

TP n°2 – Modulation et démodulation d'amplitude (2h)

L'analyse documentaire « Modulation et démodulation » est à lire avant la séance de TP.

Objectifs détaillés de la séance :

- Générer un signal modulé en amplitude à l'aide d'un multiplieur et de deux GBF
- Observer le signal modulé ainsi que son spectre en fréquence
- Démoduler le signal modulé à l'aide d'un multiplieur (démodulation synchrone) :
- Application au multiplexage (transmission de plusieurs signaux par le même canal)

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. Les ondes émises doivent avoir une longueur d'onde du même ordre de grandeur que l'antenne. Il est donc nécessaire de **mettre en forme** le signal $s_{info}(t)$ avant de pouvoir le transmettre. Le principe de la **modulation** est « d'insérer » $s_{info}(t)$ dans un signal dit **modulé**, de fréquence bien 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 voici une. En découpant la bande haute fréquence entre plusieurs canaux de petite largeur fréquentielle donnée, on peut transmettre un signal par canal, sans que les signaux ne se « mélangent ». Le nombre de canaux est d'autant plus grand que la gamme de fréquence de travail est élevée (100 MHz pour la FM). C'est ainsi qu'une station de radio peut émettre plusieurs émissions avec la même antenne.

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

Un multiplieur possède trois bornes : deux en entrée et une en sortie. La tension de sortie est égale au produit des deux tensions injectées en entrée, 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* :

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

de pulsation $\omega_p \gg \omega$.

1.2.1) 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.

1.2.2) Réalisation expérimentale :

On dispose de deux GBF. Le premier génère s_{info} , avec $A = 4V$, $m = 0,5$ et de fréquence 1 kHz. On règle m en ajoutant donc une composante continue (« offset ») de 4V au signal purement sinusoïdal d'amplitude 2V.

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.

Le paramètre m s'appelle le taux de modulation.

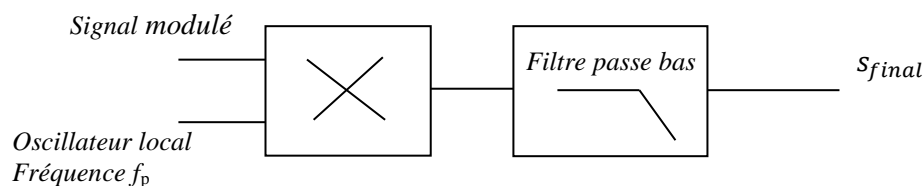
1.3. Spectre en fréquence du signal modulé

Faire une acquisition sur LatisPro du signal modulé $s_{mod}(t)$. Justifier les valeurs de N , T_e et T_a que vous choisissez pour l'acquisition. Observer le spectre en fréquence. Comparer au spectre attendu (valeurs de fréquence).

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

2. Démodulation par détection synchrone (multiplieur analogique... encore)

La méthode que nous étudions exige de disposer d'un signal de même fréquence et de même phase que la porteuse, i.e. **synchrone** de la porteuse, c'est pourquoi cette méthode est appelée **détection synchrone**. Ci-dessous le schéma de principe :



On utilise un multiplieur analogique et on lui envoie en entrée, d'une part le signal modulé, d'autre part le signal de l'oscillateur local (i.e. celui qui se trouve dans le poste radio qui détecte les ondes hertziennes). En TP, nous utiliserons directement la porteuse qui a servi à moduler le signal, ce qui rend le dispositif expérimental beaucoup plus simple qu'en réalité.

En pratique à la réception, on ne dispose pas d'un oscillateur local synchrone de la porteuse utilisée par le modulateur qui se trouve au niveau de l'antenne émettrice situé souvent à des centaines de kilomètres. On utilise alors une **boucle à verrouillage de phase**, système asservi qui permet de synchroniser la phase de l'oscillateur local à celle de la porteuse.

