

TP n°2 : caractéristiques temporelles et spectrales de la modulation FM.

→ But du TP : le but de ce second TP de seconde année est l'étude des principales caractéristiques d'un signal modulé en fréquence. Pour cela, on va utiliser plusieurs types de générateurs pour obtenir le signal FM et on va visualiser le chronogramme du signal modulé et son spectre. On portera l'intérêt sur les paramètres indice de modulation m , l'excursion en fréquence Δf et la hauteur des raies du spectre. Le TP se déroule en deux parties de 2h.

Préambule : rappels de résultats du cours :

dans le cas d'une modulation de fréquence, la fréquence du signal modulé varie en fonction du signal modulant :

$$f(t) = f_0 + k_f \cdot s(t)$$

où f_0 est la fréquence de la porteuse et $s(t)$ le signal modulant.

Si le signal modulant $s(t)$ est sinusoïdal, il peut s'écrire : $s(t) = \hat{S} \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot F \cdot t)$ et la fréquence du signal FM est donc : $f(t) = f_0 + k_f \cdot \hat{S} \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot F \cdot t)$ qui varie autour de f_0 avec **l'excursion en fréquence**

$$\Delta f = k_f \cdot \hat{S}$$

On montre que le signal modulé de fréquence $f(t)$ s'écrit :

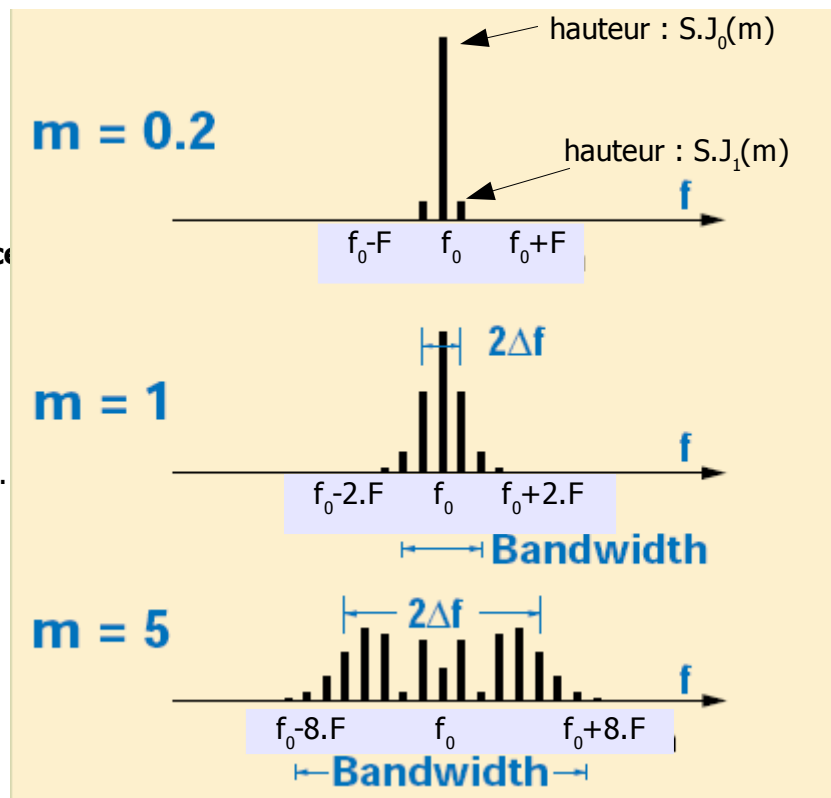
$$v(t) = \hat{P} \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_0 \cdot t + m \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot F \cdot t))$$

avec : $m = \Delta f / F$ **l'indice de modulation.**

La hauteur des raies est donnée par des fonctions de Bessel dépendant de m .

Les raies sont espacées de F .

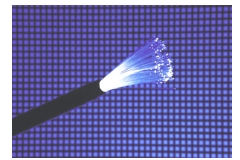
La bande passante est donnée par la règle de Carson : $B = 2 \cdot (\Delta f + F)$



Le niveau de la raie peut être donné en dBm ou en dBV et on rappelle que pour $R_{ref} = 50 \Omega$:

$$N_{dBm} = 10 \log \frac{P}{P_{Ref}} = 20 \log \frac{V_{eff}}{V_{Ref}} \text{ avec } P_{Ref} = 1mW \text{ et } V_{Ref} = 0,224 V$$

$$N_{dB\mu V} = 20 \log \frac{V_{eff}}{V_{ref}} \text{ avec } V_{ref} = 1\mu V$$



1) PARTIE A : génération et analyse d'un signal FM à l'aide de différents générateurs.

Trois postes d'expérimentation sont mis en œuvre.

Poste 1 : générateur programmable *Rohde Schwarz* et analyseur de spectre analogique *Advantest*

(mode d'emploi à récupérer sur la paillasse).

Poste 2 : générateur et analyseur de type banc PXI.

