

Présentation :

Dans la première partie de ce TP on vous propose de mettre en œuvre le générateur RF N9310 ou SM300 afin de générer un signal modulé en fréquence que l'on analysera d'un point de vue temporel et fréquentiel avec l'analyseur de spectre à balayage N9320.

Dans la seconde partie de ce TP on s'intéresse tour à tour aux éléments participant à une transmission en modulation de fréquence. La fréquence porteuse retenue ici se situe autour de 100kHz pour simplifier la mise en œuvre.

Quelques rappels sur la modulation de fréquence :

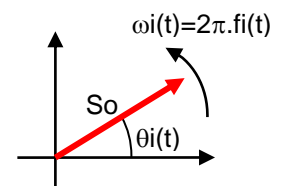
Si l'on considère une information à transmettre ou un signal modulant $V_{mod}(t)$, alors la fréquence instantanée f_i du signal modulé correspondant peut s'écrire : $f_i = f_0 + K_F \cdot V_{mod}$

Il s'agit d'une relation linéaire dans laquelle K_F représente un gain de conversion exprimé en Hz/V.

D'une manière générale un signal $S(t)$ modulé angulairement s'exprime sous la forme : $S(t) = \cos(\theta_i(t))$ où θ_i représente la phase instantanée.

Comme il existe un lien évident entre phase et fréquence instantanée :

$\omega_i = \frac{d\theta_i}{dt} = 2\pi f_i$ on peut facilement exprimer le signal modulé en fréquence sous la



$$S(t) = S_0 \cdot \cos\left(2\pi f_0 t + 2\pi K_F \int_0^t V_{mod}(u) du\right)$$

Pour le cas particulier (important) où le signal modulant est un signal sinusoïdal tel que : $V_{mod} = V_a \cdot \cos(2\pi \cdot f_a \cdot t)$ alors l'expression du signal S modulé en fréquence peut s'écrire :

$$S(t) = S_0 \cdot \cos\left(2\pi f_0 t + \frac{K_F \cdot V_a}{f_a} \sin(2\pi f_a t)\right) = S_0 \cdot \cos(2\pi f_0 t + m \cdot \sin(2\pi f_a t))$$

Dans cette expression, la quantité m représente l'indice de modulation et $K_F V_a$ représente l'excursion en fréquence ΔF . La figure 1 ci-dessous illustre le principe de cette modulation.

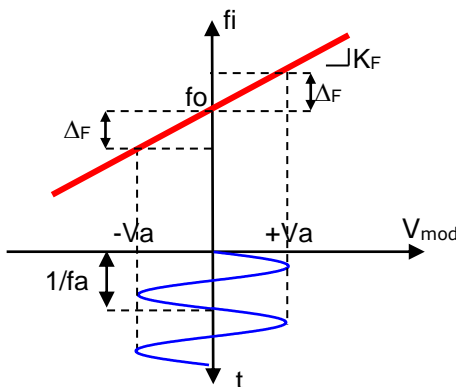


Figure 1 : Principe de la modulation FM

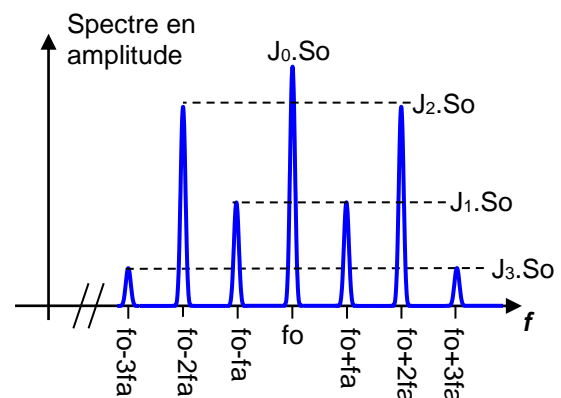


Figure 2 : Spectre d'un signal modulé FM

La représentation temporelle d'un signal modulé en fréquence ne fournit que très peu d'indications mis à part le fait que l'enveloppe est constante et égale à S_0 . Le spectre d'un signal modulé FM est bien plus caractéristique et peut être tracé en utilisant les fonctions de Bessel de 1^{ère} espèce dépendant directement de la valeur de m (Voir Fiche pratique Fonctions de Bessel). La figure 2 ci-dessus donne le spectre d'un signal modulé FM dans le cas d'un signal sinusoïdal modulant de fréquence f_a . Bien que ce spectre occupe une bande passante en théorie infinie il faut savoir que 98% de la puissance du signal est concentré dans une bande B_c appelée Bande de Carson autour de f_0 telle que : $B_c = 2 \cdot (m + 1) \cdot f_a = 2(\Delta F + f_a)$

A : Caractérisation d'un signal modulé FM

Pour effectuer la génération des signaux modulés on utilise le générateur RF Agilent N9310a ou le générateur SM300 représentés sur les photos ci-contre. Ces générateurs permettent d'obtenir des signaux modulés FM pour des fréquences porteuses comprises entre 9kHz et 3GHz.



