiser à l'oscilloscope la tension  $u_s(t)$  en synchronisant sur  $u_2(t)$  puis sur  $u_1(t)$ . Comparer avec les prédictions théoriques.

- Décrire l'influence des valeurs  $U_{1,0}$ ,  $U_{2,0}$  et  $U_0$  sur la forme du signal de sortie. Dans le cas où  $m = U_{1,0}/U_0$ , on dit qu'on a **surmodulation**. Cette situation doit pouvoir être reconnue et évitée. Revenir aux valeurs initiales de  $U_{1,0}$ ,  $U_{2,0}$  et  $U_0$ .

- Mesurer à l'oscilloscope les valeurs  $U_{sm,max}$  et  $U_{sm,min}$ , valeurs maximale et minimale de l'amplitude de  $u_s(t)$ . En déduire les valeurs de  $m$  et  $U_{max}$  et comparer avec les valeurs théoriques.

- Réaliser le spectre du signal de sortie avec Régressi :
  - passer l'oscilloscope en mode numérique
  - ouvrir Regressi : Fichier Nouveau Metrix Acquérir
  - exporter la courbe sous Regressi : Fourier
  - Comparer les valeurs des fréquences de la décomposition de Fourier à celles attendues.

### 2.3 Conclusion

On vient de réaliser de la modulation d'amplitude. Le signal sinusoïdal de haute fréquence est appelé **porteuse**, le signal de basse fréquence, **modulant**. Toute l'information est contenue dans la courbe enveloppe du **signal modulé**. On remarque qu'à partir de signaux d'entrée de fréquences  $f_1$ ,  $f_2$  on obtient un signal composé des fréquences  $f_2 - f_1$ ,  $f_2$ ,  $f_2 + f_1$ . Ceci impose l'utilisation d'un composant non linéaire qui est le multiplieur (en effet un composant linéaire donne d'un signal d'entrée de fréquence  $f$  un signal de sortie de fréquence  $f$ ). La présence d'une composante continue dans la modulation permet de retrouver une composante de même fréquence que la porteuse dans le spectre du signal modulé.

## 3 Démodulation d'amplitude

### 3.1 Manipulation

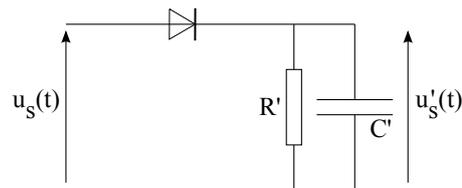
Placer en sortie du multiplieur le détecteur de crête suivant (page suivante) en utilisant :

- Une diode sans seuil réalisée à l'aide d'un amplificateur opérationnel
- Les composants :  $R' = 1\text{ k}\Omega$  et  $C'$  : boîte à décade.

Observer le signal  $u'_s$  et comparer avec  $u_s$ ,  $u_1$ ,  $u_2$ .

### 3.2 Interprétation

- Calculer le temps caractéristique  $\tau'$  associé au détecteur de crête et le comparer aux périodes  $T_1, T_2$  des signaux d'entrée.
- Expliquer qualitativement le rôle du détecteur de crête en utilisant les ordres de grandeur de  $\tau', T_1, T_2$ .



## 4 Transport d'information

### 4.1 Nécessité de la modulation

Supposons que l'on veuille transmettre, à distance et sans fil, un signal sonore occupant la bande de fréquence 20 Hz – 20 kHz (c'est la bande de fréquence des signaux audibles par l'homme). La transmission directe de ce signal par onde électromagnétique n'est pas possible pour plusieurs raisons :

- Le couplage entre le générateur de signal et le milieu où s'effectue la propagation est réalisé par une antenne. Une telle antenne n'est efficace que si sa longueur est de l'ordre de la longueur d'onde à transmettre (pour  $f = 1$  kHz,  $\lambda = 300$  km). De plus, cette antenne ne serait pas adaptée à toutes les fréquences qui composent le signal.
- À la réception, il serait impossible de distinguer le signal de tout autre signal dans la même bande de fréquence (il serait alors impossible d'émettre plusieurs signaux simultanément).
- Si le milieu de propagation est dispersif (vitesse de propagation dépendant de la fréquence), les différentes composantes du signal n'arriveraient pas au même instant au récepteur.

Pour toutes ces raisons on est amené à effectuer une transposition de fréquence. Le **signal à transmettre (signal modulant)** est utilisé pour **moduler un signal porteur de fréquence** bien supérieure ( $f_p = 150$  kHz, pour les « grandes ondes radio »). Le signal modulé occupe une bande de fréquence très étroite centrée sur  $f_p$ . La transmission de ce signal ne pose plus de problème. Un signal de fréquence audible émis en modulation d'amplitude occupe une largeur spectrale d'une dizaine de kHz autour de la porteuse. Pour une porteuse de l'ordre de 200 kHz, ceci constitue un spectre relativement resserré autour d'une fréquence, et l'on peut le récupérer par filtrage (ce que l'on fait quand on change de station). On voit également qu'en modulation d'amplitude, où les fréquences des porteuses sont comprises entre 150 kHz et 300 kHz, on peut avoir une petite dizaine de radios seulement.

### 4.2 Principe d'une réception radio

On détecte le signal radio à l'aide d'une antenne qui joue également le rôle de bobine, et on filtre ce signal à l'aide d'un filtre  $LC$ , dont la pulsation de résonance  $\omega_0$  vérifie  $\omega_0^2 LC = 1$ . On a  $L = 200 \mu\text{H}$  et on veut capter un signal de fréquence voisine de 200 kHz. → Déterminer la valeur de  $C$ .

→ On prend également  $R' = 1 \text{ k}\Omega$  et  $C' = 22 \text{ nF}$ , commenter le choix de ces valeurs.

Le signal est amplifié à l'aide d'un amplificateur non inverseur, puis on réalise la démodulation avant de réaliser une amplification de puissance.

