

TP7-Cours - Modulation et démodulation d'amplitude

Objectifs :

- Définir un signal modulé en amplitude, en fréquence, en phase.
- Interpréter le signal modulé comme le produit d'une porteuse par une modulante.
- Décrire le spectre d'un signal modulé.
- Réaliser une modulation et une démodulation d'amplitude à l'aide d'un multiplieur analogique.

L'objectif de ce TP-cours est d'appréhender les problèmes de modulation et de démodulation d'un signal électronique.

I Signal modulé en amplitude

I.1 Généralités

I.1.1 Intérêt de la modulation d'un signal

Le transport d'information par voie hertzienne s'est développée depuis la découverte de l'existence des ondes électromagnétiques à la fin du 19ème siècle par Heinrich Hertz. La possibilité de transmettre la voix d'un individu d'un point A à un point B distants de plusieurs kilomètres a rapidement été envisagée : la conversion de l'onde sonore en onde électromagnétique, puis le transport de celle-ci vers un récepteur qui effectue l'opération inverse, a commencé dès le début du 20ème siècle.

Cependant, la transmission des informations par voie hertzienne nécessite l'emploi d'une antenne qui a une largeur de bande limitée et qui a des **dimensions de l'ordre de la longueur d'onde du signal à transmettre**. Une onde électromagnétique issue de la conversion électromécanique de la voix humaine a une fréquence comprise entre 1 kHz et 10 kHz (ordre de grandeur) : la longueur d'onde associée est donc comprise entre 30 km et 300 km, et l'antenne nécessaire à son émission devrait avoir une taille de l'ordre de la dizaine de km. Il est donc impossible aussi bien pour des questions d'encombrement que de largeur de bande d'émettre directement un signal basse fréquence. Il est nécessaire de transposer les informations basse fréquence dans une zone étroite de fréquence située autour de la fréquence d'accord de l'antenne : c'est l'opération de **modulation**.

I.1.2 Signal porteur, signal modulant

Un oscillateur fournit un **signal sinusoïdal haute fréquence** que l'on appelle la **porteuse** (sa fréquence étant appelée fréquence porteuse) qui ne contient aucune information sinon sa propre existence. Soit $p(t)$ la fonction modélisant une telle onde :

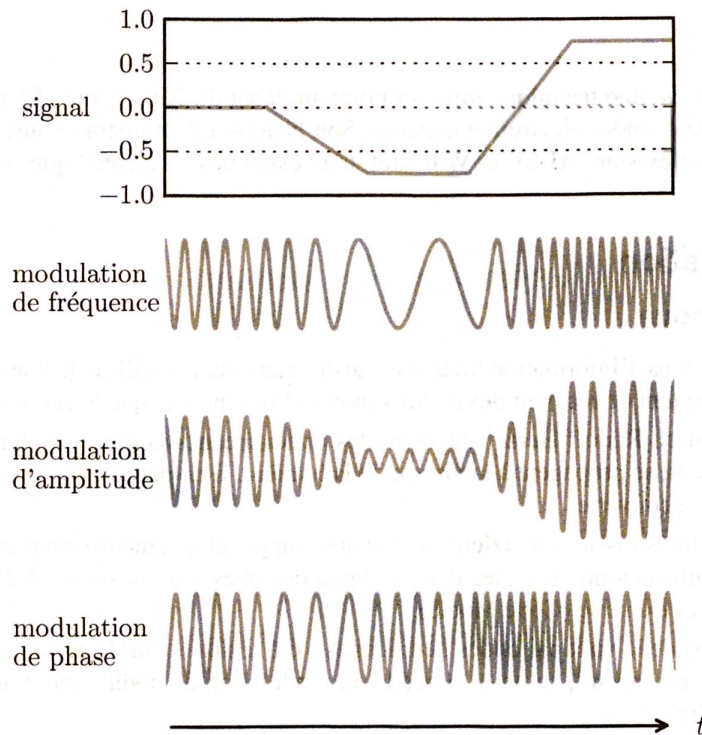
$$p(t) = P_m \cos(\omega_p t + \varphi_p)$$

où P_m est l'amplitude de la porteuse, ω_p sa pulsation et φ_p sa phase à l'origine.

