

Après une première étape de familiarisation avec **COMMSIM7** et l'analyse spectrale des signaux AM et FM, on se propose d'étudier un problème de démodulation et de concevoir un récepteur pour des signaux modulés en fréquence.

Les élèves doivent préparer d'avance la séance de TP en répondant aux questions marquées d'un *. Ce travail préliminaire doit être rédigé et remis aux enseignants au début de la séance.

L'ensemble des travaux réalisés dans le cadre de ce TP doit être déposé sur campus.efrei.fr dans le format .doc ou .odt à la date indiquée dans l'espace réservé à cette activité. L'évaluation des élèves tiendra compte de leur effort de rédaction, de la qualité de présentation des résultats numériques et de leurs raisonnements.

I. CHRONOGRAMMES ET SPECTRES SOUS COMMSIM7

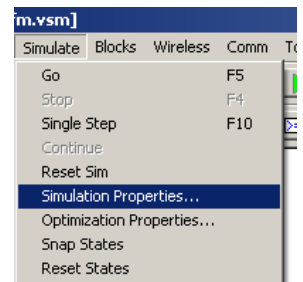
PARAMETRAGE TEMPOREL

Ouvrir une fenêtre de travail sous **COMMSIM7** et saisir un générateur de signal carré de fréquence 1kHz.

1 pt

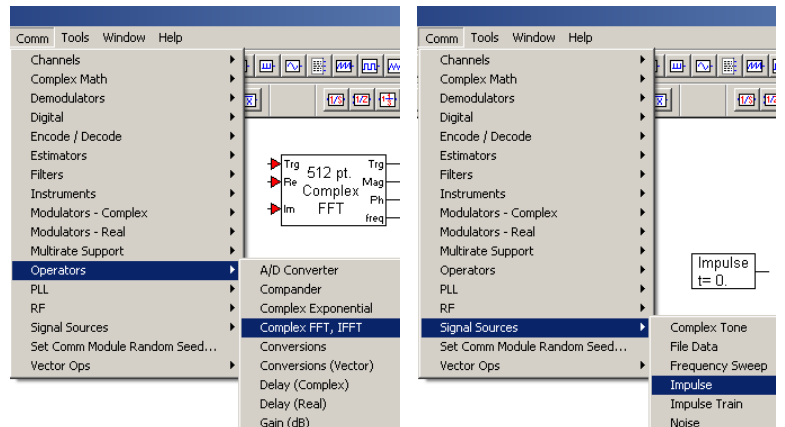
Q1. Observer ce signal au moyen du traceur de **COMMSIM7** (icône **Plot**) après avoir paramétré cette simulation comme suit :

- **Simulate/Simulation Properties :**
Start (sec)=0 Time Time Step=1e-006 Seconds End (sec)=0,3
- Justifier qualitativement ces valeurs en considérant la fréquence du signal à observer.
- Optimiser les graduations de la fenêtre graphique de manière à observer 2 périodes de ce signal.



2 pts

Q2. Le spectre d'un signal sous **COMMSIM7** est calculé par l'application d'un algorithme de transformation rapide de Fourier. Ce calcul qui nécessite l'évaluation d'une somme sur le temps doit être déclenché au moyen d'une impulsion pour marquer l'instant du premier terme de cette somme.



- Calculer le spectre de ce signal sur $128 \cdot 10^3$ points en suivant le protocole décrit en annexe.
- Justifier **qualitativement** le choix de cette valeur en considérant la durée de l'observation et la période d'échantillonnage du signal.
- Optimiser les graduations de la fenêtre graphique de manière à pouvoir observer le spectre de ce signal sur $[-10000\text{Hz}, 10000\text{Hz}]$. Commenter cette observation.

I. ANALYSE SPECTRALE DES SIGNAUX AM ET FM

MODULATION D'AMPLITUDE

Le modulateur AM de **COMMSIM7** permet la modulation d'amplitude à porteuse conservée. En appelant $x(t)$, le message modulant, ce signal peut s'exprimer comme suit :

$$y_{AM}(t) = A \cdot [1 + m \cdot x(t)] \cdot \cos(\omega_p \cdot t) \quad \text{avec :}$$

m , désignant l'indice de modulation et $f_p = \frac{\omega_p}{2\pi}$, la porteuse.

