

TP n°19 – Modulation d'amplitude et démodulation par détection de crêtes (circuit à diode)

Objectifs :

- Générer un signal modulé en amplitude à l'aide d'un multiplieur
- Démoduler le signal modulé :
 - pour récupérer le signal porteur d'information
 - à l'aide d'un circuit à diode (détection de crête)
 - repérer les conditions d'utilisation de ce type de démodulation d'amplitude

1. Modulation d'amplitude (multiplieur analogique)

1.1. Intérêt de la modulation d'amplitude

On considère un signal électrique $s_{info}(t)$ qui contient une information que l'on souhaite transmettre (par ondes radio par exemple). Ce signal provient par exemple de sons qui ont été convertis sous forme électrique grâce à un micro. Sa fréquence est donc comprise entre 20 Hz et 20 kHz (domaine en fréquence audible).

Pour des raisons que l'on ne précise pas ici, les antennes radio ne peuvent pas émettre efficacement des signaux à des fréquences si basses. Il est donc nécessaire de *mettre en forme* le signal $s_{info}(t)$ avant de pouvoir le transmettre. Le principe de la *modulation* est de transformer ce signal en un signal dit *modulé*, de fréquence beaucoup plus élevée $s_{mod}(t)$.

Il existe plusieurs types de modulations, la *modulation d'amplitude* (radio AM, Amplitude Modulation) et la *modulation de fréquence* (radio FM, Frequency Modulation). On s'intéresse dans ce TP à la modulation d'amplitude.

Il existe d'autres raisons de transformer le signal $s_{info}(t)$ en un signal de plus haute fréquence. En choisissant différentes hautes fréquences de transmission du signal, on peut transmettre plusieurs signaux sans que ceux-ci ne se « mélangent » : c'est pourquoi on peut écouter sélectivement les différentes stations de radio avec notre chaîne hifi.

1.2. Générer un signal modulé à l'aide d'un multiplieur

Un multiplieur possède trois bornes : 2 d'entrée et 1 de sortie. La tension de sortie est égale au produit des deux tensions injectées en entrée, produit multiplié par une constante $k \sim 0,1$ qui évite à la tension de sortie de saturer.

Pour simplifier, on considère que le signal à moduler est d'allure sinusoïdale, et de valeur moyenne non nulle :

$$s_{info}(t) = A(1 + m \cos(\omega t)).$$

Le multiplieur va nous permettre de moduler le signal $s_{info}(t)$ grâce à une *porteuse* :

$$s_p(t) = A_p \cos(\omega_p t)$$

de pulsation $\omega_p \gg \omega$.

- Ces deux tensions étant appliquées en entrée du multiplieur, donner l'expression du signal modulé en sortie $s_{mod}(t)$.
- Linéariser l'expression du signal modulé, et montrer que $s_{mod}(t)$ est la somme de trois signaux sinusoïdaux dont on précisera les pulsations.

Réalisation expérimentale :

- On dispose de deux GBF. Le premier génère s_{info} , avec $A = 4V$, $m = 0,5$ et de fréquence 1 kHz. On réglera m en ajoutant une composante continue (« offset ») au signal purement sinusoïdal délivré par défaut par le GBF.
- Le second GBF génère la porteuse $s_p(t)$, d'amplitude $A_p = 10V$ et de fréquence 10 kHz.
- Appliquer ces deux tensions en entrée du multiplieur, et observer à l'oscilloscope l'allure du signal de sortie sur la voie 2. Sur la voie 1, observer s_{info} .

Attention : toutes les tensions doivent être définies à partir d'une masse commune. On reliera les masses des GBF. Ce point définit alors la masse du circuit.

- Justifier les appellations « porteuse » et « modulation d'amplitude ».
- Faire varier m , en modifiant la composante continue du signal s_{info} . Que se passe-t-il lorsque $m > 1$?

Le paramètre m s'appelle le taux de modulation.

1.3. Spectre en fréquence du signal modulé

On fixe à nouveau le taux de modulation à $m = 0,5$.

- Faire une acquisition sur LatisPro du signal modulé $s_{mod}(t)$. Observer son spectre en fréquence. Comparer au spectre attendu (valeurs de fréquence).

On remarque bien que la modulation d'amplitude à transformer le signal $s_{info}(t)$ en un signal modulé $s_{mod}(t)$ de plus haute fréquence : c'était le but recherché.

