

## TP - 8

# Modulation - Démodulation AM

Objectif du T.P. : étudier la modulation et la démodulation d'amplitude AM.

### 8.1 Modulation d'amplitude

#### 8.1.1 Introduction

La modulation d'amplitude (AM) est une modulation utilisée en radiodiffusion pour la transmission des signaux (information) de basse fréquence.

La fréquence du signal à transmettre (un son) varie de 20 Hz à 20kHz. Ce signal sonore est transformé en un signal électrique  $u_m(t)$  par un microphone. On appellera ce signal : le signal modulant ou signal utile. Ce signal utile est utilisé pour faire varier (**moduler**) l'amplitude d'un signal de haute fréquence  $p(t)$  appelée **porteuse**.

#### 8.1.2 Principe de la modulation AM

Le principe de cette modulation peut être illustré par le schéma synoptique représenté figure 8.1.

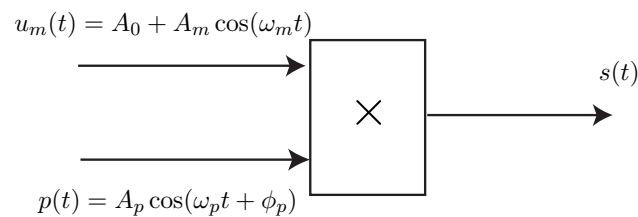


FIGURE 8.1 – Synoptique d'un modulateur AM avec porteuse.

avec :

- $\omega_m$  la pulsation du signal utile (BF).
- $\omega_p$  la pulsation de la porteuse (HF) qui vérifie la condition suivante :

$$\omega_p \gg \omega_m$$

- $A_0$  est une composante continue.
- $A_m$  et  $A_p$  sont les amplitudes des deux signaux  $u_m(t)$  et  $p(t)$ , respectivement.

La figure 8.2 montre un exemple des signaux  $u_m(t)$ ,  $p(t)$  et  $s(t)$ .

**Remarque :** Le signal utile  $u_m(t)$  est choisi sinusoïdal dans la suite de cette étude. Ceci est justifié par le fait que tout signal périodique est une superposition de signaux sinusoïdaux (Théorème de FOURIER).

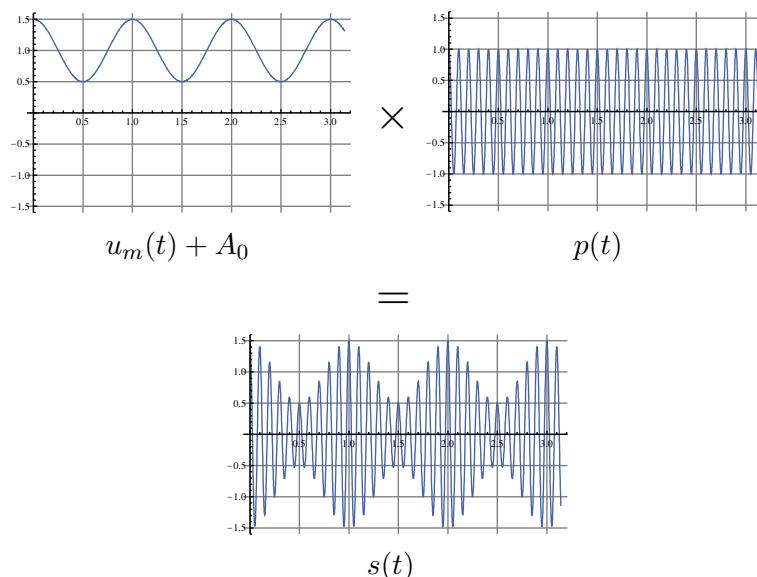


FIGURE 8.2 – Oscillogrammes des signaux  $u_m(t)$ ,  $p(t)$  et  $s(t)$

### 8.1.3 Questions préliminaires

- ✎ Pour quoi doit-on utiliser la modulation pour transmettre un signal utile ?
- ✎ Déterminer l'expression de  $s(t)$  sous la forme :  $s(t) = A_s(1 + m \cos \omega_m t) \cos \omega_p t$
- ✎ Donner l'expression du le taux de modulation  $m$ .
- ✎ Représenter le spectre en amplitude de  $u_m(t)$  ;
- ✎ Représenter le spectre en amplitude de  $s(t)$ .
- ✎ Conclure sur l'effet du modulateur AM sur le spectre du signal  $u_m(t)$  quelconque. Le modulateur AM est-il un système linéaire ?

