

TP N° 31 : MODULATION, DEMODULATION

Nous avons vu au TP 14 que la transmission de l'information basse fréquence nécessite l'utilisation d'une porteuse « haute fréquence » modulée en amplitude par le signal à transmettre, dit signal modulant. La démodulation consiste à recueillir le signal modulant.

Dans une première partie nous réaliserons une modulation d'amplitude grâce à un multiplicateur analogique et nous ferons l'analyse spectrale du signal modulé à l'aide du logiciel Synchronie.

Dans une seconde partie nous effectuerons la démodulation grâce à un détecteur de crête.

Nous utiliserons finalement les résultats précédents pour expliquer le fonctionnement de l'analyseur de spectre décrit au TP précédent (TP 30 III.).

I. Modulation d'amplitude.

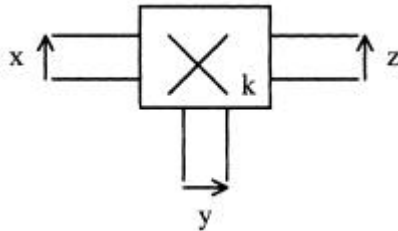
1. Le multiplicateur analogique.

On appelle multiplicateur analogique un composant à deux entrées (x et y) et une sortie (z) tel que : $z = k x y$

x , y et z sont des différences de potentiel entre deux bornes du composant (entrées et sortie flottantes car non nécessairement reliées à la masse). Des alimentations A_- et A_+ doivent être appliquées sur le composant comme dans le cas d'un amplificateur opérationnel (composant actif).

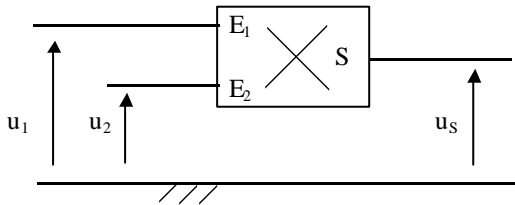
Enfin k est une grandeur homogène à l'inverse d'une tension : pour la majorité des composants usuels $k = 0,1 \text{ V}^{-1}$.

Les multiplicateurs sont des composants dont les performances sont excellentes mais un défaut demeure parfois : la présence de tensions de décalage (offsets), la relation réelle serait la suivante : $z = k (x - X_0) (y - Y_0) + Z_0$.



2. Principe de la modulation d'amplitude.

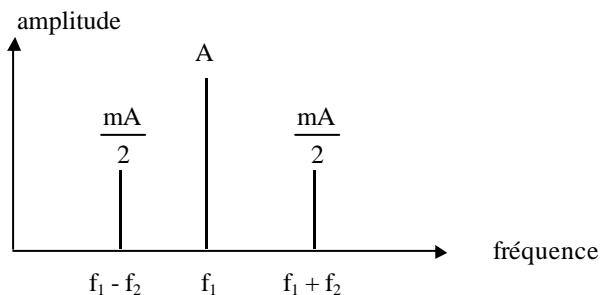
On considère le montage de la figure où $x = u_1$, $y = u_2$ et $z = u_s$:



a) La porteuse « haute fréquence » est $u_1 = U_{1m} \cos(2\pi f_1 t)$; le signal modulant à transporter est $u_2 = U_0 + U_{2m} \cos(2\pi f_2 t)$.
 Montrer que le signal modulé s'écrit $u_s = A_{\text{mod}} \cos(2\pi f_1 t)$ où $A_{\text{mod}} = A (1 + m \cos(2\pi f_2 t))$ est l'amplitude modulée.

Exprimer l'amplitude A en fonction de k , U_0 et U_{1m} ; exprimer le taux de modulation m , en fonction de U_0 et U_{2m} .

b) Montrer que le spectre de Fourier du signal modulé est le suivant :



- La plage occupée par un signal modulé en amplitude par un signal de fréquence f_2 vaut $2 f_2$.
- Le multiplieur est un élément non linéaire : on observe un enrichissement du spectre de fréquences : $(f_1, f_2) \rightarrow (f_1 - f_2, f_1, f_1 + f_2)$.
- Le « décalage du spectre » de f_1 à $f_1 - f_2$ et de f_1 à $f_1 + f_2$ sera utilisé dans l'analyseur de spectre (voir III).

3. Expérience.

Réaliser le montage avec deux G.B.F. et brancher un oscilloscope pour visualiser tout d'abord u_2 en voie 1 et u_1 en voie 2 (le brochage du multiplieur est donné en annexe).

Choisir pour la porteuse (G.B.F.1) : $U_{1m} = 4 \text{ V}$ et $f_1 = 5000 \text{ Hz}$.