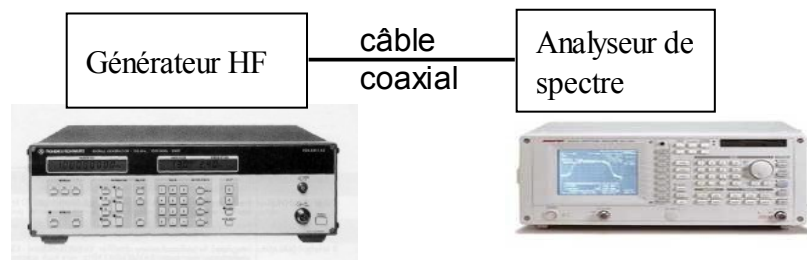
Poste 3 : générateur programmable Agilent 33220A et analyseur de spectre Agilent.

On utilisera l'un des trois postes pour générer un signal FM et étudier son spectre.

Postes 1 et 3 :

A) Génération d'un signal non-modulé pour optimiser les réglages.

Relier le générateur à l'analyseur de spectre directement par un câble coaxial.



Effectuer les réglages nécessaires au niveau du générateur programmable pour obtenir un signal sinusoïdal de fréquence 1MHz et de niveau -10 dBm pour le poste 1 et d'amplitude 5V pour le poste 3.

Effectuer les réglages de fréquence centrale et de l'excursion en fréquence pour obtenir un spectre optimal. Relever ce spectre sur votre compte-rendu.

Relever les grandeurs caractéristiques de la raie présente et en déduire la valeur efficace de la porteuse $S_{o\text{eff}}$. Justifier cette valeur.

Chiffrer la puissance reçue par l'analyseur en exploitant la mesure automatique « Channel Power » disponible sur l'analyseur de spectre.

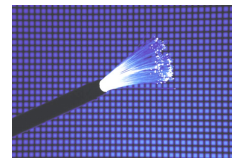
B) *Spectre en amplitude d'un signal FM d'indice de modulation de 5.*

Effectuer les réglages nécessaires au niveau du générateur programmable pour obtenir un signal sinusoïdal de fréquence 1MHz, de niveau -10 dBm pour le poste 1 et d'amplitude 5V pour le poste 3 modulé par un signal BF de fréquence 10 kHz avec un indice de modulation de 5. Relever le spectre du signal généré.

Donner la valeur de la bande de Carson, chiffrer la puissance reçue par l'analyseur dans cette bande. Commenter.

Noter en dBm ou en dBv le niveau des raies les plus significatives.

Convertir ces valeurs en VRMS et présenter les résultats sous la forme d'un tableau conforme à :



Fréquence en kHz							
Niveau en dBm ou dBv							
Valeur efficace en V							

En exploitant la valeur des coefficients de Bessel pour m correspondant à l'expérimentation et la valeur trouvée précédemment pour $S_{o\text{eff}}$, donner la valeur efficace théorique des raies en complétant un tableau conforme à :

Fréquence en kHz							
Valeur de $J_p(m)$							
Valeur efficace en V							

Noter la cohérence avec les 2 tableaux.

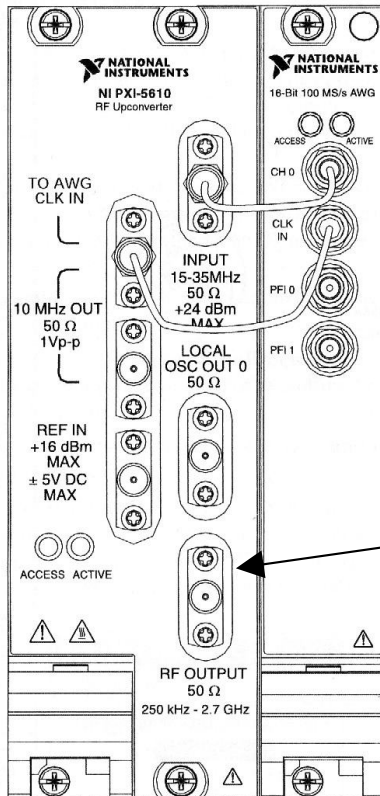
Poste 2 : utilisation des bancs PXI pour la génération et l'analyse de signaux RF.

Le module PXI-5670 est un générateur de signaux vectoriels RF jusqu'à 2,7 GHz.