1 pt

Q3*. Questions théoriques

- Tracer le schéma fonctionnel d'un modulateur AM en optimisant le nombre de blocs élémentaires.
- Décomposer $y_{AM}(t)$ en série de Fourier pour un message $x(t)$ sinusoïdal de la forme $x(t) = \cos(\omega_M t)$.

1 pt

Q4. Saisir une source AM d'amplitude 1V. Fixer la porteuse f_p à 1kHz, et prendre un message sinusoïdal de fréquence $f_M = 100\text{Hz}$. Observer et relever le signal modulé pour un indice de modulation égale à 1.

2 pts

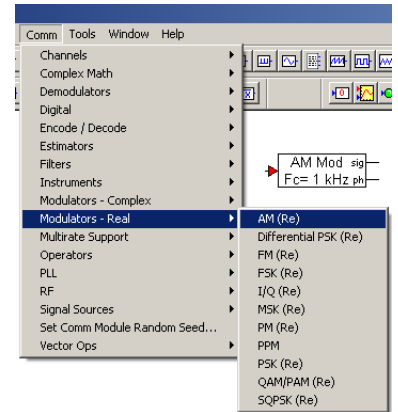
Q5. Procéder à l'analyse spectrale de la source AM.

- Relever le spectre du signal modulé sur la bande [500 ; 1500Hz] :
- Commenter cette observation en raisonnant sur le développement en série de Fourier du signal AM.

1 pt

Q6. Réaliser la même expérience avec un indice de modulation $m = 0,1$.

- Quel est l'influence de l'indice m sur la largeur de la bande de fréquence occupée par le signal AM ?



MODULATION DE FREQUENCE

Le modulateur FM de **COMMSIM7** permet la génération d'un signal modulé en fréquence dont l'indice de modulation β peut être paramétré par une déviation (sensibilité) en fréquence (FM deviation [Hz/V]) que nous désignerons par λ . Ce signal FM peut s'exprimer ainsi :

$$y_{FM}(t) = A \cdot \cos[\theta(t)]$$

Sa pulsation instantanée et son angle $\theta(t) = \omega_p t + \phi(t)$ sont reliés à l'information $x(t)$ comme suit :

$$\omega(t) = \frac{d\theta(t)}{dt} = \frac{d}{dt} [\omega_p t + \phi(t)] = \omega_p + \frac{d\phi(t)}{dt}$$

$$\Rightarrow f(t) = \frac{\omega(t)}{2\pi} = f_p + \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{d\phi(t)}{dt} = f_p + \lambda \cdot x(t)$$

L'excursion en fréquence $\Delta f(t) = f(t) - f_p = \lambda \cdot x(t)$ autour de la porteuse peut techniquement être réalisée par un oscillateur commandé en tension et son amplitude Δf_{MAX} détermine l'indice de modulation β comme suit :

$$\beta = \frac{\Delta f_{MAX}}{f_M} = \frac{\lambda \cdot x_{MAX}}{f_M}$$

2,5 pts

Q7*. Considérons le cas d'un message $x(t)$ sinusoïdal de la forme $x(t) = \cos(\omega_M t)$.

- Montrer que la phase instantanée du signal FM devient : $\phi(t) = \beta \cdot \sin(\omega_M t)$.
- Décomposer $y_{FM}(t)$ en série de Fourier (se limiter à l'ordre 4) en faisant appel aux fonctions de Bessel de première espèce.
- Rappeler les valeurs de $J(\beta)$ pour $\beta = 2, 1$ et $0,25$. (cf. TD n°2)

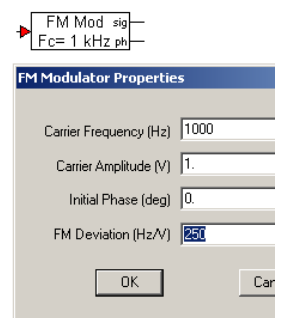
2 pts

Q8. Générer sous **COMMSIM7** une source FM à 1kHz et la moduler avec un message sinusoïdal d'amplitude 1V à $f_M = 100\text{Hz}$. Relever le spectre du signal FM pour $\beta = 2 ; 1$ et $0,25$.

- Quel est l'influence de l'indice β sur la largeur de la bande de fréquence occupée par le signal FM ?
- Relever soigneusement l'amplitude des raies spectrales pour $\beta = 2, 1$ et $0,25$. Justifier ces résultats.

