

Après une première étape de familiarisation avec COMMSIM7 en utilisant l'analyse temporelle des signaux AM (modulation d'amplitude) et FM (modulation de fréquence). On va étudier l'allure fréquentielle ou spectre ainsi qu'un problème de démodulation pour la conception d'un récepteur pour des signaux modulés en amplitude (AM) et en fréquence (FM).

L'évaluation des élèves est basée sur la vérification des manipulations en présence des enseignants.

Un travail bien fait doit comporter une approche théorique, un raisonnement et des résultats expérimentaux (courbes avec des axes significatifs, échelles.....).

Les élèves doivent bien lire le sujet et répondre aux questions posées.

Le travail fait doit être consigné quelques parts, car il servira pour répondre aux questions de l'examen de TP.

I. CHRONOGRAMMES ET SPECTRES SOUS COMMSIM7 (Introduction)

PARAMETRAGE TEMPOREL.

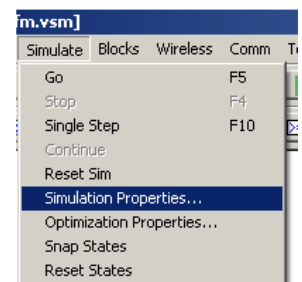
Ouvrir une fenêtre de travail sous **COMMSIM7** et saisir un générateur de signal carré fréquence 1kHz.

-) Lire la procédure d'utilisation d'une machine virtuelle 'Pour les salles C11 et C12 la VM se trouve dans : 'C:\VM'.

0. Observer un signal sinusoïdal d'amplitude 1V et de fréquence 100Hz au moyen du traceur (ou plotteur) de **COMMSIM7** (icône **Plot**)

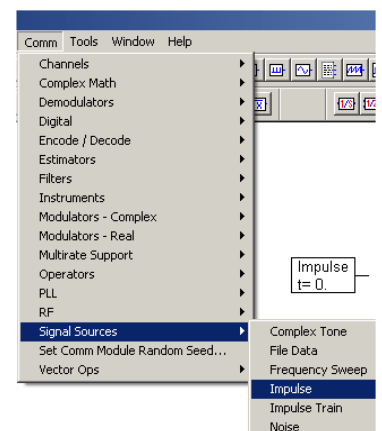
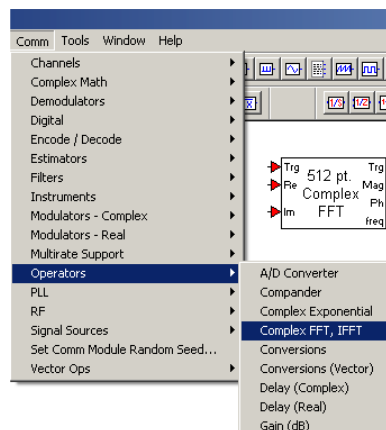
Après avoir paramétré cette simulation comme l'exemple qui suit :

- **Simulate/Simulation Properties :**
Start (sec) = 0 Time Step = 1e-006 Seconds End (sec) = 0,3s
- 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. (Clic droit sur la fenêtre graphique ou modification de 'Simulation Properties').



ALLURE SPECTRALE.

1. Le spectre d'un signal (représentation fréquentielle) sous **COMMSIM7** est calculé par l'application d'un algorithme de transformation rapide de Fourier (FFT). 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 ($t=0$).



- Tracer le spectre de ce signal sur $128 \cdot 10^3$ (128k) points en suivant le protocole **décrit ici et l'annexe1**
Pour réaliser le schéma. Mettre le 'End (sec) = 2s'
- Justifier qualitativement le choix de cette valeur (128k) en considérant la durée de l'observation et la période d'échantillonnage du signal.
- Se reporter à **l'annexe2** 'axis' et optimiser les graduations de la fenêtre graphique de manière à pouvoir observer le spectre de ce signal sur par exemple $[-1000\text{Hz}, 1000\text{Hz}]$.

Commenter cette observation

Vérification auprès d'un enseignant

MODULATION D'AMPLITUDE

2. Le modulateur AM de **COMMSIM7** permet la modulation d'amplitude à porteuse conservée (porteuse de la forme : $A\cos(\omega t)$). En appelant $x(t)$, le message modulant ou utile ou message, le signal modulé AM, peut s'exprimer comme suit :

$$y_{AM}(t) = A.[1 + mx(t)].\cos(\omega_p t)$$

Avec m : l'indice de modulation, $x(t)$ le signal modulant ou utile ou message et ω_p la pulsation de la porteuse ; d'où $f_p = \omega_p/2\pi$ sera la fréquence de la porteuse.

