

# Devoir N° 5 : Décomposition en série de Fourier & Modulation AM

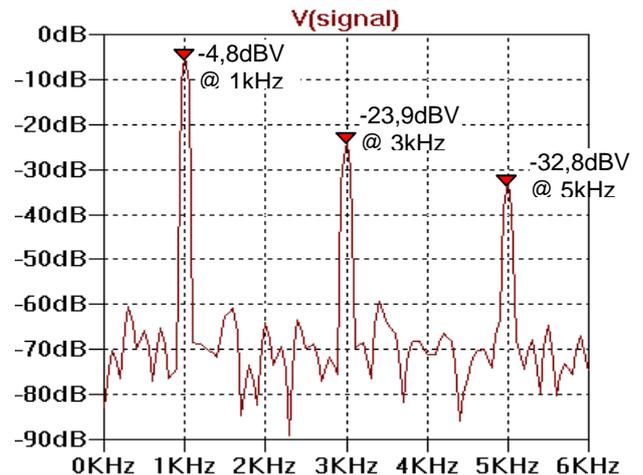


## Exercice n° 1 : Décomposition en série de Fourier

On connecte un générateur BF délivrant des signaux périodiques standards (sinus, carré, triangle et rampe) sur un analyseur de spectre FFT. La mesure obtenue est représentée sur le relevé ci-contre.

**Q1** : Quelle est l'unité de mesure en amplitude utilisée par l'analyseur FFT et rappeler sa définition ?

**Q2** : A partir des indications fournies sur le relevé en déduire la forme et l'amplitude du signal observé. Justifier votre réponse.



## Exercice n° 2 : Autour d'un émetteur AM

L'émetteur de Camphin en Carembault (Nord de la France) diffuse sur la porteuse 1377kHz l'émission France Info en modulation d'amplitude.

La photo représentée ci-contre permet d'apprécier la hauteur de l'antenne qui mesure 202m.

**Q1** : Quelle est la longueur d'onde  $\lambda$  du signal transmis ?

**Q2** : Justifier à partir de cette valeur les dimensions imposantes de l'antenne.

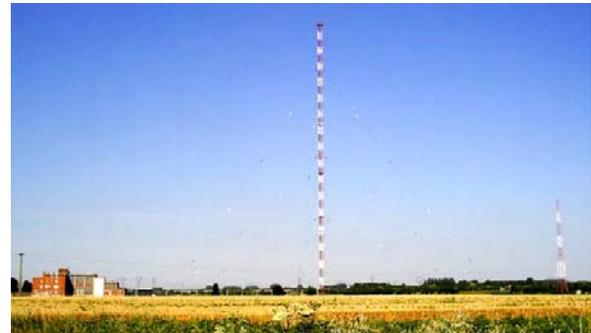


Photo : Emetteur AM de Camphin en Carembault

Avant les étages d'amplification nécessaires pour obtenir une puissance apparente rayonnée de 300kW, le signal en sortie du modulateur AM lorsqu'il se trouve en mode de test peut s'écrire sous la forme :

$$S(t) = S_0 \cdot [1 + m \cdot \cos(2\pi f_a t)] \cdot \cos(2\pi f_p t)$$

$f_a$  représente la fréquence de l'information basse fréquence à transmettre ( $f_a = 1\text{kHz}$ )

$f_p$  représente la fréquence porteuse

$m$  est une quantité sans dimension et se nomme le taux de modulation on donne  $m = 100\%$

$S_0$  est l'amplitude de la porteuse.  $S_0 = 2V$ .

**Q3** : Représenter l'allure du signal modulé  $S(t)$  au cours du temps.

**Q4** : Exprimer  $S(t)$  sous la forme de signaux sinusoidaux de fréquences différentes.

**Q5** : Tracer le module du spectre en amplitude et le spectre en puissance normalisée du signal  $S(t)$ .

**Q6** : Exprimer alors la valeur efficace  $S_{eff}$  du signal  $S(t)$  en fonction de  $m$  et  $S_0$ .

**Q7** : Quelle est l'amplification que l'on doit apporter à ce signal si l'on désire atteindre la puissance d'émission annoncée et en considérant que l'antenne présente une résistance apparente de  $50\Omega$  ?

## Exercice n° 3 : Etude d'une balise radio pour le sauvetage en mer

### Contexte de l'étude

On s'intéresse à l'étude d'une balise radio utilisée dans le cadre des sauvetages en mer. Ces dispositifs que l'on nomme aussi ELT (Emergency Locator Transmitters) émettent sur 2 fréquences (domaine civil) :

- 406MHz pour la signalisation et le repérage par satellite Cospas-Sarsat
- 121,5MHz pour le guidage des secours à l'approche de la zone de secours

Nous vous proposons d'étudier dans ce problème une version basique, destinée aux tests des récepteurs calés sur la fréquence 121,5MHz.



