



TP3. MODULATION DE FREQUENCE

Logiciel de simulation LTSpice à télécharger et installer via l'adresse :
<https://www.analog.com/en/design-center/design-tools-and-calculators/ltspice-simulator.html#>

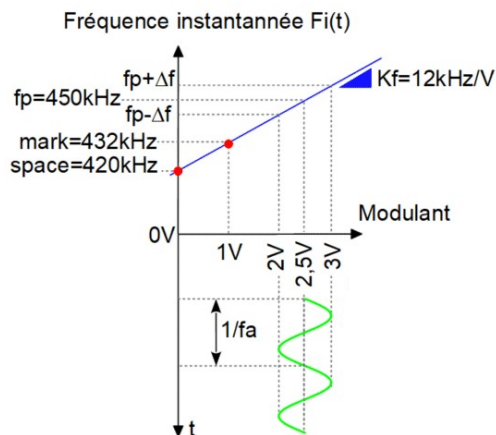
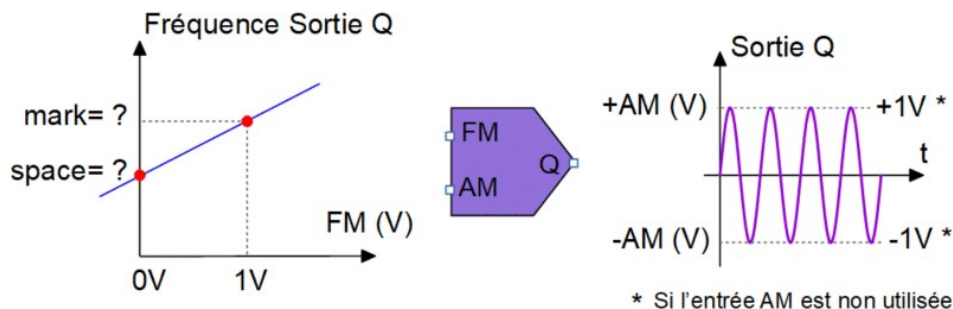
Modulation de Fréquence

Mise en œuvre d'un modulateur FM

Lorsque l'on souhaite créer un signal modulé FM il convient d'utiliser un oscillateur contrôlé en tension (ou VCO : Voltage Controlled Oscillator). Cette fonction est disponible en utilisant le composant modulateur qui permet d'obtenir un VCO dont la caractéristique de transfert est configurable à souhait.

En effet pour définir cette caractéristique il suffit simplement d'indiquer dans le champ value de ce composant les valeurs de 2 quantités space et mark qui correspondent respectivement aux fréquences en sortie du VCO pour des tensions de commandes sur l'entrée FM de 0V et 1V. Bien évidemment il n'est pas obligatoire d'utiliser le VCO entre ces 2 tensions ou ces 2 fréquences. Comme la caractéristique de transfert du VCO est une droite il s'agit simplement de fixer ici ses propriétés de telle sorte que $F = \text{space} + V(\text{entrée FM}) * (\text{mark} - \text{space})$.

Sur la sortie Q du VCO on obtient un signal sinusoïdal dont l'amplitude est fixée par le niveau appliquée sur l'entrée AM. Si l'on ne fixe aucune amplitude on obtient par défaut une amplitude crête de 1V en sortie. La figure ci-dessous illustre l'ensemble de ces explications.



On vous propose de mettre en œuvre une modulation de fréquence autour de la fréquence porteuse $f_p = 450\text{kHz}$ avec une déviation de fréquence $\Delta f = 6\text{kHz}$ et l'on choisit un modulant

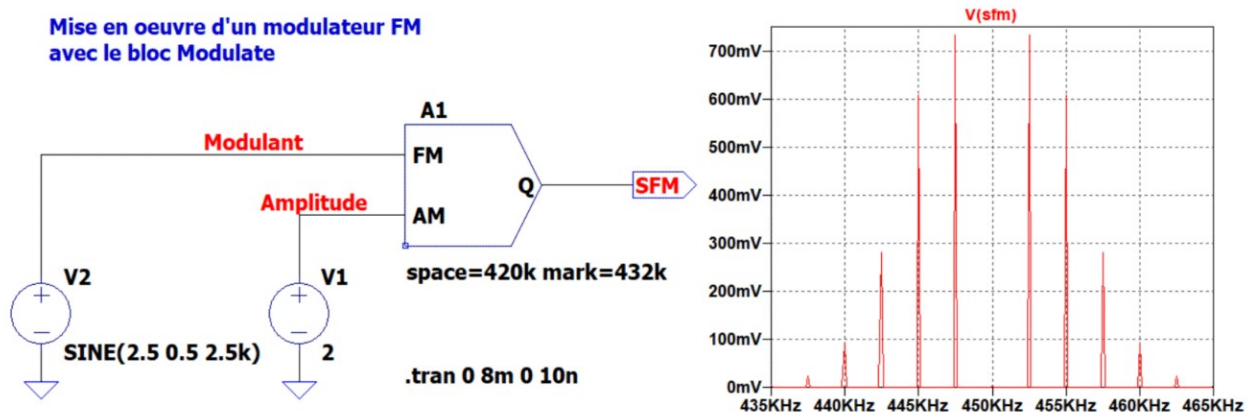
sinusoïdal.

