

## Extraits du programme :

### Partie 2 - Formation expérimentale

Modulation et démodulation.	Élaborer un signal modulé en amplitude à l'aide d'un circuit multiplieur. Réaliser une démodulation synchrone.
-----------------------------	---

### Partie 3 - Formation disciplinaire

#### ÉLECTRONIQUE

1.4. Électronique numérique	
Analyse spectrale numérique.	Capacité numérique : calculer, à l'aide d'un langage de programmation, la transformée de Fourier discrète d'un signal numérique.
1.5 Modulation-Démodulation	
	Réaliser une modulation d'amplitude et une démodulation synchrone avec un multiplieur analogique.
Outils numériques	Capacités exigibles
Transformée de Fourier discrète.	Calculer la transformée de Fourier discrète d'un signal à valeurs réelles en utilisant la fonction <code>rfft</code> de la bibliothèque <code>numpy.fft</code> (sa spécification étant donnée).

## MODULATION D'AMPLITUDE ET DEMODULATION SYNCHRONE

### Objectifs

Après cette manipulation, vous serez capable de :

- ❑ D'expliquer la nécessité de la modulation d'amplitude pour la transmission des signaux
- ❑ D'expliquer le principe de la modulation d'amplitude
- ❑ D'expliquer le principe de la démodulation synchrone

### Matériel :

Vous disposez de : d'une centrale d'acquisition Sysam, de deux multiplieurs, d'une boîte à décade de capacités et d'une boîte à décade de résistances.

### I. Principe de la modulation et de la démodulation

La transmission à longues distances par voie hertzienne d'un signal (émission radio par exemple) exige une **fréquence élevée**.

Le signal véhiculant l'information à transmettre est en général de fréquence trop faible (par exemple, un signal audio est compris dans la bande [20 Hz, 20 kHz]). On utilise alors un autre signal de fréquence beaucoup plus élevée (par exemple pour les portables 900 ou 1800 MHz) : il constitue **l'onde porteuse**. L'amplitude de ce signal est *modulée* par le signal à transmettre appelé **signal modulant**.

La modulation d'amplitude est réalisée à l'aide d'un *circuit multiplieur*.

Après transmission, le signal doit être *démodulé* pour pouvoir être lu.

Supposons que le signal à transmettre (de basse fréquence) s'écrive :  $u_1(t) = U_1 \cos(\omega_m t)$ , c'est-à-dire un signal alternatif sinusoïdal d'amplitude  $U_1$  et de pulsation  $\omega_m$ .

$u_m(t) = U_0 + u_1(t)$  est le signal modulant.

$u_p(t) = U_p \cdot \cos(\omega_p t)$  est la porteuse de pulsation  $\omega_p \gg \omega_m$  et d'amplitude  $U_p$ .

Pour moduler l'amplitude  $U_p$  de  $u_p(t)$ , on va simplement multiplier les signaux  $u_m(t)$  et  $u_p(t)$ , ainsi l'amplitude du signal résultant s'écrira :

$$A(t) = k U_p (U_0 + u_1(t))$$

## **II. Elaboration du signal modulé à l'aide du multiplieur :**

### **1. Description du composant**

**Préparation :** Rechercher le data sheet du composant multiplieur AD 633 pour comprendre comment réaliser le brochage de ce composant.

Retrouver la valeur du slew rate, la valeur de la bande passante, l'ordre de grandeur de la tension d'offset.

On se placera dans des conditions où l'on peut supposer ce composant idéal : son impédance d'entrée est infinie, son impédance de sortie nulle.

### **2. Modulation d'amplitude :**

#### **a. A préparer, partie théorique**

##### **Questions :**

Montrer que  $s(t) = k u_m(t) \cdot u_p(t) = k U_o U_p (1 + m \cos(\omega_m t)) \cos(\omega_p t) = A(t) \cdot \cos(\omega_p t)$ .

Exprimer  $m$  en fonction de  $U_o$  et  $U_1$ .

Linéariser, puis tracer le spectre de Fourier de  $s(t)$  pour  $m < 1$ .

#### **b. Manipulations :**

$U_o \approx 3 \text{ V}$  et  $u_1(t)$  est un signal basse fréquence  $f_m \approx 0,1 \text{ kHz}$  et  $U_1 \approx 1 \text{ V}$ , générés par la sortie SA1 de l'interface.

$u_p(t)$  est un signal haute fréquence  $f_p \approx 1 \text{ kHz}$  et  $U_p \approx 8 \text{ V}$  généré par la sortie SA2 de l'interface;

Quelle est alors la valeur de  $m$ , appelée taux de modulation ?

Faire le schéma du montage en indiquant les branchements de l'interface.

Représenter sur le même oscillogramme  $s(t)$ ,  $u_m(t)$  et  $u_p(t)$ .

Montrer qu'on retrouve dans  $s(t)$ , les périodes de  $u_1(t)$  et de  $u_p(t)$ .

Indiquer les valeurs de  $A_{\max}$  et  $A_{\min}$  de  $A(t)$ . En déduire la valeur de  $m$  et la comparer à la valeur calculée précédemment.

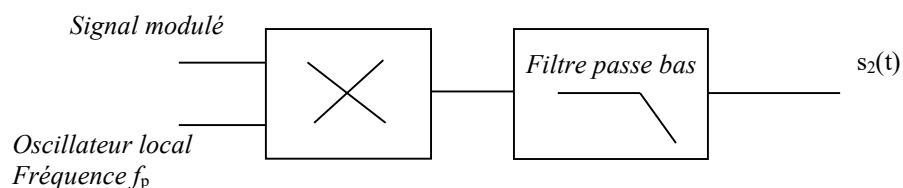
Tracer le spectre de Fourier du signal de sortie, on notera la période d'échantillonnage, le nombre de points choisis ainsi que la durée d'acquisition. Vérifier que le théorème de Shannon est respecté. Ces informations sont à porter sur tous les spectres réalisés. Est-il conforme au spectre attendu ?