### 8.1.4 Mesure des caractéristiques du signal

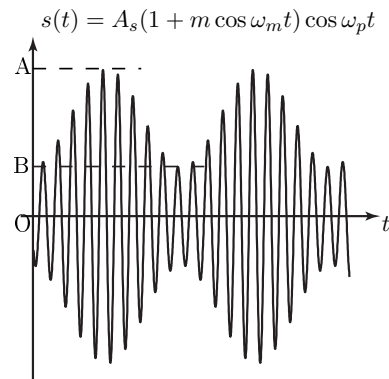
Pour mesurer les caractéristiques du signal modulé en amplitude  $s(t)$  on utilise :

- La carte d'acquisition SysamSP5 ou l'oscilloscope pour la mesure du taux de modulation  $m$  ;
- l'analyseur de spectre (de la SP5 ou de l'oscilloscope numérique) pour :
  - la visualisation du spectre de FOURIER ;
  - la détermination de l'étendue spectrale du signal ;
  - Faire un bilan des puissance électriques.

#### 8.1.4.1 Mesures de $m$

Nous présentons deux méthodes simples de détermination de l'indice de modulation  $m$  à l'oscilloscope : en mode balayage (figure 8.1.4.1) et en mode XY (méthode du trapèze figure 8.1.4.1).

#### Mesure en mode balayage :



### Mesure par la méthode des trapèzes :

Le signal utile  $u_m(t)$  est porté en abscisses en mode XY.

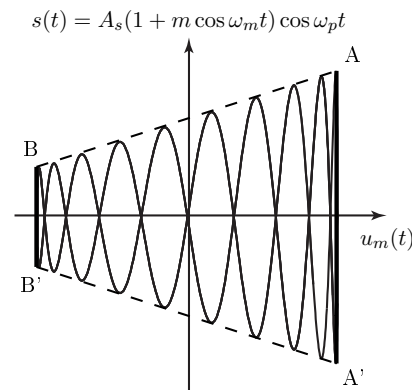


FIGURE 8.3 – Méthodes de détermination de l'indice de modulation  $m$  à l'oscilloscope.

☞ Montrer que dans le cas de la mesure en mode balayage, l'indice de modulation s'écrit :

$$m = \frac{\overline{BA}}{\overline{OA} + \overline{OB}}$$

☞ Montrer de même pour la méthode du trapèze que  $m$  est donné par :

$$m = \frac{A'A - B'B}{A'A + B'B}$$

### 8.1.5 Manipulations

Les expériences de ce paragraphe sont réalisées en utilisant les générateurs  $SA_1$  et  $SA_2$  disponibles sur la carte SysamSP5 et le multiplieur analogique AD633 (voir notice). Le schéma du montage de la modulation AM est représenté figure 8.4.

☞ Réaliser ce montage avec :  $f_m = 200$  Hz,  $A_m = 3$  V,  $A_0 = 7$  V,  $f_p = 40$  kHz,  $A_p = 5$  V.

☞ Produire (et reprendre sur le cahier de TP) un signal modulé sinusoïdalement en amplitude, de taux de modulation  $m < 1$ , puis faire les mesures suivantes :

- déterminer  $m$  par les deux méthodes exposées précédemment ;
- visualiser et reprendre sur le cahier de TP le spectre de fréquence du signal à l'aide de l'analyseur de spectre disponible dans LatisPro. En déduire l'étendue spectrale du signal modulé.