L'information à transmettre doit être utilisée pour modifier l'une de ces caractéristiques :

- l'amplitude varie au rythme du signal basse fréquence (BF) à transmettre : c'est la **modulation d'amplitude**.
- la fréquence varie au rythme du signal BF : c'est la **modulation de fréquence**.
- la phase varie au rythme du signal BF : c'est la **modulation de phase**.

La figure ci-dessous¹ présente les différents résultats de ces modulations sur le signal à transmettre présenté :



Le signal à transmettre, ou **signal modulant**, est considéré par la suite sinusoidal et de la forme :

$$e(t) = E_0 + E_m \cos(\omega_e t + \varphi_e)$$

où E_m est l'amplitude de la porteuse, ω_e sa pulsation et φ_e sa phase à l'origine. la tension continue E_0 est rajoutée afin de faciliter la démodulation du signal.

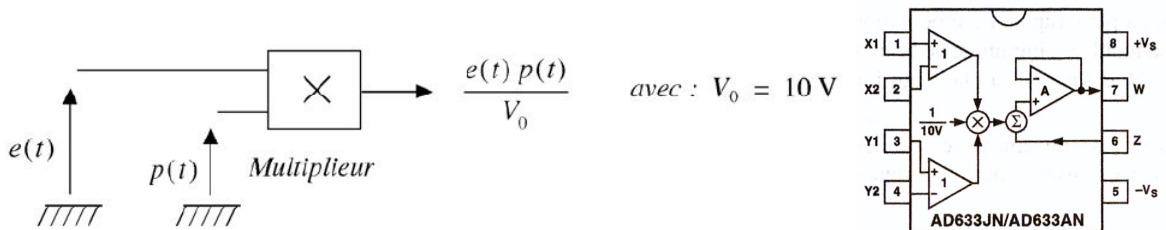
I.1.3 Taux de modulation

On définit le taux de modulation m par :

$$m = \frac{E_m}{E_0}$$

I.1.4 Signal modulé en amplitude

- Schéma de principe (à droite : schéma du multiplieur) :



1. Extraite du *Tout-En-Un PSI*/PSI*, édition Dunod

Q1. Montrer que le signal de sortie du multiplieur $s(t) = \frac{e(t) \times p(t)}{V_0}$ peut s'écrire :

$$s(t) = \frac{E_0 P_m}{V_0} \left[\cos(\omega_p t + \varphi_p) + \frac{m}{2} \cos((\omega_p + \omega_e)t + \varphi_p + \varphi_e) + \frac{m}{2} \cos((\omega_p - \omega_e)t + \varphi_p - \varphi_e) \right]$$

En déduire le contenu en fréquence du signal $s(t)$.

I.2 Manipulations

I.2.1 Principe

- Le GBF 1 (voie 1 du GBF) délivre la porteuse, signal toujours sinusoïdal de fréquence 1000 Hz. On prendra $P_m = 5 \text{ V}$.
- Le GBF 2 (voie 2 du GBF) délivre le signal modulant de fréquence 100 Hz. Le bouton « DC Offset » permet d'ajouter une tension continue de décalage E_0 au signal modulant. On prendra $E_m = 0.5 \text{ V}$.
- Les entrées X_2 et Y_2 du multiplieur sont mises à la masse, ainsi que la sortie Z .

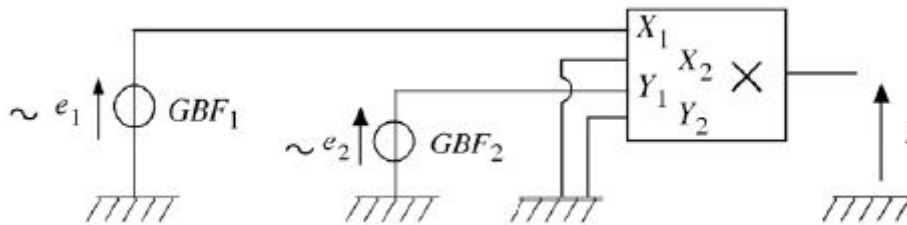


FIGURE 1 – Schéma du montage de modulation d'amplitude à l'aide d'un multiplieur

- C1.** Observer à l'oscilloscope le signal délivré par le GBF 2 et le signal de sortie du multiplieur $s(t)$.
- C2.** Faire varier la tension continue E_0 (et donc le taux m de modulation) et observer les deux cas suivants :
- 1er cas : $m < 1$ ou $E_m < E_0$;
 - 2ème cas : $m > 1$ ou $E_m > E_0$

Observer successivement l'allure du signal modulé lorsque le signal modulant est :

- un signal sinusoïdal ;
- un signal triangulaire ;
- un signal en créneaux.