Une balise radio

### L'émetteur de test pour la fréquence 121,5MHz

Afin de repérer avec précision la balise radio et orienter les recherches, on utilise la technique de radiogoniométrie sur la fréquence 121,5MHz. On utilise des récepteurs spécifiques comme le montre la photo ci-contre dont le maniement nécessite un certain savoir faire. Il est alors indispensable d'avoir une balise radio pour les tests et les entrainements. L'émission de la balise radio se fait en modulation d'amplitude avec les caractéristiques suivantes :

- Fréquence porteuse : 121,5MHz
- Puissance d'émission : 25mW à 100mW
- Taux de modulation : 100%
- Signal modulant : Fréquence variant entre 300Hz et 1600Hz au rythme de 400ms



Un récepteur 121,5MHz

Le schéma du modulateur pour l'émetteur de test est donné sur la figure 1 suivante dans lequel on utilise un multiplieur AD835 dont les caractéristiques sont résumées sur la fiche suivante.

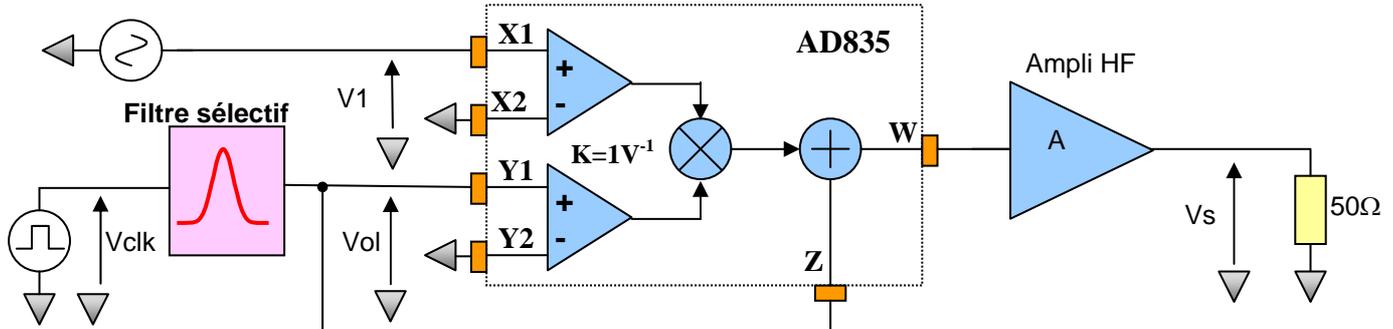


Figure 1 : Modulateur AM de test

AD 835 : Multiplieur Analogique 4 quadrant	Schéma fonctionnel / Brochage :
<p>Constr. : ANALOG DEVICES <a href="http://www.analog.com">www.analog.com</a></p> <p><b>Description / caractéristiques principales :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Opération : <math>W=Z+K.(X1-X2).(Y1-Y2)</math> avec <math>K=1V^{-1}</math></li> <li>• Bande passante 250MHz</li> <li>• Alimentation symétrique : +/- 5V</li> <li>• Impédance d'entrée élevée (100kΩ // 2pF)</li> <li>• Courant de sortie élevé permettant de charger le circuit sur de faibles impédances ( 50Ω par ex )</li> </ul>	

Pour l'étude de l'émetteur on définit les grandeurs suivantes :

- Porteuse :  $V_{ol} = V_o.\cos(2\pi f_o.t)$  avec  $f_o=125,1\text{MHz}$  et  $V_o=0,5V$
- Signal modulant  $V1 = V_a.\cos(2\pi f_a.t)$  avec  $f_a=1\text{kHz}$ .

**Q1** : Quelle est la longueur d'une antenne quart d'onde utilisée pour la balise radio ? Vérifier la cohérence de votre résultat avec la photographie proposée pour le récepteur.

**Q2** : Exprimer le signal de sortie  $V_s$  et montrer qu'il peut s'écrire sous la forme d'un signal modulé en amplitude dont vous préciserez le taux de modulation. En déduire la valeur de  $V_a$  afin de répondre au cahier des charges.

**Q3** : Tracer le spectre en amplitude du signal modulé  $V_s$  et en déduire l'expression de sa valeur efficace.

**Q4** : On fixe la puissance d'émission à sa valeur minimale de 25mW. En déduire la valeur de l'amplification  $A$ .

**Q5** : Représenter alors le signal  $V_s$  au cours du temps ainsi que son spectre dont le niveau des composantes fréquentielles sera exprimée en dBm.

**Q6 :** Afin de générer le signal  $V_{ol}$ , on utilise un oscillateur à quartz qui délivre un signal  $V_{clk}$  (0/5V) de fréquence 24,3MHz. Quelle est l'utilité du filtre sélectif ?

**Q7 :** Pour réaliser le filtre sélectif on utilise un circuit LC bouchon dont la fonction de transfert peut s'écrire :

$$T(jf) = \frac{V_{ol}(jf)}{V_{clk}(jf)} = \frac{A_o \cdot \frac{jf}{Q \cdot f_o}}{1 + \frac{jf}{Q \cdot f_o} + \left(\frac{jf}{f_o}\right)^2}$$

Quelle est la valeur de  $|T(jf)|$  pour  $f = f_o$  ?