Choisir pour le signal modulant (G.B.F.2) : $U_0 = 3 \text{ V}$ (offset du G.B.F.2) ; $U_{2m} = 2 \text{ V}$ et $f_2 = 500 \text{ Hz}$.

a) Observer simultanément u_2 et u_s en fonction du temps (u_2 en voie 1 (inchangé) et u_s en voie 2) en synchronisant sur la voie 1, puis sur la voie 2.

Exprimer l'amplitude A et le taux de modulation m en fonction de $|u_{s,max}|$ et $|u_{s,min}|$. En déduire les valeurs expérimentales de A et de m . Comparer aux valeurs attendues.

b) Visualiser en Lissajous u_s en fonction de u_2 : on observe un trapèze qu'on interprétera. Refaire les mesures de A et m sur ce trapèze.

c) Procéder à l'analyse spectrale du signal modulé u_s avec Synchronie.

Acquérir le signal modulé après avoir paramétré 1000 points et une durée de $5 \mu\text{s}$. Se référer au besoin au TP 29 pour effectuer l'analyse.

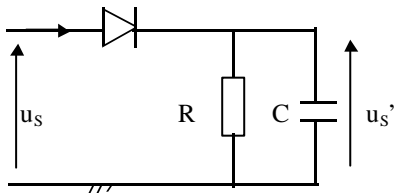
Comparer les valeurs des fréquences de la décomposition de Fourier à celles attendues.

Noter les valeurs des amplitudes correspondantes, en déduire le taux de modulation m et comparer à la valeur attendue.

d) Pour $m > 1$ on a un signal surmodulé qu'il faut savoir reconnaître : diminuer la tension d'offset U_0 pour l'observer dans les conditions du a) puis dans celles du b) (Lissajous), noter soigneusement vos observations.

II. Démodulation.

1. Revenir à $U_0 = 3 \text{ V}$. On utilise comme au TP 14 le détecteur de crête étudié au TP 11 (se reporter au TP 14 II.3. pour l'étude théorique) :

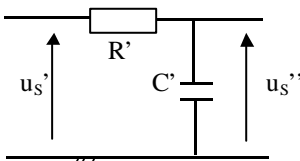


Pour $T_1 < \tau = RC < T_2$ le condensateur peut suivre le signal modulant mais pas la porteuse.

Vérifier par le calcul que $R = 10 \text{ k}\Omega$ et $C = 30 \text{ nF}$ conviennent.

Placer le « bloc démodulateur » ainsi réalisé à la sortie du multiplieur. Visualiser à l'oscilloscope u_s en voie 2 (inchangé) et u_s' en voie 1 avec une même sensibilité sur les deux voies.

2. Si le signal u_s' présente encore des ondulations, mettre un filtre passe-bas $R'C'$ aux bornes de u_s' :



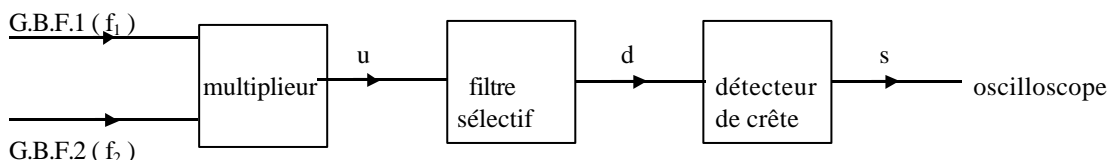
Vérifier par le calcul que $R' = 10 \text{ k}\Omega$ et $C' = 15 \text{ nF}$ conviennent (on donnera le diagramme asymptotique en gain du passe-bas).

Placer le filtre ainsi réalisé à la sortie du « bloc démodulateur ». Visualiser à l'oscilloscope u_s en voie 2 (inchangé) et u_s'' en voie 1, puis u_2 en voie 2 et u_s'' en voie 1. Conclure.

III. Application à l'analyseur de spectre.

1. Première étude.

On considère le schéma unifilaire suivant où le filtre est un filtre sélectif de fréquence de résonance fixe f_0 .



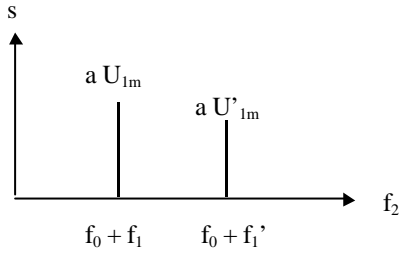
$u_1 = U_{1m} \cos(2\pi f_1 t + \varphi_1)$ est le signal à analyser ; $u_2 = U_{2m} \cos(2\pi f_2 t + \varphi_2)$ permet le « décalage en fréquences ».
 Sachant que le spectre de u est constitué des fréquences $f_2 - f_1$ et $f_2 + f_1$, montrer que si $f_1 < f_0 < f_2$, seul $f_2 - f_1$ peut être voisin de f_0 et que la sortie s est non nulle si $f_2 = f_0 + f_1$.

