

Toute la modulation et la démodulation d'amplitude sur une maquette didactique

par Frédéric LAGARDE et Hélène LEYMARIE
Préparation à l'agrégation de physique appliquée
Université Paul Sabatier - 31062 Toulouse

RÉSUMÉ

Cet article présente la réalisation d'une maquette permettant l'étude détaillée de la modulation et surtout de la démodulation d'amplitude. En effet, la détection crête et la détection synchrone avec reconstitution éventuelle de la porteuse sont ici analysées en détail. D'autre part, cette maquette a été spécialement conçue pour que les étudiants puissent observer facilement tous les signaux grâce à une face avant très didactique. Enfin, la liberté dans le choix des composants, pour la plupart amovibles, ont rendu cette maquette utilisable à tous les niveaux (terminale S et GEL, BTS électronique, Capes de physique-chimie, Capes et Agrégation de physique et de physique appliquée).

1. INTRODUCTION

Cette maquette permet de réaliser :

- une modulation d'amplitude avec ou sans porteuse à l'aide d'un multiplieur,
- une démodulation par détection d'enveloppe,
- une démodulation synchrone avec ou sans reconstitution de porteuse,
- la transmission d'un signal sonore, issu d'un générateur de mélodie et écouté grâce à un haut-parleur.

L'originalité de cette maquette est de permettre l'étude détaillée de la démodulation synchrone, très utilisée en réception radio AM et lors du traitement de signaux basse fréquence noyés dans le bruit (systèmes de mesure [5]). L'utilisateur pourra, dans un premier temps étudier l'influence d'un déphasage sur la porteuse, puis reconstituer celle-ci à l'aide d'une boucle à verrouillage de phase (PLL).

Le matériel nécessaire au fonctionnement de la maquette est le suivant :

- une alimentation stabilisée – 15 V, + 15 V,

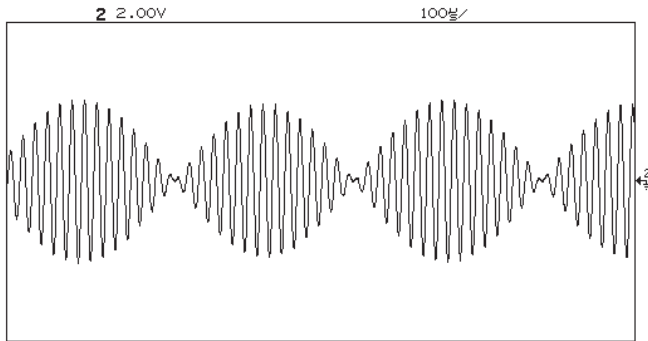


Figure 3 : Forme du signal modulé sans porteuse.

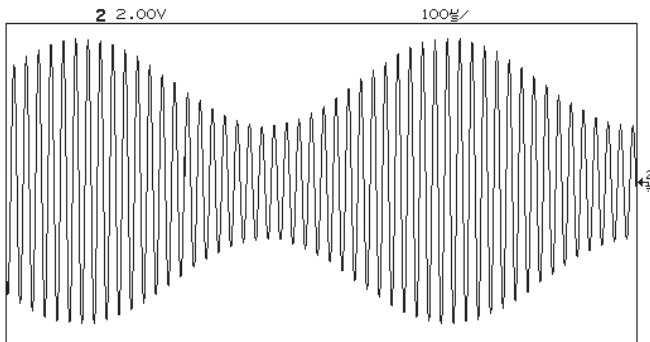


Figure 4 : Forme du signal modulé avec porteuse.

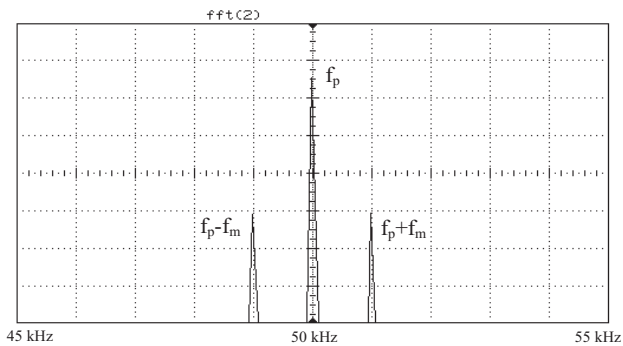


Figure 5 : Spectre du signal modulé avec porteuse.

3. DÉMODULATION PAR DÉTECTION D'ENVELOPPE

Le montage, présenté figure 6, est constitué d'un détecteur crête (D, R_1, C_1) et d'un filtre passe-bas du premier ordre (R_2, C_2). Il permet de réaliser une détection d'enveloppe.

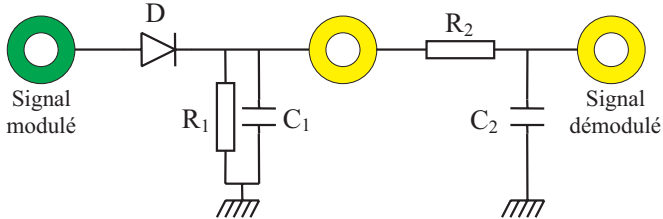


Figure 6 : Circuit de détection d'enveloppe.