1,5 pts

Q9. Représenter la bande de Carson sur chaque spectre $B = 2 \cdot (\beta + 1) \cdot f_M$. A partir de quelle valeur de β peut-on parler de modulation de fréquence en bande étroite (NBFM). Comparer les signaux AM et FM en fonction de leur indice de modulation.



II. DEMODULATION DES SIGNAUX AM ET FM

DEMODULATION D'AMPLITUDE

Nous nous intéressons ici à la technique de démodulation synchrone (ou cohérente).

2 pts

Q10*. Montrer alors qu'un récepteur en possession d'un oscillateur en phase avec la porteuse peut réaliser l'opération de démodulation au moyen de fonctions électroniques élémentaires. Déterminer les fréquences de coupures d'éventuels filtres nécessaires à cette opération.

DEMODULATION DE FREQUENCE EN BANDE ETROITE

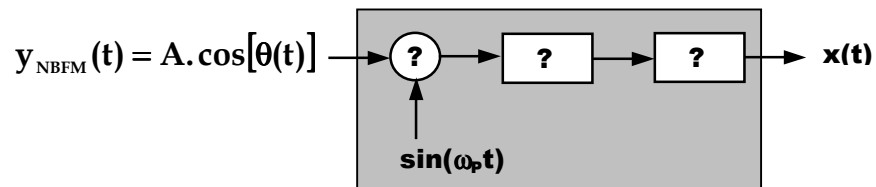
La modulation de fréquence n'est pas une opération linéaire et la détection devient par conséquent plus difficile dans le cas général des signaux FM. Par soucis de simplicité nous limitons donc notre première approche aux signaux FM en **bande étroite** (NBFM : Narrow Band Frequency Modulation).

Cette simplification nous permet de nous inspirer de la technique de démodulation synchrone (ou cohérente) que nous maîtrisons en démodulation d'amplitude.

2 pts

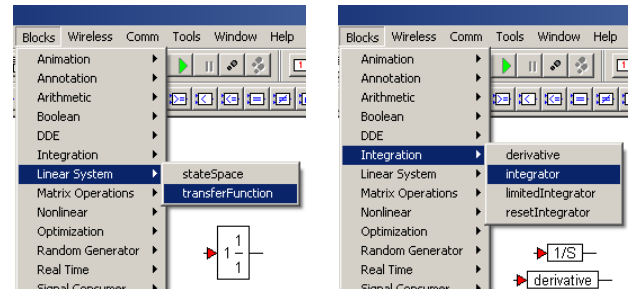
Q11*. Développer l'expression de $y_{\text{NBFM}}(t) = A \cdot \cos[\omega_p t + \phi(t)]$ et montrer que l'approximation d'une modulation en bande étroite ($\phi(t) \ll 1$), permet de ramener l'expression d'un signal FM à celle d'un signal AM avec porteuse conservée. (NB : $\phi(t) \ll 1$ Alors $\sin(\phi(t)) = \phi(t)$; et $\cos(\phi(t)) = 1$)

- Expliciter $\phi(t)$ en fonction de $x(t)$. (cf. modulation de fréquence).
- Montrer alors qu'un récepteur en possession d'un oscillateur en phase avec la porteuse peut réaliser l'opération de démodulation au moyen de fonctions électroniques élémentaires. Déterminer les fréquences de coupures d'éventuels filtres nécessaires à cette opération.
- Compléter le schéma fonctionnel du récepteur NBFM tel que représenté ci dessous.