On impose par ailleurs une caractéristique de transfert du modulateur FM (VCO) avec $\text{space}=420\text{kHz}$ et $\text{mark}=432\text{kHz}$ ce qui donne un gain de conversion du VCO de 12kHz/V .

Pour obtenir cette modulation il est donc nécessaire d'appliquer sur l'entrée du modulateur :

- Un signal sinusoïdal d'amplitude crête $0,5\text{V}$ qui donne une déviation = $0,5\text{V} \cdot 12\text{kHz/V} = 6\text{kHz}$
- Un offset de $2,5\text{V}$ pour fixer la fréquence porteuse à $450\text{kHz} = 2,5\text{V} \cdot 12\text{kHz/V} + 420\text{kHz}$

La figure proposée ci-contre résume les réglages à effectuer.



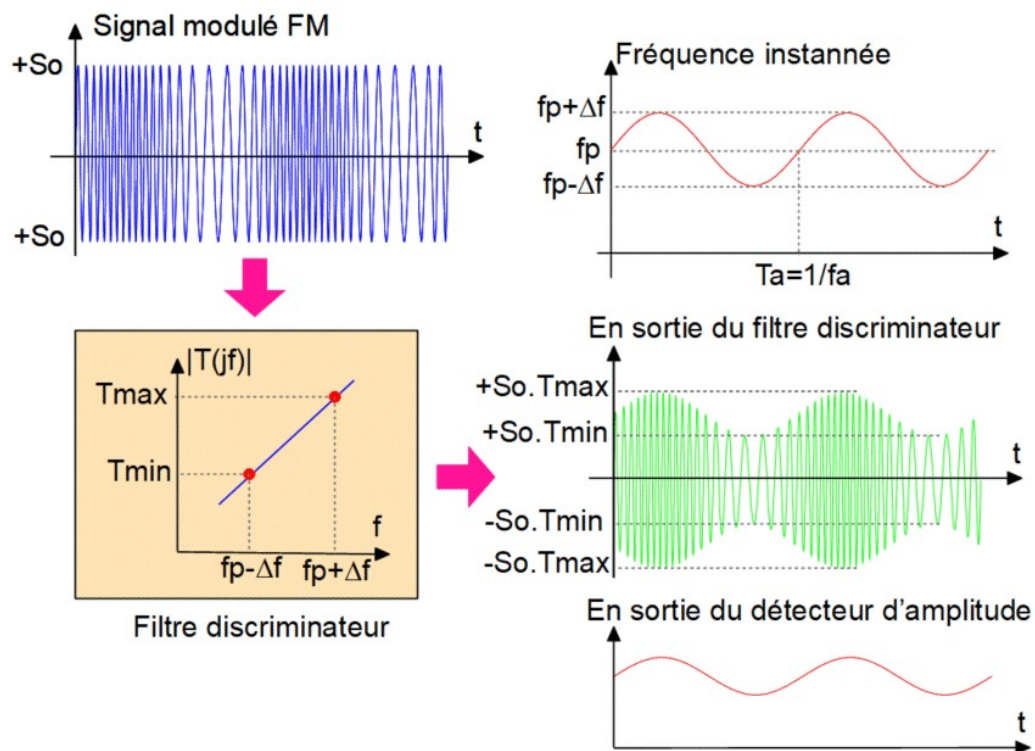
Si l'on fixe la fréquence du signal modulant à $f_a=2,5\text{kHz}$ on obtient un indice de modulation $m=\Delta f/f_a=6\text{kHz}/2,5\text{kHz}=2,4$. Cet indice de modulation correspond au cas du faux porteur c'est-à-dire que le spectre du signal modulé FM met clairement en évidence l'absence de raie à la fréquence porteuse car $J_0(m=2,4)=0$.

En effectuant la simulation de cette modulation et l'analyse FFT du signal modulé on obtient le résultat suivant qui confirme le bon réglage du modulateur.

Si l'on souhaite justifier l'amplitude des composantes fréquentielles il suffit simplement de se souvenir que l'analyse FFT dans sa représentation linéaire en amplitude affiche une valeur efficace. Ainsi pour les composantes en $f_p \pm f_a$ l'amplitude est $J_1(m=2,4) \cdot S_o / \sqrt{2}$ avec $J_1(m=2,4)=0,52$ et $S_o=2\text{V}$ (Amplitude réglée sur l'entrée AM). Ce calcul nous donne 735mV ce qui correspond bien à l'affichage proposé.