2. Démodulation d'amplitude par détection de crête

2.1. Nécessité de la démodulation

Une fois le signal modulé $s_{mod}(t)$ transmis par onde radio et détecté par l'antenne de la chaîne hifi, il faut pouvoir récupérer le signal d'origine $s_{info}(t)$ qui contient l'information que l'on souhaite « écouter ». On doit donc effectuer la transformation inverse de la modulation : la *démodulation*.

Il existe plusieurs méthodes pour démoduler un signal modulé en amplitude. Dans certaines situations, que l'on va préciser, on peut détecter l'enveloppe du signal modulé qui représente s_{info} : c'est la méthode de détection de crête.

2.2. Détection de crête par un circuit RC à diode

- Entre la sortie du multiplieur et la masse du circuit, placer une résistance variable et une capacité variable en parallèle. Ajouter une diode entre la résistance et la sortie du multiplieur.
- A l'oscilloscope, observer en voie 1 le signal modulé s_{mod} et la tension de sortie du montage RC.
- Faire varier R et C , et observer comment se comporte le signal en sortie du circuit démodulateur. Quelle est la condition sur le produit RC pour que la sortie du circuit ressemble à s_{info} ?

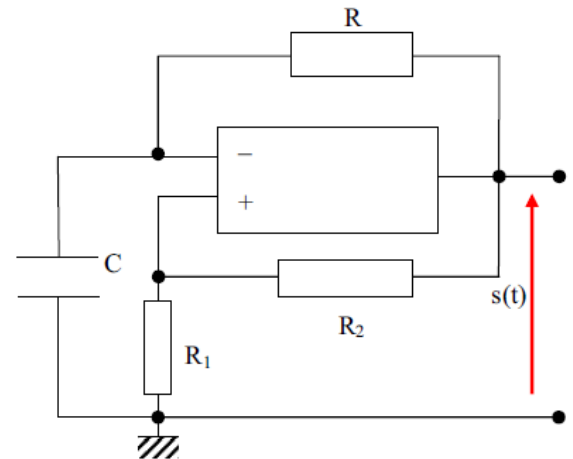
(si temps à la fin du TP)

3. Multivibrateur astable (suite) : application au theremin

3.1. Multivibrateur astable

- Réaliser le montage ci-contre, avec $R_1 = R_2 = R = 10\text{ k}\Omega$ et $C = 10\text{ nF}$. Pour R, utiliser la boîte de résistance réglable.
- Brancher la voie 1 de l'oscillo entre la masse et la borne -, et la voie 2 entre la masse et la sortie de l'AO.

On remarque que la fréquence du créneau de sortie est proportionnelle à $1/RC$.



3.2. Application au theremin

Le principe du theremin consiste à réaliser deux oscillateurs, de fréquence légèrement différente f_1 et f_2 , de l'ordre de 100 kHz , avec $\Delta f = f_2 - f_1 \cong 1\text{ kHz}$. Les deux signaux alternatifs délivrés par les oscillateurs sont alors multipliés. La sortie du montage est une tension qui contient plusieurs composantes en fréquence, dont une qui est de l'ordre de Δf .

Ce signal électrique de sortie est alors converti en signal sonore, via un haut-parleur. La composante de fréquence Δf étant dans le domaine audible, elle est perçue par l'oreille humaine.

Une plaque de métal est alors reliée à une borne du condensateur de l'un des deux oscillateurs. En approchant la main de la plaque, on peut alors faire varier (très légèrement, de l'ordre de 10 pF) la valeur de la capacité de cet oscillateur, donc sa fréquence. En sortie du multiplieur, la fréquence de la composante Δf varie aussi : on peut ainsi régler la hauteur du son produit par le montage.

- En assimilant les deux signaux des oscillateurs à des sinusoïdes, déterminer les composantes en fréquence du signal à la sortie du multiplieur.
- Réaliser le montage :
 - réaliser les deux oscillateurs, le 2^e étant muni d'une résistance variable afin de régler les deux oscillateurs à la même fréquence ;
 - faire l'acquisition sur LatisPro des deux signaux, et observer leur spectre de Fourier
 - brancher le multiplieur et observer la sortie du LatisPro, notamment son spectre de Fourier
 - brancher la plaque sur le circuit, et approcher la main. Observer sur le spectre de Fourier l'effet produit sur la composante basse fréquence

brancher le haut-parleur à la sortie du multiplieur et écouter l'effet produit