Montrer que le schéma fonctionnel d'un modulateur AM peut être réalisé par un multiplieur et un additionneur ou blocs élémentaires (x et +).

- Réaliser ce modulateur AM et simuler avec un message sinusoïdal. Observer l'allure temporelle du signal modulé. En utilisant $f_p = 1\text{kHz}$ $A = 2\text{v}$ et $f_m = 100\text{Hz}$, $A_m = 1\text{v}$ et un indice de modulation de 1 Remarque ?
- Linéariser $y_{AM}(t)$ et en déduire sa décomposition en série de Fourier pour un message $x(t)$ sinusoïdal : $x(t) = \cos(\omega_m t)$.
Rappel : $\cos(a+b) = \cos(a)\cos(b) - \sin(a)\sin(b)$ et $\cos(a-b) = \cos(a)\cos(b) + \sin(a)\sin(b)$.

3. Saisir une source AM d'amplitude 2V. Fixer la porteuse f_p à 1kHz, et prendre un message sinusoïdal de fréquence $f_m = 100\text{Hz}$.

- Observer l'allure temporelle et relever le signal modulé pour un indice de modulation égale à 1.
- Commenter cette observation en comparant ces résultats numériques aux résultats théoriques de 2.
- **Relever le spectre du signal modulé sur la bande [500 ; 1500Hz] :**
- Réaliser la même expérience avec un indice de modulation $m = 0,1$.
- Conclure sur l'influence de l'indice m sur le spectre et surtout sur la largeur de la bande d'un signal AM ?

Vérification auprès d'un enseignant.

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 déviation [Hz/V]) que nous désignerons par λ .

Rappel théorique : Le signal FM peut s'exprimer ainsi par :

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

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

$$\omega(t) = d\theta(t)/dt = d[\omega_p t + \phi(t)] = \omega_p + d\phi(t)/dt \quad \text{d'où :}$$

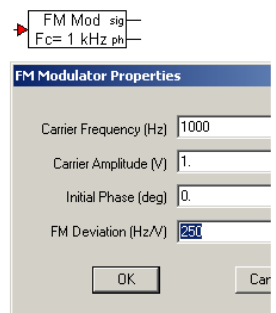
$$f(t) = \omega(t)/2\pi = f_p + [d\phi(t)/dt] / 2\pi = f_p + \lambda x(t)$$

D'où, $f(t)$ la fréquence du signal modulé varie avec $x(t)$: c'est une modulation en fréquence.

L'excursion en fréquence (ou variation) $\Delta f(t) = f(t) - f_p = \lambda x(t)$ 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 : **Rappel**

$$\text{Rappel: } \beta = \Delta f_{MAX} / f_m = \lambda \cdot x_{MAX} / f_m$$

NB : Attention Commsim7 travaille avec λ et non β .



4. 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 : $\phi(t)=\beta \sin(\omega_m t)$.
 - La décomposition de $y_{FM}(t)$ en série de Fourier (c'est-à-dire le spectre) fait appel aux fonctions de Bessel de première espèce (se limiter à l'ordre 4).
PS : Rappeler les valeurs de $J_n(\beta)$ pour $\beta=2, 1$ et $0,25$.
5. Générer sous **COMMSIM7** une source FM à $f_r=1\text{kHz}$ et la moduler avec un message sinusoïdal d'amplitude 1V à $f_u=100\text{Hz}$. Relever le spectre du signal FM pour $\beta=2, 1$ et $0,25$. Retrouver les coefficients de Bessel?
- Relever soigneusement l'amplitude des raies spectrales pour $\beta=2, 1$ et $0,25$. Retrouver les coefficients de Bessel?
 - Représenter la bande de Carson sur chaque spectre. Rappel $B=2.(\beta +1).f_u$.
 - Quel est l'influence de l'indice β sur la largeur de la bande de fréquence occupée par le signal FM ?
 - 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.

Vérification auprès d'un enseignant_____

DEMODULATION D'AMPLITUDE

Nous nous intéressons ici au principe de la démodulation synchrone (ou cohérente) des signaux AM.