Générateur N9310a



Générateur SM300

□ Régler les paramètres du générateur afin d'obtenir une modulation de fréquence dont les paramètres sont les suivants :

Fréquence porteuse : $f_p = 2,3\text{MHz}$

Amplitude du signal modulé : 10dBm

Fréquence du modulant (sinusoïdal) : $f_a = 10\text{kHz}$

Indice de modulation : $m = 2,4$

□ Observer le signal modulé sur l'oscilloscope en fixant l'impédance d'entrée à 50Ω (Bouchon + Té avec l'oscilloscope TDS2014). La modulation est-elle visible ? Justifier l'amplitude du signal modulé.

□ On connecte maintenant le signal modulé sur l'analyseur de spectre RF. Compte tenu des paramètres de la modulation, que doit-on choisir pour le Center Frequency ? A quoi correspond le SPAN sur un analyseur de spectre et comment doit-on le choisir dans notre cas ?



Analyseur N9320B

□ Effectuer les réglages de l'analyseur de spectre N9320B afin d'obtenir le spectre caractéristique du signal modulé FM précédent. On conserve une échelle de niveau logarithmique pour les amplitudes. Justifier le résultat obtenu et justifier notamment le niveau des composantes fréquentielles qui se trouvent à $f_p + f_a$ & $f_p + 2f_a$.

□ Effectuer la même analyse en optant pour une échelle de niveau linéaire. Vérifier alors simplement le concept de la bande de Carson.

B : Transmission en modulation de fréquence

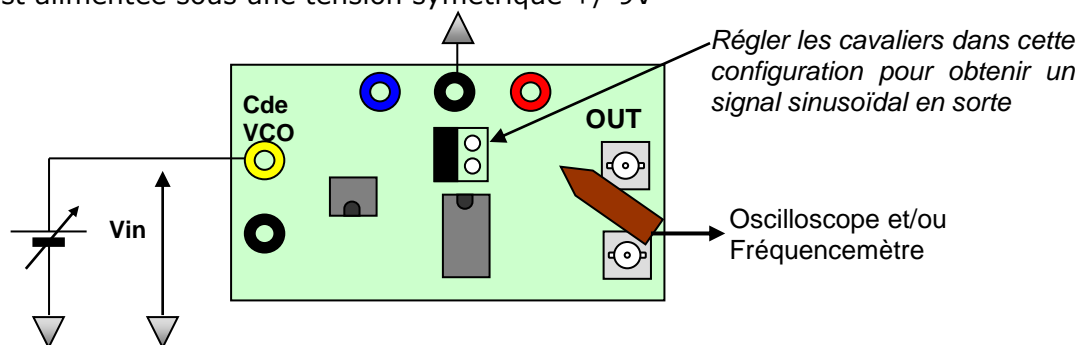
B1 : Mise en œuvre d'un modulateur de fréquence

Le modulateur de fréquence est réalisé à partir de la maquette didactique VCO Sinus mettant en œuvre un circuit spécialisé qui est un générateur de fonctions intégré délivrant un signal sinusoïdal sur la sortie OUT. La fréquence de ce signal est une fonction de la tension de commande VCde et permet donc de réaliser une fonction VCO.

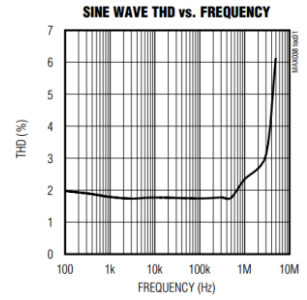
On donne les valeurs des composants suivants :

$R_1 = 10\text{k}\Omega$, $R_2 = 6,8\text{k}\Omega$, $C_{osc} = 2,2\text{nF}$, et $R_{osc} = 13\text{k}\Omega$

La maquette est alimentée sous une tension symétrique $\pm 9\text{V}$



❑ Pour $V_{in} = 0$, relever la fréquence centrale F_0 du signal sur la sortie OUT ainsi que son amplitude. Proposer une mesure du taux de distorsion harmonique en utilisant l'analyseur FFT de l'oscilloscope TDS2014 et vérifier que celui est conforme aux spécifications données sur la caractéristique ci-contre.