Le signal modulé est multiplié par la porteuse ; le signal obtenu s'écrit donc :

$$s_{demod}(t) = k(1 + m \cos(\omega t)) \cos^2(\omega_p t + \varphi)$$

avec k une constante dépendant des différentes amplitudes et de la constante du multiplieur.

2.1.) Linéariser ce signal. Représenter son spectre de Fourier.

2.2.) Quelle opération réaliser pour récupérer un signal proportionnel à $s_{info}(t)$?

2.3) Réaliser expérimentalement ce dispositif, en injectant en entrée du multiplieur le signal modulé $s_{mod}(t)$ et la porteuse utilisée lors de la modulation. Réaliser un filtre passe-bas grâce à un circuit RC, en choisissant convenablement les valeurs numériques des composants.

2.4) Observer les spectres de Fourier du signal en sortie du multiplieur $s_{demod}(t)$, puis celui à la sortie du filtre RC $s_{final}(t)$.

2.5) Grâce à une prise jack, brancher un baladeur (smartphone ou autre) en entrée du montage pour générer $s_{info}(t)$. Brancher des écouteurs à la sortie pour écouter s_{final} et vérifiez que le son obtenu est bien conforme à celui émis. Pour réaliser cela, il est nécessaire d'amplifier s_{final} à l'aide d'un montage amplificateur, présent sur la paillasse. Il faut l'interposer entre la sortie de la prise jack et le multiplieur modulant.

Remarque : Sur la paillasse professeur est installé une expérience générant deux signaux modulés s_{mod} à partir de deux signaux s_{info} différents (2 smartphones) et de deux porteuses de fréquences différentes (100 kHz et 200 kHz). Un montage fait la somme des deux signaux modulés (les soustrait en fait), simulant ainsi la réception de deux signaux différents par une même antenne. En démodulant à l'aide d'une des deux porteuses, on voit que l'on réussit à récupérer le signal s_{info} associé, le second ayant été filtré par le montage démodulateur.

COMPLEMENTS

Circuit intégré AD633 : multiplieur

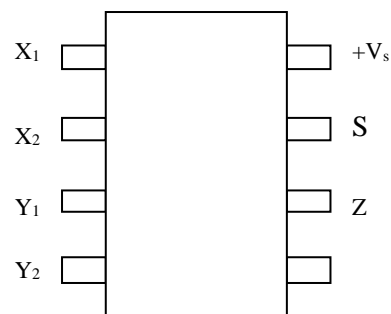
Il réalise :

$$S = k.(X1-X2).(Y1-Y2) + Z.$$

avec $k = 0,1 \text{ V}^{-1}$.

Le circuit est alimenté en $V_s = \pm 15 \text{ V}$.

Les tensions d'entrée seront inférieures à V_s .



La tension d'entrée 1 est définie entre X_1 et la masse du composant (n'apparaît pas sur le schéma, mais apparaît sur la plaque support du composant en TP).

La tension d'entrée 2 est définie entre Y_1 et la masse.

La sortie est définie entre S et la masse.

Pour des multiplications, $Z=X2=Y2=0$ (leur mise à la masse n'est cependant pas nécessaire).

Remarque : comme tout circuit intégré, ce circuit présente des défauts : bande passante 1 MHz, vitesse de balayage $\sigma \approx 20 \text{ V}.\mu\text{s}^{-1}$, tensions de décalage sur les entrées x, y et z ; ces défauts peuvent être négligés dans ce TP

Préparation paillasse

- deux GBF (ou utilisation Latis pour 2^e GBF)
- un oscillo
- 2 multiplieur avec alim +15/-15 (un pour moduler, l'autre pour démoduler)
- un ampli inverseur de gain -5 déjà préparé sur la paillasse
- boîtes R et C réglables (pour filtre passe-bas)
- un adaptateur smartphone-fils TP pour brancher smartphone au montage
- un ampli (montage inverseur à AO par exemple) de gain 30 environ