6. Montrer alors qu'un récepteur en possession d'un oscillateur en phase avec la porteuse peut réaliser l'opération de démodulation au moyen d'opérateur 'x' et d'un filtrage adéquat.
- Réaliser ce démodulateur et simuler pour le signal modulé AM (voir le rappel de la question 2).
 - Déterminer les fréquences de coupures d'éventuels filtres nécessaires à cette opération en opérant par des encadrements judicieux de la partie utile.

DEMODULATION DE FREQUENCE EN BANDE ETROITE

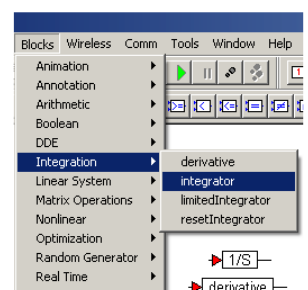
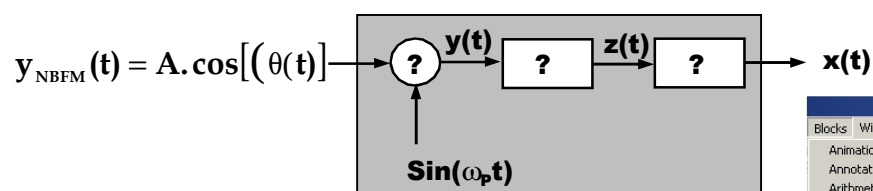
La modulation de fréquence n'est pas une opération linéaire et la détection devient par conséquent plus difficile dans le cas général des signaux FM. Par soucis de simplicité nous limitons donc notre première approche aux signaux FM en **bande étroite** (NBFM : **N**arrow **B**and **F**requency **M**odulation).

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

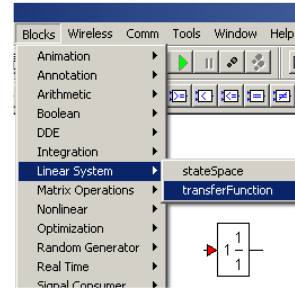
7. Développer l'expression de $y_{NBFM}(t)=A.\cos[\omega_p t + \phi(t)]$ et montrer que l'approximation d'une modulation en bande étroite ($\phi(t) \ll 1$), permet de ramener l'expression d'un signal FM à celle d'un signal AM avec porteuse conservée. (voir Q2)

(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 (décalage de $\pi/2$) peut réaliser l'opération de démodulation au moyen d'opérateurs 'x', filtres et d'un dérivateur. Déterminer les fréquences de coupures d'éventuels filtres nécessaires à cette opération au moyen d'encadrements judicieux. Compléter le schéma fonctionnel du récepteur NBFM tel que représenté ci-dessous. Simuler avec le signal FM de la question 5 pour $\beta=2, 1$ et $0,2$. Pour quelle valeur de β , 'ça marche' bien. Remarque sur la bande étroite ?
- Préciser l'expression théorique des signaux $y(t)$ et $z(t)$.



8. 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**.