2. Deuxième étude.

On se place cette fois dans le cas où le signal à analyser est la somme de deux termes sinusoïdaux de fréquences f_1 et f_1' :

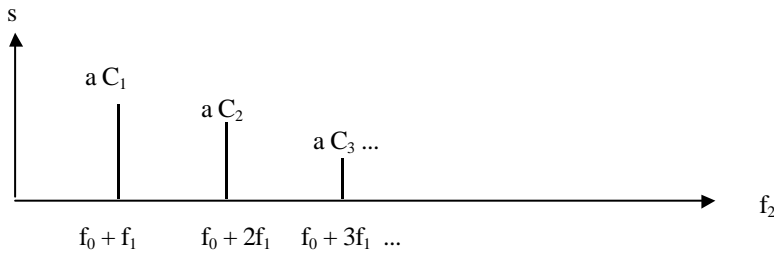
$u_1 = U_{1m} \cos(2\pi f_1 t + \varphi_1) + U'_{1m} \cos(2\pi f_1' t + \varphi_1')$, avec $f_1 < f_1' < f_0$ et $f_0 < f_2 < 2f_0$.

Sachant que le spectre de u est alors constitué des fréquences $f_2 - f_1'$, $f_2 - f_1$, $f_2 + f_1$, $f_2 + f_1'$ montrer que seuls $f_2 - f_1'$ et $f_2 - f_1$ peuvent être voisins de f_0 et que la sortie s est non nulle si $f_2 = f_0 + f_1$ ou $f_2 = f_0 + f_1'$, s en fonction de f_2 étant alors l'image du spectre de u_1 , on a réalisé un analyseur de spectre (a est une constante sans dimension) :

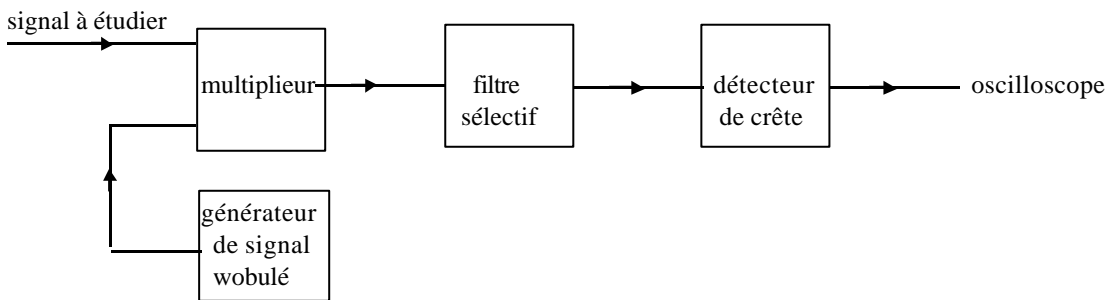


3. Généralisation.

Si le signal à analyser est périodique : $u_1(t) = U_0 + \sum_{k=1}^{\infty} (A_k \cos(k2\pi f_1 t) + B_k \sin(k2\pi f_1 t))$, avec $C_k = \sqrt{A_k^2 + B_k^2}$ amplitude de l'harmonique de rang k . On a alors :

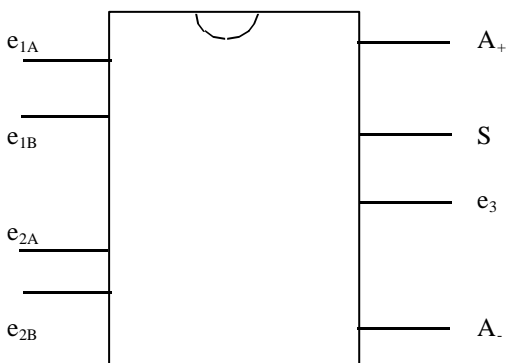


Pour analyser le spectre de u_1 il suffit de balayer en f_2 , manuellement ou à l'aide d'une wobulation :



C'est le schéma proposé à la fin du TP 30.

IV. Annexe : brochage du multiplieur.



Le composant utilisé est un AD 633.

Les tensions d'entrée s'appliquent sur les bornes e_{1A} , e_{2A} et e_3 . En multiplieur, les entrées e_{1B} , e_{2B} et e_3 sont reliées à la masse.

Sur les maquettes du laboratoire, :

(e_{1A}, e_{1B}) est l'entrée bleue ;

(e_{2A}, e_{2B}) est l'entrée jaune ;

A_+ est la borne rouge et A_- la borne verte ;

la sortie S est blanche ;

l'entrée e_3 est bleu pâle ou vert pâle.