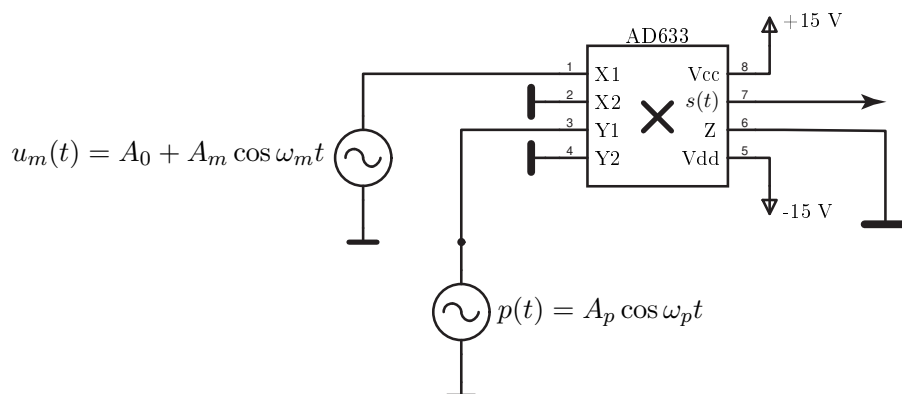


FIGURE 8.4 – Montage modulateur d’amplitude avec porteuse. On a :  $s(t) = k(X_1 - X_2)(Y_1 - Y_2) + Z$ , ( $k = 0, 1$ ).

- Calculer la puissance transportée par les différents signaux en supposant que l’onde est émise via une antenne de résistance  $R = 50 \Omega$ . Vérifier alors le théorème de PARSEVAL.
- ☞ Reprendre les questions précédentes pour un signal modulé sinusoïdalement en amplitude, pour  $m > 1$ .
- ☞ Reprendre les questions précédentes pour un signal modulé en amplitude par un triangle, pour  $m < 1$ .
- ☞ Reprendre les questions précédentes pour un signal modulé en amplitude par un carré, avec  $m < 1$ .

## 8.2 Démodulation d’amplitude

La démodulation du signal, appelée aussi détection, consiste à extraire le signal utile  $u_m(t)$  du signal complet  $s(t)$ , après propagation (dans l’atmosphère, le long d’un guide,...). On fait appel à différents montages selon le type de modulation utilisé.

### 8.2.1 Démodulation par détection d’enveloppe

Le détecteur d’enveloppe (figure 8.5), appelé aussi détecteur de crête, est un circuit fondamental de l’électronique analogique.

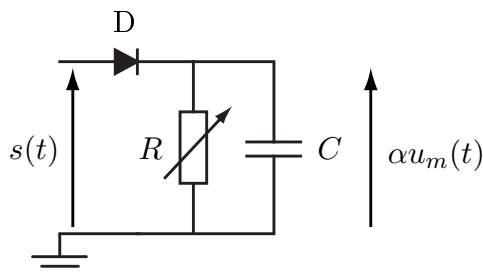


FIGURE 8.5 – Montage détecteur d’enveloppe élémentaire à diode 1N4148,  $C = 100 \text{ nF}$ .

☞ Montrer que la détection d’enveloppe d’un signal modulé en amplitude est possible si :

$$\boxed{\frac{m\omega_m}{\sqrt{1-m^2}} < \frac{1}{RC} \ll f_p} \quad (8.1)$$

La détection d'enveloppe permet la démodulation de signaux modulés en amplitude avec porteuse et présentant un taux de modulation  $m < 1$ .

☛ Dans le cas d'une porteuse de fréquence  $f_p = 40$  kHz et d'amplitude suffisante pour permettre la détection, déterminer numériquement une valeur convenable de  $R$  pour un taux de modulation  $m = 0,5$  et une étendue spectrale  $B_m = 5$  kHz du signal modulant.

**Remarque :** La diode de détection doit présenter un faible seuil (exemple : diode au germanium du type 1N34A) si les signaux à détecter sont de faible amplitude, comme les ondes radiodiffusion. Sinon, utiliser le montage de détection sans seuil.

Si on ne dispose pas d'une telle diode et que les signaux à détecter sont de faible amplitude, on peut utiliser le montage représenté figure 8.6 avec une diode de signal élémentaire du type 1N4148 pour réaliser une détection sans seuil.

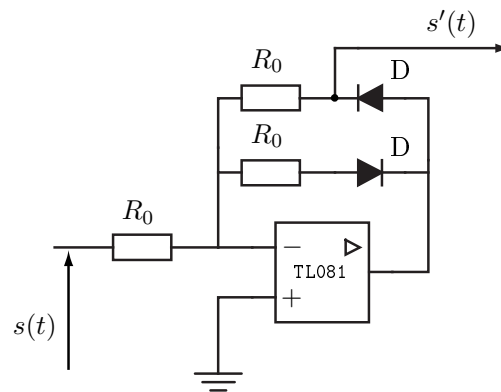


FIGURE 8.6 – Montage permettant la détection sans seuil avec une diode 1N4148,  $R_0 = 10$  k $\Omega$ .