I.2.2 Spectre du signal modulé

- C3.** Dans le cas où le signal modulant est sinusoïdal, faire l'analyse spectrale du signal de sortie du multiplieur et vérifier la présence des fréquences attendues selon le paragraphe 1.1.4

II Démodulation du signal modulé en amplitude

II.1 Démodulation par détection de crête

On reprend le montage précédent en rajoutant en sortie du multiplieur un circuit dit à **détection de crête** constitué d'une diode en série avec un circuit RC -parallèle. On donne $C = 10 \text{ nF}$. La caractéristique d'une diode idéale est rappelée en annexe.

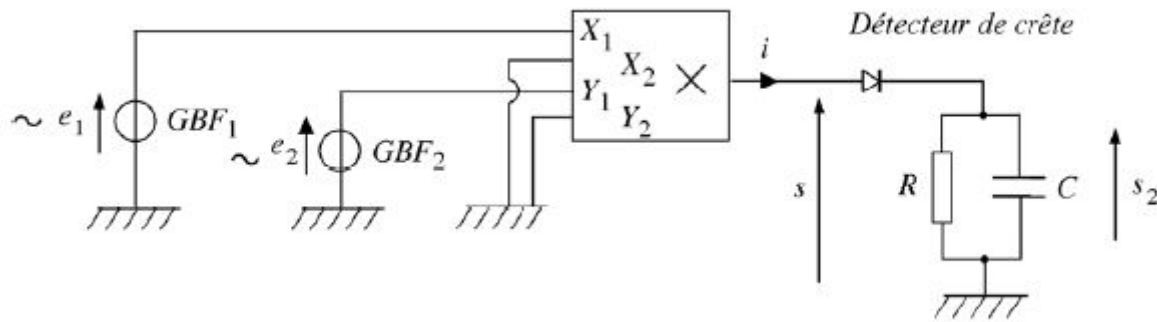


FIGURE 2 – Schéma du montage de démodulation d'amplitude par détection de crête

Le GBF 1 délivre la porteuse, signal toujours sinusoïdal de fréquence 10 kHz et d'amplitude 5 V. Le GBF 2 délivre le signal modulant, sinusoïdal, de fréquence 100 Hz. Le bouton « DC Offset » permet d'ajouter une tension continue de décalage E_0 au signal modulant. **On fera en sorte de choisir E_m et E_0 telles que le taux de modulation m reste inférieur à 1 (absence de surmodulation).**

- C4.** Réaliser le montage décrit précédemment. On sera vigilant au respect de l'orientation de la diode.
C5. Observer l'allure du signal $s_2(t)$ pour des valeurs de R successivement égales à 10 k Ω , 100 k Ω et 1 M Ω .

- Q2.** En analysant le comportement de la diode, justifier l'allure du signal $s_2(t)$. On expliquera notamment l'appellation "détecteur de crête".
Q3. Quelle valeur de R donne l'allure de signal démodulé la plus proche de l'allure attendue ? Justifier la réponse en se basant sur la valeur du temps de réponse du circuit RC .

II.2 Démodulation synchrone

II.2.1 Principe

Cette méthode consiste à multiplier le signal modulé $s(t)$ par la porteuse $p(t)$. Soit $w(t)$ le signal issu de cette opération.

On note $s(t) = \frac{E_0 P_m}{V_0} [1 + m \cos(\omega_e t + \varphi_e)] \cos(\omega_p t + \varphi_p)$ et $p(t) = P_m \cos(\omega_p t + \varphi_p)$.