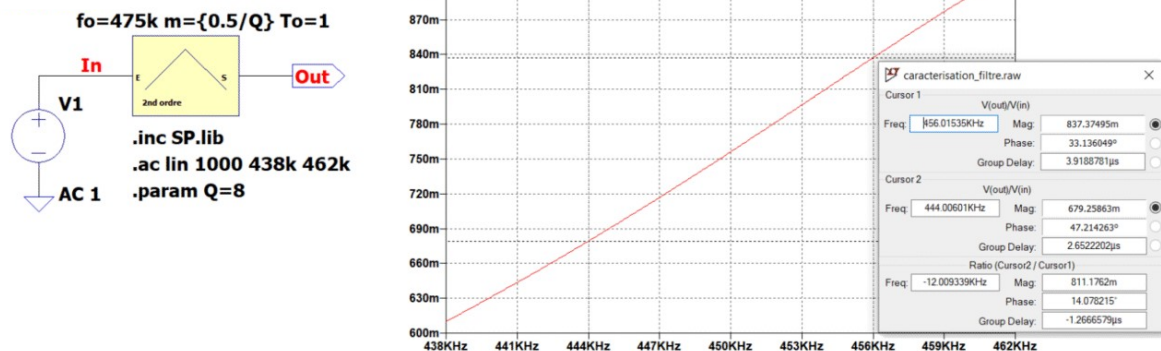
Mise en œuvre d'un démodulateur FM

Le principe que l'on propose de mettre en œuvre pour illustrer la démodulation FM est celui représenté sur la figure suivante. Le signal modulé FM est appliqué en entrée d'un filtre qui présente une fonction de transfert telle que son module est linéaire entre les fréquences $f_p - \Delta f$ et $f_p + \Delta f$ et évolue entre 2 valeurs T_{min} & T_{max} . En sortie du filtre on obtient alors un signal toujours modulé en fréquence mais également en amplitude et les variations sont synchrones avec celles de la fréquence instantanée. Il suffit simplement de mettre en œuvre un détecteur d'amplitude (un détecteur de crête par exemple) pour récupérer l'image du signal modulant.



Dans un premier temps on vous propose de caractériser un filtre passe bande du 2nd ordre judicieusement choisie et présentant localement une variation linéaire du module en fonction de la fréquence comme le montre la simulation suivante :

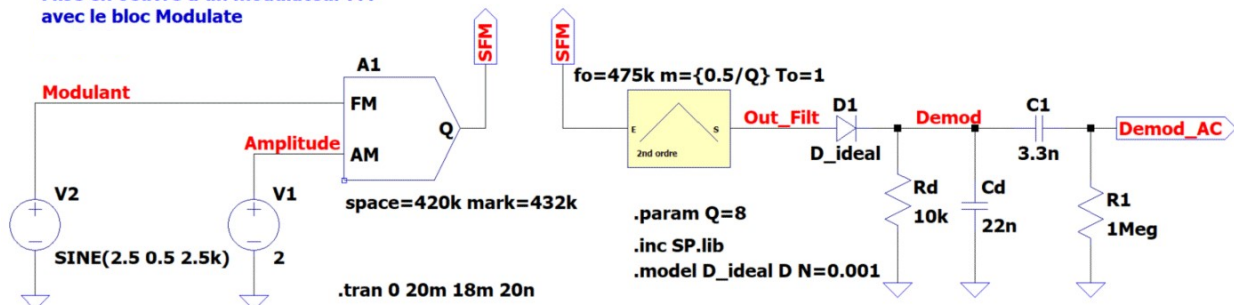
Caractérisation du filtre passe bande utilisé pour la démodulation de fréquence



On note clairement un module $T_{max}=0,837$ pour la fréquence $f_p+\Delta f=456\text{kHz}$ et un module $T_{min}=0,679$ pour la fréquence $f_p-\Delta f=444\text{kHz}$.

On peut alors mettre en œuvre l'ensemble de la transmission afin d'illustrer simplement le fonctionnement du démodulateur. On utilise un modèle de diode sans seuil pour faciliter l'analyse du détecteur de crête. Un filtre passe haut en sortie permet de supprimer la composante continue et permettre la récupération de la composante AC du signal démodulé.

Mise en œuvre d'un modulateur FM avec le bloc Modulate



On retrouve ci-dessous les chronogrammes en différents point de cette transmission FM. En sortie du filtre discriminateur on retrouve bien les variations d'amplitudes correspond aux variations du module en fonction de la fréquence. On retrouve bien une amplitude max correspondant à $T_{max} \cdot S_o = 1,674\text{V}$ & une amplitude min correspondant à $T_{min} \cdot S_o = 1,358\text{V}$.