❑ Pour V_{in} variant de **-2 Volts à +2 Volts** par pas de 0,4V, tracer la caractéristique fréquence du signal OUT en fonction de V_{cde} et en déduire le gain de conversion K_F de ce VCO.

On souhaite utiliser le VCO comme modulateur de fréquence et on connecte donc un signal sinusoïdal qui joue le rôle de signal modulant sur l'entrée de la carte VCO. On choisit une fréquence pour le signal modulant de 5kHz.

A partir du relevé de la caractéristique du VCO mesuré précédemment, prévoir l'amplitude du signal modulant sinusoïdal pour obtenir une modulation de fréquence centrée sur F_0 avec :

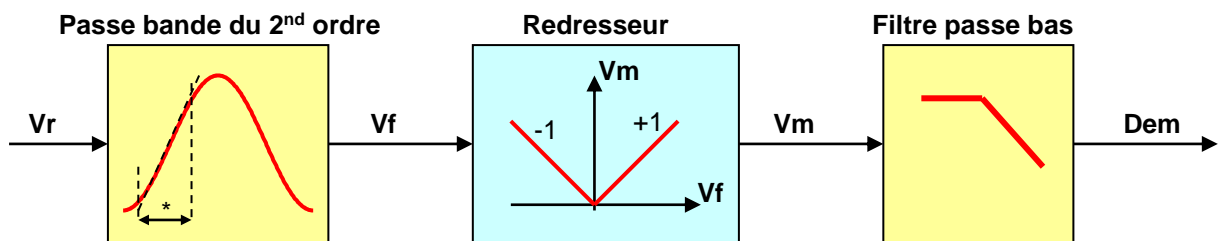
- a) un indice de modulation $m = 2,4$
- b) un indice de modulation $m = 3,83$

❑ Pour les 2 cas précédents, régler l'indice de modulation en agissant sur l'amplitude du signal modulant à partir des observations effectuées sur l'analyse fréquentielle (Vous utiliserez l'analyseur de spectre FFT en respectant les conditions nécessaires liées à la fréquence d'échantillonnage en prenant en compte les problèmes liés à la distorsion harmonique). Obtenez-vous les mêmes valeurs d'amplitude que dans vos calculs de préparation ?

❑ Relever les spectres correspondants en indiquant le mode opératoire mis en œuvre pour obtenir ces représentations.

B2 : Démodulation de fréquence : Conversion fréquence/amplitude

Il existe plusieurs techniques permettant d'effectuer une démodulation de fréquence. Nous vous proposons de mettre en œuvre une conversion de type fréquence-amplitude. Le schéma synoptique du démodulateur est représenté sur la figure suivante.

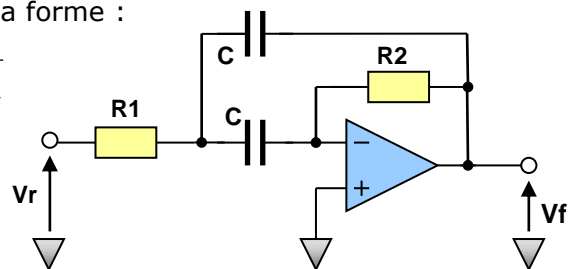


(*) Partie quasi linéaire

On propose le schéma suivant (cellule de Rauch) pour la réalisation du filtre passe bande. La fonction de transfert de ce montage peut se mettre sous la forme :

$$\frac{V_f(j\omega)}{V_r(j\omega)} = T_0 \cdot \frac{\frac{j\omega}{Q \cdot \omega_0}}{1 + \frac{j\omega}{Q \cdot \omega_0} + \left(\frac{j\omega}{\omega_0}\right)^2} \text{ avec } \omega_0 = \frac{1}{C \cdot \sqrt{R_1 \cdot R_2}} \quad Q = \frac{1}{2} \cdot \sqrt{\frac{R_2}{R_1}}$$

et $T_0 = \frac{-R_2}{2 \cdot R_1}$ On fixe $C = 270 \text{ pF}$, $R_1 = 1.5 \text{ k}\Omega$ et $R_2 = 12 \text{ k}\Omega$



❑ Calculer les valeurs de Q , f_0 et T_0 .

❑ Pour la mise en œuvre pratique de la maquette comportant 6 mini-modules, on alimente celle-ci sous une tension symétrique $\pm 12\text{V}$.