- Q4.** Montrer que le signal $w(t) = \frac{s(t) \times p(t)}{V_0}$ peut s'écrire :

$$w(t) = \frac{E_0 P_m^2}{V_0} \left[1 + m \cos(\omega_e t + \varphi_e) + \cos(2\omega_p t + \varphi_p) + \frac{m}{2} \cos((2\omega_p - \omega_e)t + 2\varphi_p - \varphi_e) + \frac{m}{2} \cos((2\omega_p + \omega_e)t + 2\varphi_p + \varphi_e) \right]$$

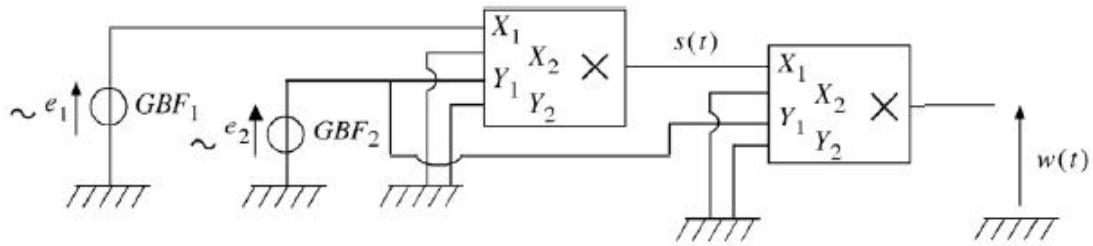


FIGURE 3 – Schéma du montage de démodulation synchrone

II.2.2 Manipulation

On considère le montage de démodulation à détection synchrone schématisé ci-dessous :

Le GBF 1 délivre la porteuse, signal toujours sinusoïdal de fréquence 10 kHz et d'amplitude 5 V. Le GBF 2 délivre le signal modulant, sinusoïdal, de fréquence 100 Hz. Le bouton « DC Offset » permet d'ajouter une tension continue de décalage E_0 au signal modulant. Un exemplaire du montage est visible sur le bureau.

- C6.** Observer le signal $w(t)$ pour $m < 1$. Vérifier dans son spectre la présence d'un terme constant et de quatre fréquences f_e , $2f_p - f_e$, $2f_p$ et $2f_p + f_e$.

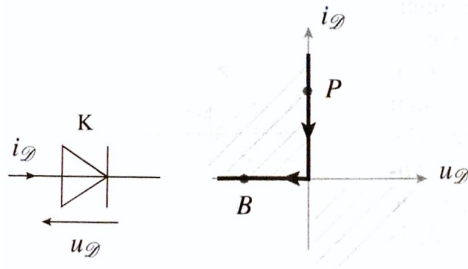
Q5. On alimente un filtre passe bas $R'C'$ par le signal $w(t)$ afin d'atténuer les composantes de fréquence supérieures à f_e . Quelle valeur du couple $R'C'$ choisir? Observer le signal de sortie de ce filtre.

Q6. Observer l'évolution du signal de sortie de filtre dans le cas d'une surmodulation. Conclure sur l'intérêt de la méthode de démodulation par détection synchrone par rapport à la méthode de démodulation par détection de crête.

Remarque : En pratique, la porteuse n'est pas directement accessible car la réception du signal modulé s'effectue par une antenne située à distance du circuit émetteur. Pour reconstituer la porteuse et effectuer l'opération de démodulation synchrone, on utilise un circuit nommé "**boucle à verrouillage de phase**" qui consiste à extraire les informations de fréquence et de phase de la porteuse $p(t)$ depuis le signal modulé, puis d'utiliser ce signal pour effectuer la détection synchrone.

Annexe

- On rappelle la caractéristique tension-courant d'une diode idéale, à tension de seuil nulle :



Dans l'état B , la diode est bloquée et se comporte comme un interrupteur ouvert. Dans l'état P , la diode est passante et se comporte comme un interrupteur fermé.

- On rappelle les relations de trigonométrie : $\cos(a)\cos(b) = \frac{1}{2}(\cos(a+b) + \cos(a-b))$ et $\cos^2(a) = \frac{1 + \cos(2a)}{2}$

Matériel (par paillasse) :

Modulation :

- Multiplieur (x1)
- GBF (x2)
- Oscilloscope avec FFT

Démodulation :

Matériel précédent + :

- diode
- condensateur 10 nF
- résistances 10k Ω , 100 k Ω et 1M Ω
- Multiplieur (x1)