### 8.2.2 Analyse du détecteur

- Pour un signal modulant sinusoïdal de fréquence  $f_m = 200$  Hz :
  - ☞ analyser le rôle de la valeur de  $R$  dans la qualité de la détection. Les inégalités (8.1) sont-elles vérifiées ?
  - ☞ analyser l'influence du taux de modulation sur la qualité de la détection. On envisagera en particulier les valeurs suivantes :  $m \ll 1$ ,  $m \approx 1$  et  $m > 1$ .
- Reprendre les questions précédentes pour un signal modulant triangulaire de fréquence  $f_m = 200$  kHz.
- Reprendre les questions précédentes pour un signal modulant triangulaire de fréquence  $f_m = 200$  kHz.
- ✓ Conclure sur les performances et les limitations de la démodulation par détection d'enveloppe.

### 8.2.3 Application à la détection par une chaîne AM (réception radio AM)

### 8.2.4 Démodulation par détection synchrone

Lorsque l'indice de modulation  $m > 1$  ou lorsque la porteuse est supprimée, la démodulation par détection d'enveloppe n'est plus possible. On fait alors appel à une technique qui permet de reconstituer localement la porteuse : c'est la *détection synchrone* ou *cohérente*.

### 8.2.4.1 Présentation

Le principe de la détection synchrone est très similaire à celui de la modulation puisqu'il s'agit encore une fois de *transposer* les fréquences d'intérêt. Le signal modulé est ici multiplié par un signal auxiliaire, périodique de même fréquence  $f_p$  que la porteuse mais présentant à priori une phase différente<sup>1</sup>. On élimine ensuite les composantes indésirables résultant de la multiplication par un filtrage passe-bas approprié.

On a représenté figure 8.7 le schéma de principe du démodulateur synchrone. La fréquence de coupure  $f_c$  du filtre passe-bas est telle que  $f_m < f_c \ll f_p$ .

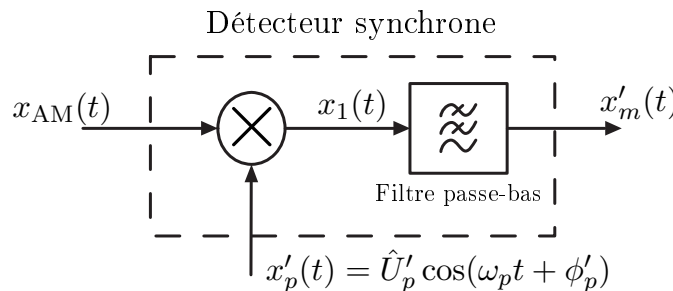


FIGURE 8.7 – Synoptique d'un Détecteur synchrone utilisé en démodulateur AM synchrone.

↪ En supposant que  $x_{AM}(t) = \hat{U}_p(1 + m \cos \omega_m t) \cos(\omega_p t + \phi_p)$ , donner l'expression linéarisée de  $x_1(t)$ .

↪ En déduire que le signal  $x'_m(t)$  s'écrit :

$$x'_m(t) = \hat{U}'_m \left[ \cos \Delta\phi_p + \frac{m}{2} \cos(\omega_m t + \Delta\phi_p) + \frac{m}{2} \cos(\omega_m t - \Delta\phi_p) \right]$$

avec  $\hat{U}'_m$  une constante dont on donnera l'expression.

↪ Montrer que dans le cas où  $\Delta\phi_p = k\pi$  avec  $k$  un entier relatif,  $x'_m(t)$  est une image du signal informatif, à condition de réaliser un deuxième filtrage que l'on caractérisera.

↪ Que se passe-t-il si  $\Delta\phi_p = \pi/2$  ?

### 8.2.4.2 Mise en œuvre

**8.2.4.2.1 Étude et réalisation du filtre passe-bas** Le filtre passe-bas utilisé dans le détecteur synchrone est représenté figure 8.8.

↪ Montrer que la fonction de transfert harmonique  $\underline{H}(j\omega) = \underline{X}_2/\underline{X}_1$  de ce filtre peut se mettre sous la forme canonique suivante :

$$\underline{H}(j\omega) = \frac{\underline{X}_2}{\underline{X}_1} = \frac{1}{1 + 2jm\omega/\omega_c + (j\omega/\omega_c)^2}$$

avec  $m$  le facteur d'amortissement réduit et  $\omega_c$  une pulsation caractéristique du filtre, donnés par :

$$m = \frac{3}{2} \sqrt{\frac{C_2}{C_1}} \quad \text{et} \quad \omega_c = \frac{1}{R\sqrt{C_1 C_2}}$$

↪ Quels sont l'ordre et la nature de ce filtre ? Représenter le diagramme de Bode du gain de ce filtre.