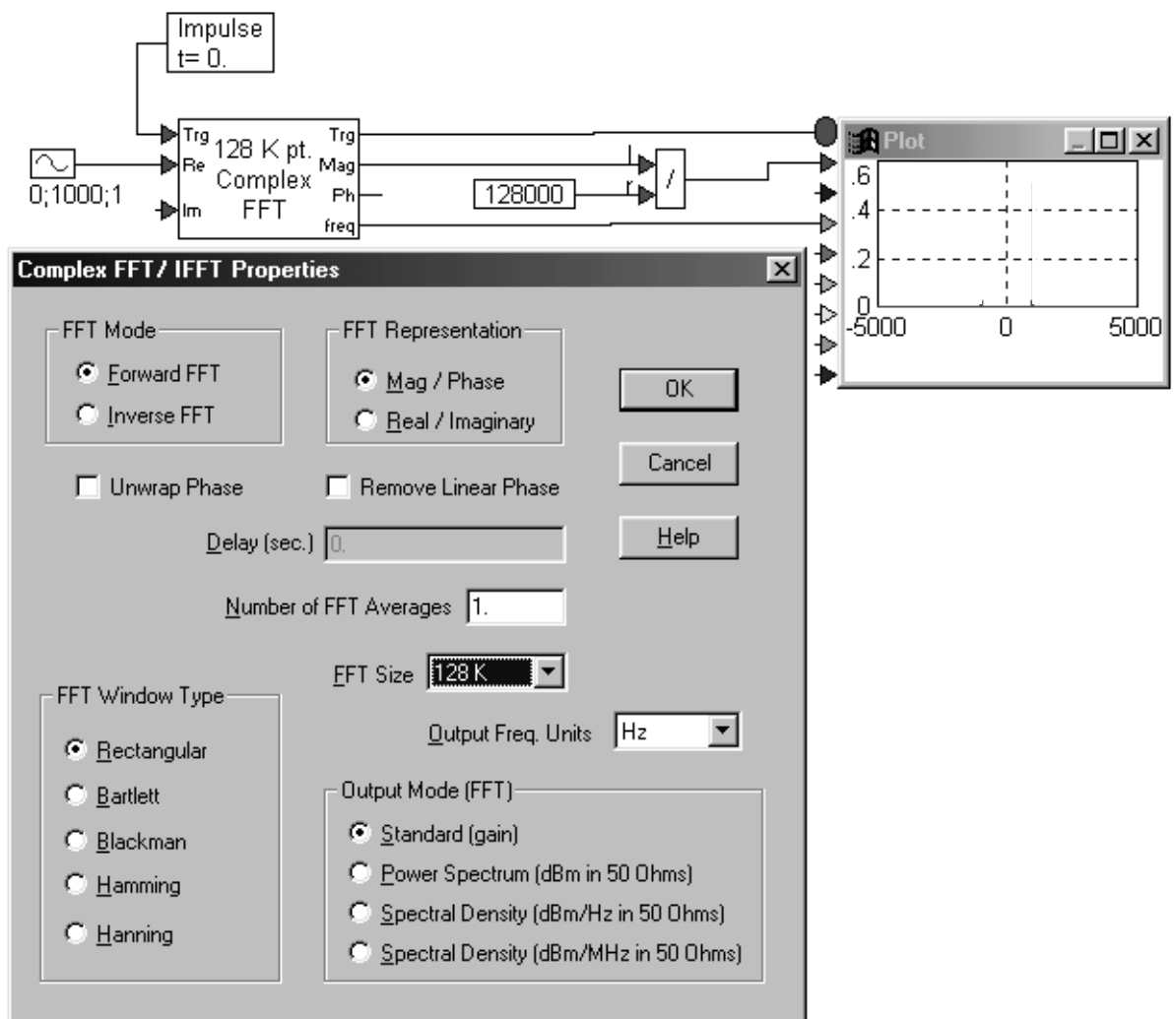
Suggestion pour la bande étroite (NBFM).

- Reprendre la source FM de la question 5 et fixer la sensibilité du modulateur comme suit.
- Fixer la sensibilité du modulateur à $\lambda=20\text{Hz/V}$. ($\beta=0,2$). Saisir le schéma fonctionnel du récepteur en employant un filtre (dont on précisera la nature) de type Butterworth (polynomial IIR filter), d'ordre 5, et de fréquence de coupure 5m.
- Relever le spectre des signaux $y(t)$ et $z(t)$ sur la bande $[-3000, +3000 \text{ Hz}]$.
- Commentaires et comparaison avec les résultats théoriques.

Vérification auprès d'un enseignant.

Annexe1 : Schéma de montage pour l'analyse spectrale d'un signal.

EXEMPLE :
Spectre d'une
sinusoïde de
fréquence 1kHz



Annexe2

Bien observer les valeurs apparues et le schéma de l'annexe1.

Plot Properties

OptionsLabelsAxisAppearanceTraces

☐ Fixed Bounds

☐ Log X

☐ Frequency Domain

☐ Log Y

☐ Truncate FFT data to 2^n

☐ Decibel Y

☐ Over Plot

☒ Grid Lines

Plot Count:8

☒ External TriggerdT:0

☐ Geometric Markers

Marker Count:-1

Read Coordinates...

☒ XY Plot X axis:3

☐ Retain Coordinates

☐ Multiple XY trace

☐ Snap to Data

Line Type:line

Max Plotted Points:0

Clear Overplot

Actual Point Count:131073

Save Data to File

OKAnnulerAppliquerAide