Remplacer le signal modulant sinusoïdal par un signal carré et interpréter le spectre obtenu.

## **III. Démodulation d'amplitude par détection synchrone**

### **1. Principe :**

Pour démoduler des signaux, on utilise la détection synchrone dont le schéma de principe est le suivant:



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, c'est-à-dire le signal haute fréquence de la porteuse.

Le signal modulé s'écrit :

$$s(t) = kU_o U_p (1 + m \cos(\omega_m t)) \cos(\omega_p t) = A(t) \cdot \cos(\omega_p t)$$

Le signal délivré par l'oscillateur local s'écrit :  $u_p(t) = U_p \cdot \cos(\omega_p t)$

On obtient à la sortie du second multiplieur :

$$v_s(t) = k s(t) \cdot u_p(t) = k^2 U_o \cdot U_1 \cdot (1 + m \cdot \cos(\omega_m t)) \cdot \cos^2(\omega_p t)$$

Avec toujours  $f_m = \omega_m / 2\pi = 100 \text{ Hz}$  et  $f_p = \omega_p / 2\pi = 1000 \text{ Hz}$

### **Questions :**

*Transformer le produit de cosinus en une somme et représenter le spectre de Fourier du signal ainsi obtenu.*

*Quelle(s) composante(s) du signal doit-on conserver pour démoduler ?*

*Justifier que l'opération de démodulation ne peut pas être linéaire.*

L'oscillateur local doit avoir exactement la *même fréquence* et la *même phase* que la porteuse (d'où le nom de détection *synchrone*)

*Remarque :* 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.

### **2. Filtre passe-bas**

On réalise un filtre passe-bas à l'aide d'un circuit RC.

### **Questions :**

*Faire le schéma du filtre. Déterminer sa fonction de transfert. Déterminer sa fréquence de coupure  $f_c$  en fonction de  $R$  et  $C$ . Quelle(s) relation(s) existe(nt)-t-il entre  $f_c$ ,  $f_m$  et  $f_p$  pour réaliser une démodulation ?*

### **3. Manipulations :**

On conserve les valeurs précédentes pour le signal modulé :

$U_o \approx 3 \text{ V}$  et  $u_1(t)$  est le signal basse fréquence  $f_m \approx 0,1 \text{ kHz}$  et  $U_1 \approx 1 \text{ V}$ .

$u_p(t)$  est un signal haute fréquence  $f_p \approx 1 \text{ kHz}$  et  $U_p \approx 8 \text{ V}$  ;

Il suffit simplement de connecter sur les deux entrées d'un second multiplieur la sortie du premier multiplieur et la sortie du GBF générant la porteuse (haute fréquence).

Le filtre passe bas est un filtre RC.

Choisir les valeurs de  $R$  et  $C$  telles que  $f_c = 1600 \text{ Hz}$ .

Pourquoi est-il judicieux d'augmenter la fréquence de la porteuse ? Préciser la valeur choisie.

Observer  $v_s(t)$  le signal le signal en sortie du 2<sup>e</sup> multiplieur. Tracer son spectre.

Observer  $u_c(t)$ , signal aux bornes du condensateur, tracer son spectre.

Comparer  $u_c(t)$  et  $u_1(t)$ , le signal à transmettre.

## **IV. Représentation numérique :**

A l'aide de Python, élaborer et représenter graphiquement en fonction du temps :

- le signal modulant sinusoïdal,
- la porteuse,
- le signal modulé en amplitude,
- le signal modulé multiplié par la porteuse,

En vous inspirant de scripts Python existant (échantillonnage, filtrage numérique), réaliser le filtrage du dernier signal et tracer les spectres de tous les signaux.

1ère série TP TOURNANTS DE PHYSIQUE

	séance 1	séance 2	séance 3		
Diffusion RC	11 ; 13 ; 19 21 ; 23	12 ; 14 ; 18 22 ; 24 ; 28	15 ; 17 25 ; 27		
Radar Doppler	15 ; 17 25 ; 27	11 ; 13 ; 19 21 ; 23	12 ; 14 ; 18 22 ; 24 ; 28		
modulation démodulation	12 ; 14 ; 18 22 ; 24 ; 28	15 ; 17 25 ; 27	11 ; 13 ; 19 21 ; 23		

	n° binôme		n° binôme
Gueye Serigne	11	Atug Esmaerva	21
Ndiaye Fallou	11	Mouaouia Hajar	21
Diop Adja	12	Diatta Hamidou	22
Gassama Djariatou	12	Seck Seya	22
Bedouin-Muller Jarvis	13	Amar Madeleine	23
Jehl Henri	13	Beaufils Léa	23
HUSSER Ugo	14	BEUCHER Flora	24
Stocky Nicolas	14	Vuilllemin Célia	24
Lager Loriane	15	Dott Xander	25
Rubiconi Mattéo	15	Lallement Raphael	25
Fellmann Joan	16	Muesser Florian	26
Zhang Olivier	16	Parisot Jules	26
Geiger Romain	17	Aron Alicia	27
Lopes--Feng Cassiopaix	17	Desebe-Sodoyer Julie	27
Bole Du Chomont Léa	18	Ndaw Rassoul	28
Siegfried Eva	18	Thierry Nathan	28
Agody Antoine	19		