↪ On suppose que l'étendue spectrale  $B_m$  du signal informatif vaut  $B_m = 15 \text{ kHz}$ . Quelle doit être la valeur de  $R$  pour que  $f_c = \omega_c/2\pi = B_m$  ?

☞ On prendra pour les expérimentations :  $R = 10 \text{ k}\Omega$ ,  $f_p = 20 \text{ kHz}$ ,  $\hat{U}_p = 5 \text{ V}$ ,  $B_m = 1 \text{ kHz}$ .

1. Les raisons physiques pour que le signal auxiliaire présente un déphasage par rapport à la porteuse sont nombreuses : différences aléatoires dues aux différences entre les oscillateurs produisant chacun des deux signaux, influence du milieu de propagation,...

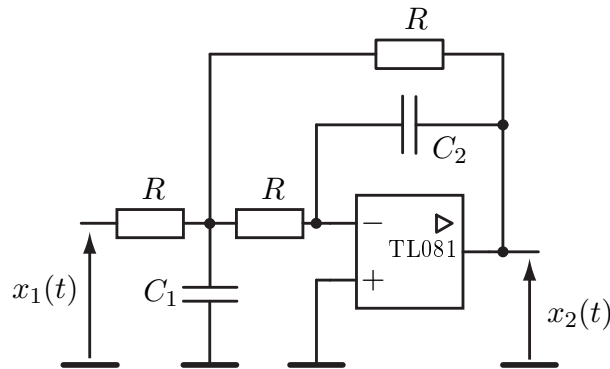


FIGURE 8.8 – Filtre passe-bas utilisé dans le détecteur synchrone. On donne  $C_1 = 22 \text{ nF}$  et  $C_2 = 4,7 \text{ nF}$

#### 8.2.4.2.2 Utilisation d'un oscillateur auxiliaire local synchrone

Le schéma du montage est représenté figure 8.9.

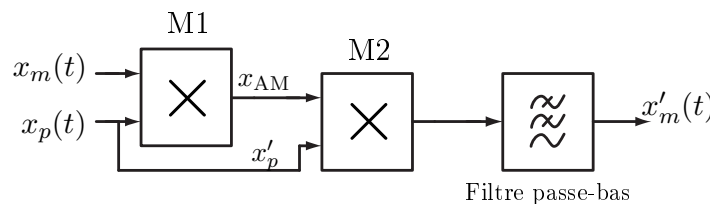


FIGURE 8.9 – Détection synchrone avec un oscillateur local synchrone. On n'oubliera pas de mettre la patte Z du multiplieur AD633 M2 à la masse. Le multiplieur M1 est une plaquette multiplieur analogique.

- ☞ Réaliser le montage représenté figure 8.9 sur une plaquette d'essai. Le filtre passe-bas est le filtre représenté figure 8.8.
- ☞ On réalise tout d'abord une modulation d'amplitude sinusoïdale sans porteuse (patte Z du multiplieur M1 à la masse). Observer le signal  $x'_m(t)$  à l'oscilloscope. Analyser l'effet de l'amplitude de la porteuse sur la détection du signal informatif.
- ☞ Mêmes questions cette fois pour un modulation avec porteuse. Que faut-il faire pour récupérer uniquement le signal informatif ?
- ☞ On utilise cette fois un signal modulant  $x_m(t)$  triangulaire d'étendue spectrale  $B_m$ . Analyser l'effet de l'étendue spectrale du signal informatif sur la qualité de la détection.
- ☞ Même question pour un signal carré.
- ☞ Conclure sur les limitations de la détection synchrone. En particulier analyser l'influence du filtre passe-bas.
- ☞ Dans la pratique le montage 8.9 est irréalisable puisque la propagation du signal dans l'espace rend impossible l'utilisation du générateur qui fournit  $x_p$  à l'endroit même de la réception. Il faut par conséquent trouver d'autres moyens de fournir une image de  $x_p$  par un oscillateur local.