Que représente la quantité  $Q$  ?

**Q8 :** A partir de la décomposition en série de Fourier du signal  $V_{clk}$  et du niveau attendu sur la porteuse  $V_{ol}$ , en déduire la valeur du coefficient  $A_o$ .

**Q9 :** Quelle doit être la valeur de  $Q$  pour que les composantes sinusoïdales parasites les plus gênantes sur le signal  $V_{ol}$  soient rejetées d'au moins 20dB ?

**Le signal modulant de détresse**

On s'intéresse dans cette partie à la génération du signal modulant utilisé lors du déclenchement de la balise. Il s'agit d'un signal audio dont la fréquence varie entre 300Hz et 1600Hz au rythme d'une rampe de période 400ms. Le son émis est caractéristique d'un signal de détresse et s'apparente à celui d'une sirène. Le schéma synoptique et les chronogrammes représentés ci-contre illustrent le principe de la génération du signal modulant.

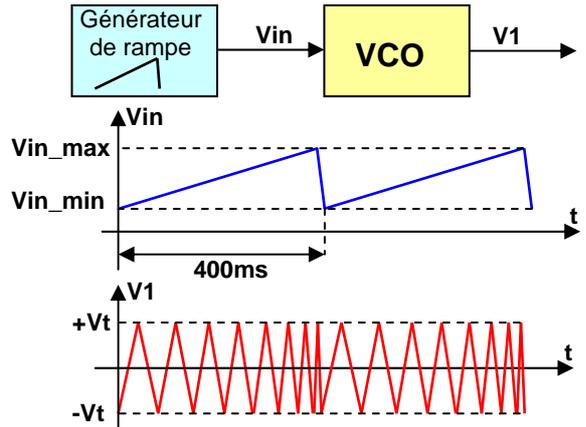


Figure 2 : Principe de génération du signal  $V_1$

Le schéma du VCO est représenté sur la figure 3 dans lequel on utilise un amplificateur opérationnel (IC1), un comparateur (IC2) et un interrupteur commandé (SW). Lorsque  $V_2 = +V_{cc}$  on considère que l'interrupteur est fermé et lorsque  $V_2 = -V_{cc}$  l'interrupteur est ouvert.  $V_{in}$  est une tension que l'on considère comme continue (ou très lentement variable) et positive qui représente l'entrée de commande du VCO. On fixe  $V_{cc} = 5V$ .

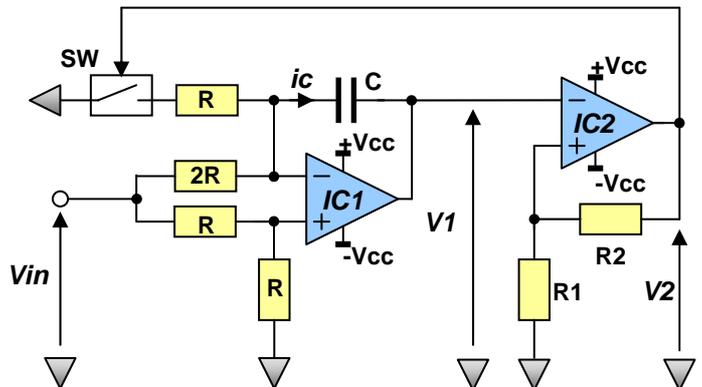


Figure 3 : Schéma du VCO

**Q10 :** Représenter la caractéristique de transfert du montage comparateur. On donne  $R_1 = 30k\Omega$  et  $R_2 = 120k\Omega$ .

**Q11 :** Exprimer  $i_c$  en fonction de  $V_{in}$  et  $R$  pour les 2 cas  $V_2 = +V_{cc}$  et  $V_2 = -V_{cc}$ . Montrer alors le condensateur  $C$  se charge à courant constant.

**Q12 :** à  $t = 0$ , on considère que le condensateur  $C$  est déchargé et que la tension  $V_2$  à la sortie du trigger est égale à  $+V_{cc}$ . On fixe dans un premier temps  $V_{in} = 1V$ . Représenter alors l'allure des signaux  $V_1$  et  $V_2$  au cours du temps.

**Q13 :** Exprimer la fréquence des oscillations en fonction des éléments du montage. Montrer que ce montage réalise bien la fonction VCO.

**Q14 :** On donne  $R = 15k\Omega$  et  $C = 10nF$ . En déduire les valeurs de  $V_{in\_max}$  et  $V_{in\_min}$  afin de répondre au cahier des charges.

**Q15 :** Proposer un montage permettant de générer le signal de rampe  $V_{in}$ . On fixe un rapport cyclique de 95%. Proposer une simulation LTSpice de ce montage afin de vérifier son dimensionnement.