❑ Relever le module de la fonction de transfert $\left| \frac{V_f(jf)}{V_r(jf)} \right|$ en fonction de la fréquence pour f évoluant entre 70kHz et 140kHz. Tracer le résultat sur un papier millimétré.

❑ A partir de votre relevé, montrer qu'il existe une zone quasi linéaire dont vous déterminerez la position centrale (f_p) et l'étendue en fréquence ($2\Delta f$).

❑ Connecter sur l'entrée du filtre passe bande un signal modulé en fréquence délivré par le générateur AFG3022 avec les caractéristiques suivantes :

Fréquence porteuse : f_p (entre 90kHz & 100kHz)

Amplitude du signal modulé : 2pp

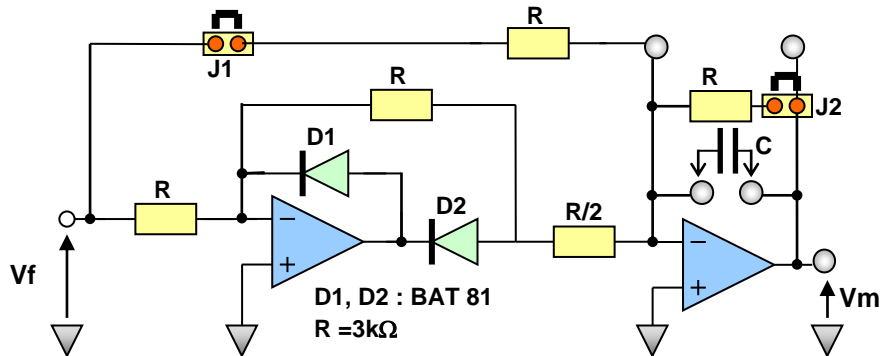
Signal modulant sinusoïdal de fréquence 1kHz.

Déviaton en fréquence : Δf (de l'ordre de 20kHz)

❑ Relever le signal de sortie et justifier le résultat obtenu notamment au niveau des variations de l'amplitude en utilisant la réponse fréquentielle du filtre.



❑ Expliquer la présence d'un dispositif de type redressement filtrage à la sortie du filtre passe bande. Pour la mise en œuvre de ce dispositif on vous propose le montage ci dessous :



❑ Dans un premier temps on choisit un filtre passe bas du 1^{er} ordre. En sachant que $R=3k\Omega$ on fixe $C=10nF$. En déduire la bande passante du signal modulant.

❑ Connecter sur l'entrée du redresseur, la sortie du filtre passe bande précédent en conservant le signal modulé en fréquence délivré par le générateur AFG3022.

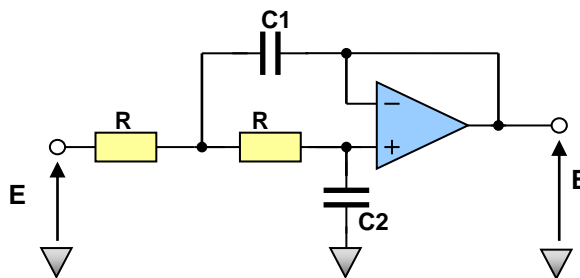
❑ Relever le signal de sortie et justifier le résultat obtenu (forme et amplitude).

❑ Changer la forme et la fréquence du signal modulant et observer le résultat.

❑ Afin de diminuer de façon considérable les composantes résiduelles on peut connecter à la sortie du montage redresseur un filtre passe bas du 2nd ordre en utilisant la structure de Sallen & Key mis à votre disposition. On rappelle le schéma de cette structure avec les résultats correspondants.

$$T(j\omega) = \frac{1}{1 + 2m \frac{j\omega}{\omega_0} + \left(\frac{j\omega}{\omega_0}\right)^2}$$

$$\omega_0 = \frac{1}{R \cdot \sqrt{C1 \cdot C2}} \text{ et } m = \sqrt{\frac{C2}{C1}}$$



❑ En conservant le condensateur C à la sortie du redresseur double alternance, l'utilisation de ce filtre supplémentaire permet alors la réalisation d'un filtre de Butterworth d'ordre 3 dont la fréquence de coupure est de 5,3kHz.

Vérifier que les valeurs suivantes correspondent au bon dimensionnement :

$R=18k\Omega$ $C2=820pF$ et $C1=3,3nF$

❑ Illustrer le fonctionnement de votre démodulateur en utilisant un signal modulant réel et en utilisant l'amplificateur audio disponible sur la maquette (Voir les consignes de votre enseignant).