

TP4a - Traitement non-linéaire du signal par multiplieur

Objectifs : Mettre en œuvre un dispositif de traitement non-linéaire du signal à l'aide d'un multiplieur.

Matériel : multiplieurs, GBF, oscilloscope (dont on utilisera son GBF interne), filtre RC.

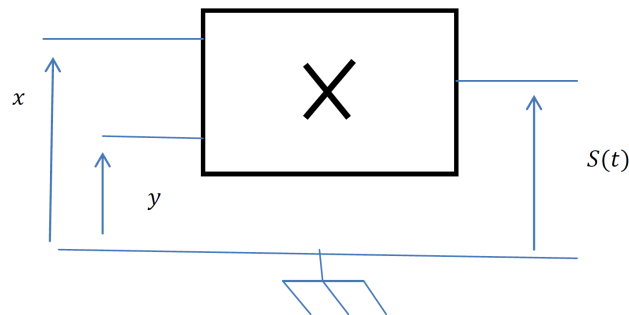
Le filtrage linéaire des signaux a été étudié en PCSI. Une des caractéristiques d'un traitement linéaire des signaux est que les fréquences du signal de sortie sont identiques à celles du signal d'entrée. Nous allons voir dans ce TP que ce n'est pas le cas dès qu'un élément non-linéaire est en jeu, par exemple un multiplieur, au centre de ce TP, ou une diode (non abordée dans ce TP).

Les applications principales des montages avec multiplieur utilisent le principe de la « détection synchrone » où on multiplie un signal à étudier par un signal connu :

- ★ Extraire un signal noyé dans du bruit important.
- ★ Démodulation d'amplitude.
- ★ Mesurer une faible différence de fréquences entre deux signaux, cf *TP-Mesure de vitesse par effet Doppler*.
- ★ Mesurer un déphasage entre signaux.

1 Prise en main du multiplieur

Le multiplieur étudié est basé sur le composant AD633¹. Il nécessite une alimentation externe et est ici branché de manière à obtenir une tension proportionnelle au produit des deux tensions d'entrée : $S(t) = k.x(t).y(t)$.



D'après la notice : $k = 0,1 \text{ V}^{-1}$.

1. ✎ En utilisant un seul générateur, proposer un protocole simple pour mesurer la valeur de k .
[Pour un protocole, un schéma des branchements est indispensable, de même que la description des signaux utilisés.]
2. Mettre en œuvre ce protocole pour déterminer expérimentalement k et comparer à la valeur fournie.

2 Multiplication de signaux sinusoïdaux

2.1 Étude expérimentale

On utilisera deux signaux sinusoïdaux, un délivré par le GBF, l'autre délivré par le GBF interne de l'oscilloscope² (pour cela, touche [UTIL] puis fonction GEN) :

- ★ prendre pour $x(t)$ un signal sinusoïdal de fréquence 2 kHz,
- ★ prendre pour $y(t)$ un signal sinusoïdal de fréquence 200 Hz.

3. Visualiser le signal de sortie $S(t)$. Tracer son allure.
4. Observer et commenter le spectre de $S(t)$ (par la fonction FFT de l'oscilloscope).

1. La notice est disponible sur http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/AD633.pdf.

2. Le GBF interne de l'oscilloscope est bien plus limité que le GBF habituel.

2.2 Étude théorique

L'expression générale d'un signal sinusoïdal $v(t)$ de pulsation ω , d'amplitude v_m et de phase ϕ est : $v(t) = v_m \cos(\omega t + \phi)$.

5. (🏠) Déterminer le produit de deux signaux sinusoïdaux d'amplitudes différentes, de pulsations différentes et de phases différentes. Montrer que le signal peut s'écrire sous une somme de deux signaux sinusoïdaux dont on précisera les pulsations.
6. (🏠) En commentant le spectre du signal de sortie, justifier qu'un traitement du signal par multiplieur n'est pas un filtrage linéaire³.

3 Modulation et démodulation d'amplitude

Objectif de la modulation de signaux : encoder un signal de fréquence basse (par exemple un signal audio) dans un signal de fréquence très différente, appelée « porteuse », pour faciliter la propagation (par exemple dans un signal radio). Dans le cas de la modulation d'amplitude (AM), c'est l'amplitude de la porteuse qui contient l'information sur le signal utile.

3.1 Modulation d'amplitude

- ★ Signal utile : signal sinusoïdal $v_u(t)$ d'amplitude $v_{um} = 1$ V, de fréquence $f_u = 0,5$ kHz, d'offset $v_0 = 3$ V.
- ★ Porteuse de fréquence bien supérieure : signal sinusoïdal $v_p(t)$ d'amplitude $v_{pm} = 8$ V et de fréquence $f_p = 10$ kHz.

7. Observer le signal de sortie $S(t)$ et remarquer l'effet de la valeur de l'offset sur l'allure du signal.
8. Vérifier que le spectre contient bien les fréquences attendues, et qu'en particulier la fréquence du signal utile est absente.

3.2 Démodulation d'amplitude

On souhaite extraire du signal précédent $S(t)$ le signal utile de départ $v_u(t)$. Bien voir qu'un filtrage linéaire est inadapté car le spectre de $S(t)$ ne contient pas les fréquences de $v_u(t)$!

9. 🛠️ Proposer un protocole à l'aide d'un nouveau multiplieur et d'un filtre adéquat pour récupérer $v_u(t)$ à partir de $S(t)$. Quelles contraintes doit vérifier le filtre pour convenablement filtrer la porteuse ?
10. Faire l'expérience et vérifier l'allure du signal final obtenu.

4 Mesure de différence de fréquence

Il est parfois délicat de mesurer précisément la différence Δf entre deux fréquences f_1 et f_2 proches. Une exemple vu plus tard dans l'année est la mesure du décalage en fréquence par effet Doppler. Un multiplieur permet d'obtenir directement un signal de fréquence Δf . Considérons deux signaux :

- ★ Signal connu : à partir du GBF de l'oscilloscope, signal sinusoïdal $v_1(t)$ de fréquence $f_1 = 1$ kHz.
- ★ Signal de fréquence à mesurer : à partir du GBF, signal sinusoïdal $v_2(t)$ à régler initialement sur une fréquence $f_2 = 1$ kHz.

11. Cacher l'affichage du GBF et modifier très légèrement à l'aveugle sa fréquence.
12. Mettre en place un montage permettant d'obtenir un signal de fréquence Δf dont on déduira la nouvelle fréquence f_2 .

3. Les opérations non-linéaires sont encore plus impressionnantes en *optique non-linéaire* où générer de nouvelles fréquences revient à générer de nouvelles couleurs ! Cf par exemple images de doublage de fréquence ou d'oscillateur paramétrique optique.