3.1. Principe

Le principe de cette méthode de démodulation est de récupérer l'enveloppe supérieure du signal modulé, de manière à obtenir une image du signal modulant.

a) Détecteur crête : D, R_1, C_1

La diode conduit brièvement durant chaque cycle de porteuse, et charge le condensateur C_1 jusqu'à la tension crête. Entre les crêtes, le condensateur se décharge via la résistance R_1 . Si la constante de temps $R_1 C_1$ est bien choisie, la tension récupérée aux bornes de C_1 ressemble à l'enveloppe supérieure, avec une petite ondulation à la fréquence porteuse (cf. figure 7).

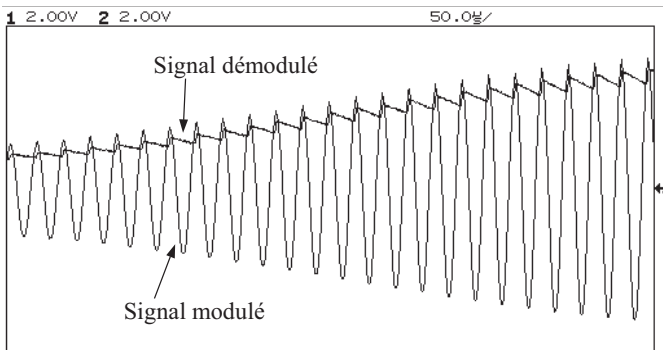


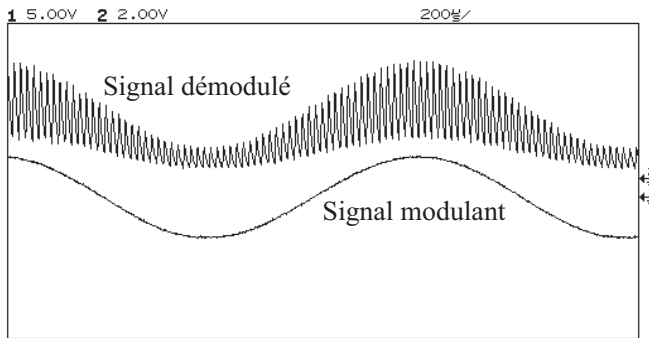
Figure 7 : Charge et décharge de C_1 .

Le choix de $R_1 C_1$ repose sur un compromis (cf. figure 8) :

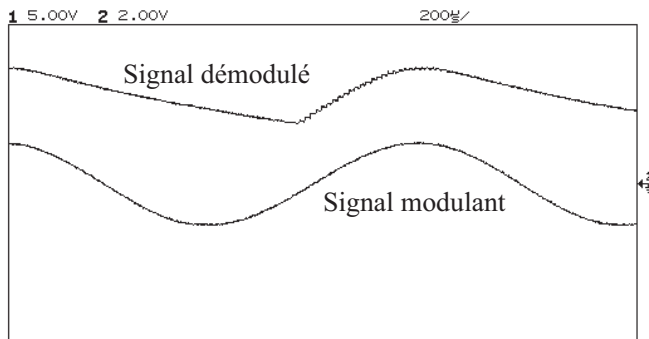
- le temps de décharge du condensateur doit être grand devant la période de la porteuse (on veut limiter l'ondulation),
- la décharge ne doit pas être trop lente car la tension aux bornes de C_1 pourrait quitter l'enveloppe, et donner ainsi une image fausse du modulant.

Les conditions à respecter sont les suivantes [1] :

$$\frac{10}{f_p} < R_1 C_1 < \frac{\sqrt{1-m^2}}{2\pi m f_m}$$



a) $R_1 C_1$ trop faible.



b) $R_1 C_1$ trop grand.

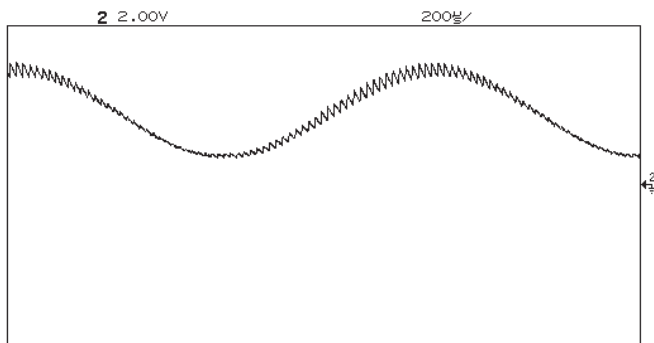
Figure 8 : Influence de la constante de temps $R_1 C_1$ sur la démodulation.