2 pts

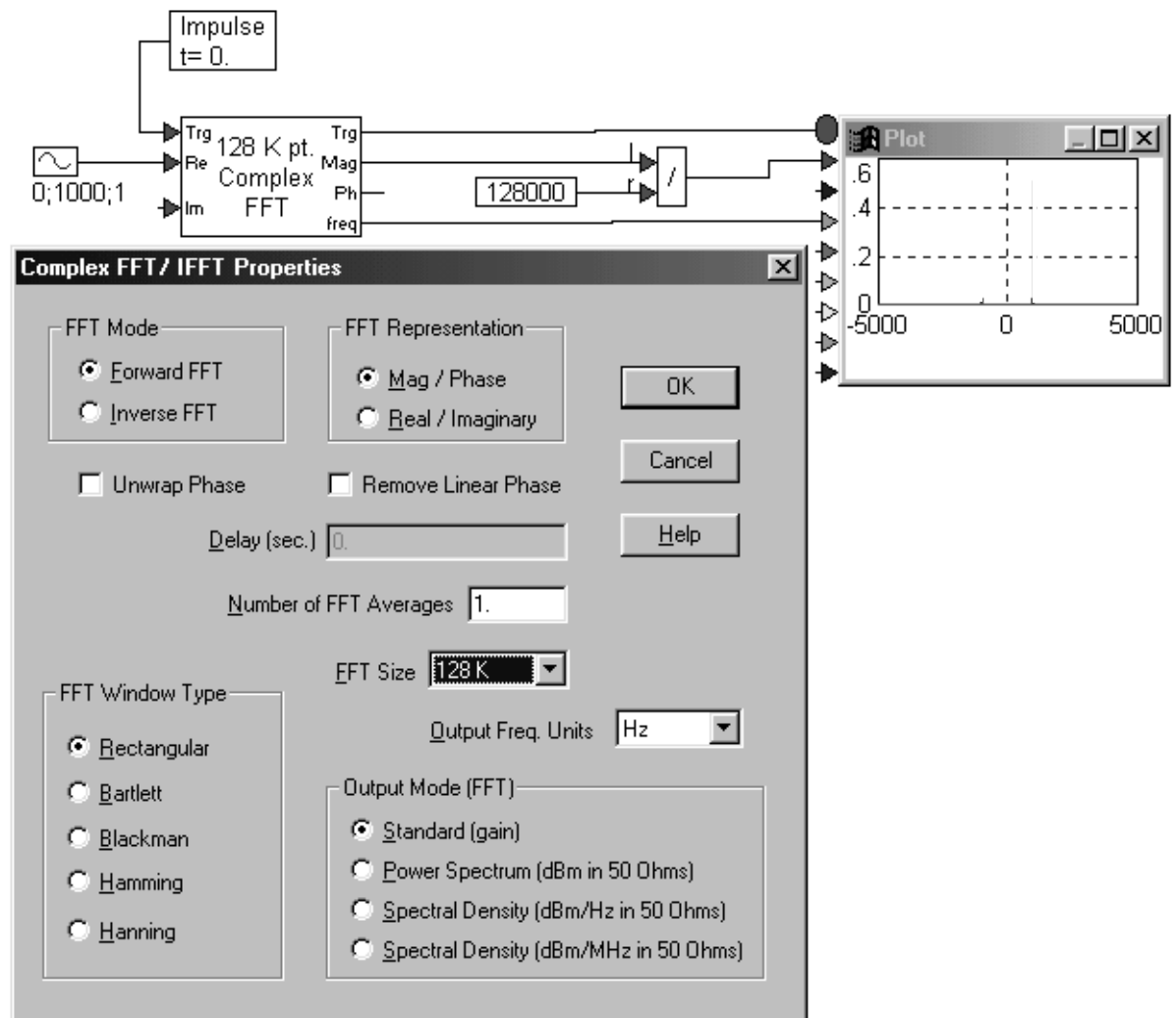
Q12. Pour les opérations de filtrage, **COMMSIM7** permet de générer la fonction de transfert d'un filtre par la simple saisie de son type, de son gain, de ses fréquences de coupure et de son ordre. Par ailleurs, d'autres fonctions électroniques telles que l'intégration ou la dérivation sont immédiatement accessibles sous le même onglet **Blocks**.



- Générer un signal FM en bande étroite avec un message sinusoïdal de fréquence $f_M = 100\text{Hz}$: Fixer la sensibilité du modulateur à $\lambda = 20\text{Hz/V}$. ($\beta = 0,2$).
- Saisir le schéma fonctionnel du récepteur en employant un filtre passe-bas de type Butterworth (polynomial IIR filter), d'ordre 5, et de fréquence de coupure $5f_M$.
- Relever le chronogramme ainsi que le spectre des signaux pertinents sur la bande $[-2500, +2500\text{ Hz}]$.
- Commentaires.

ANNEXE 1 : La transformation rapide de Fourier sous COMMSIM7

EXEMPLE :
Spectre d'une
sinusoïde de
fréquence 1kHz



**QUELQUES
LIENS
INTERESSANTS**

<http://fr.wikipedia.org/wiki/Trigonometrie>

<http://www.ta-formation.com/cours-fm/applet-fm/jav-fm.htm>

http://fr.wikipedia.org/wiki/Fonction_de_Bessel