b) Filtre passe-bas : R_2, C_2

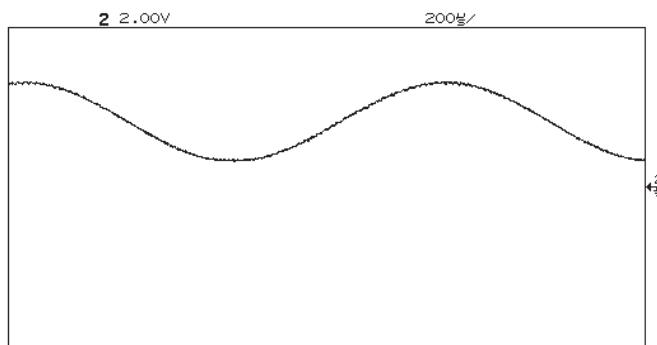
Le filtre passe-bas R_2C_2 permet de supprimer l'ondulation résiduelle (cf. figure 9). Il doit couper la fréquence porteuse et laisser passer la fréquence du modulant :

$$f_p \gg \frac{1}{2\pi R_2 C_2} > f_m$$

On choisira la résistance R_2 grande pour ne pas charger le filtre R_1C_1 .



a) Avant le filtre.

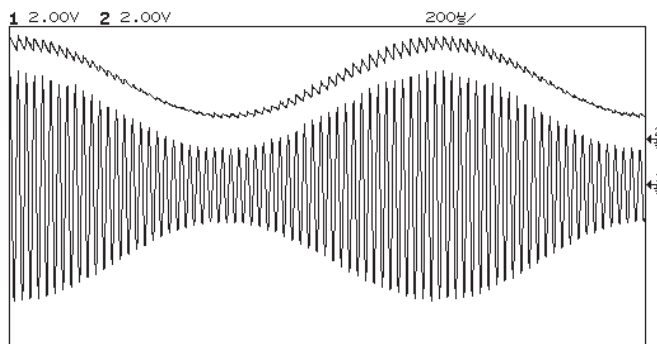


b) Après le filtre.

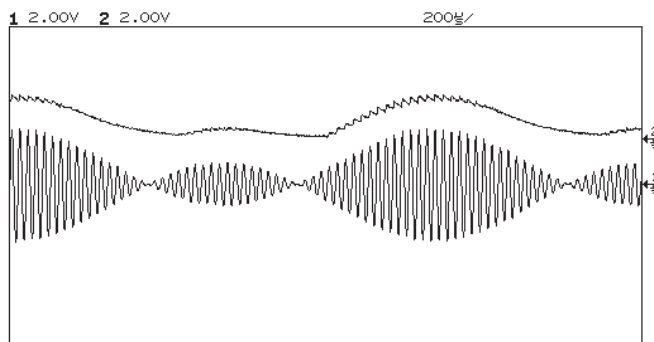
Figure 9 : Filtrage des résidus HF par le filtre R_2C_2 .

c) Limitations

Pour que l'enveloppe soit une image fidèle du signal modulant, il faut que l'indice de modulation soit inférieur à 1 (cf. figure 10).



a) $m < 1$: démodulation correcte.



b) $m > 1$: mauvaise démodulation.

Figure 10 : Influence de l'indice de modulation sur la qualité de la démodulation.

Même dans le cas où m est inférieur à 1, la démodulation peut être incorrecte à cause du seuil de la diode. En effet, si l'amplitude du signal à démoduler devient inférieure à ce seuil, la diode reste bloquée et le condensateur C_1 se décharge entièrement dans R_1 : le signal obtenu ne suit pas l'enveloppe (cf. figure 11). On pourra alors utiliser une diode à faible seuil comme par exemple une diode schottky (référence BAT42).

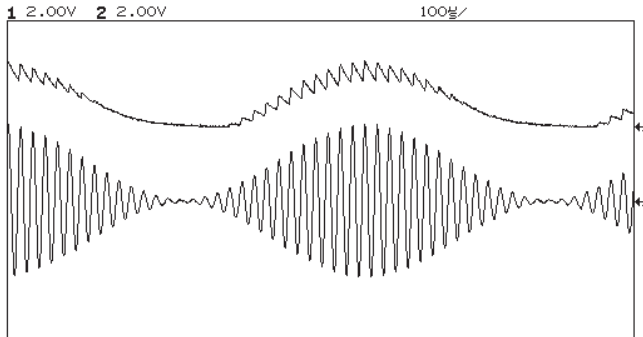


Figure 11 : Mauvaise démodulation due au seuil de diode ($m = 1$).

3.2. Exploitation expérimentale

Le signal modulé peut provenir d'un modulateur extérieur ou de celui de la maquette. L'utilisateur peut changer facilement tous les composants (D, R_1, C_1, R_2, C_2), dont les pattes s'enfichent dans des douilles de 1 mm.

Différents aspects de la démodulation pourront être observés :

- observation de la charge et de la décharge de C_1 (cf. figure 7),
- visualisation du signal démodulé pour différentes valeurs de R_1 et C_1 (cf. figure 8),
- intérêt du filtrage des résidus haute fréquence (cf. figure 9),
- mauvais fonctionnement pour $m > 1$ (cf. figure 10),
- influence du seuil de la diode (cf. figure 11).