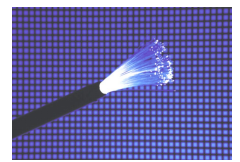
Il comprend:

- un module de génération de signaux « *Waveform generator* » (PXI 5421)
- >un module de translation vers les fréquences élevées « *RF Superheterodyne UpConverter* »(PXI 5610)

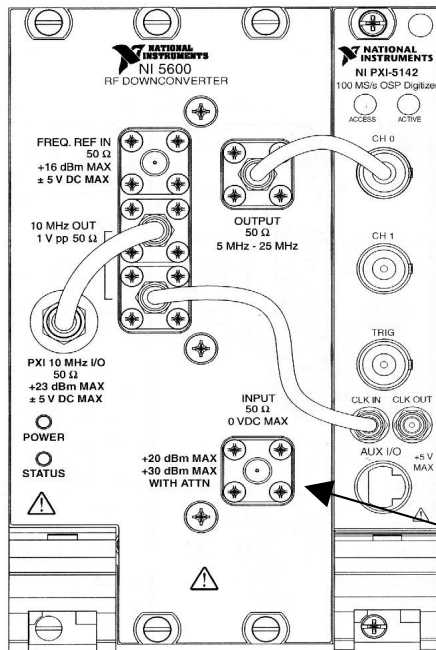
Associé à la boîte à outils « *Toolkit Modulation* » de Labview, il peut générer de formats de modulation personnalisés ou standard (AM, FM, PM, ASK, FSK, MSK, GMSK, PSK, QPSK, PAM, QAM...).



Le signal généré est disponible sur la sortie notée RF Output (borne SMA femelle)



Le module PXI 5661 est un analyseur de signaux vectoriels RF jusqu'à 2,7 GHz.



Il comprend

- un module de translation vers les « basses » fréquences « *RF DownConverter* » (PXI 5600)
- un module numériseur à la fréquence intermédiaire « *FI Digitizer* » (PXI 5142)

Associé à la boîte à outils « *Toolkit Spectral Measurements* » de Labview, il permet d'afficher des mesures courantes telles que les spectres de puissance.

Associé à la boîte à outils « *Toolkit Modulation* », il permet de démoduler le signal RF.

Le signal RF à analyser est « à injecter » sur l'entrée notée Input (borne SMA femelle)

A) Génération d'un signal non-modulé pour optimiser les réglages.

Sur le banc PXI-5670, ouvrir le « vi » « mod_FM »

Modifier les valeurs présentes sur la face avant pour générer un signal de fréquence porteuse $f_0 = 200$ MHz non modulé. (il suffit d'imposer une excursion de fréquence nulle)

Sur le banc PXI 5661, ouvrir le « vi » « analyseur de spectre+demod_FM »

Dans l'onglet Spectre, cliquer sur *Frequency Span* et modifier les valeurs présentes pour obtenir un spectre optimal.

Noter le niveau de la raie en dBm en entrant dans le menu *Measurement*.

Commenter la valeur obtenue et en déduire la valeur efficace, noté $S_{o,eff}$, du signal reçu au niveau du récepteur.

Imprimer le spectre avec les mesures précédentes en exploitant le logiciel GadwinPrintSreen.

Dans *Spectrum Settings*, choisir un affichage de la raie en dB μ V.

Noter la valeur obtenue et vérifier la compatibilité avec les valeurs précédentes.

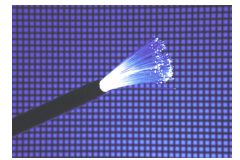
B) Génération et analyse d'un signal RF modulé en fréquence.

Sur le banc PXI-5670, modifier les valeurs présentes sur la face avant du « vi »

« mod_FM » pour générer un signal de fréquence porteuse 200 MHz, modulé en fréquence par un signal BF sinusoïdal de 30 kHz avec une excursion de fréquence de 60 kHz.

Sur le banc PXI 5661, dans l'onglet Spectre du « vi » « analyseur de spectre+demodFM », cliquer sur *Frequency Span* et modifier les valeurs présentes pour obtenir un spectre optimal.

Imprimer le spectre et valider le niveau de la raie de porteuse.



Dans *Measurements Peak Search*, donner le nombre de raies de niveau significatif.

Fréquence en kHz							
Niveau en dB μ V							
Valeur efficace en V							

Si nécessaire, modifier la valeur du seuil à partir de laquelle les raies ne sont pas noyées dans le bruit.

Noter, en dB μ V, la valeur des raies présentes. Convertir ces valeurs en VRMS et présenter les résultats sous la forme d'un tableau conforme à :

En exploitant la valeur des coefficients de Bessel pour m correspondant à l'expérimentation et la valeur trouvée précédemment pour $S_{o\text{eff}}$, donner la valeur efficace théorique des raies en complétant un tableau conforme à :

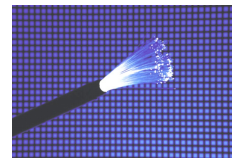
Fréquence en kHz							
Valeur de $J_p(m)$							
Valeur efficace en V							

Noter la cohérence entre les 2 tableaux.

C) Démodulation du signal RF

Sur le banc PXI 5661, dans l'onglet Démodulation du « vi » « analyseur de spectre+demodFM », noter l'allure du signal démodulé.

Valider le bon fonctionnement de la chaîne de transmission en modifiant l'allure du signal modulant puis son amplitude par l'intermédiaire de Δf .



2) PARTIE B : caractéristiques temporelles de la modulation FM et étude du cas particulier de la modulation FSK.

On utilisera le logiciel Labview associé au fichier « generateur_FM_simple.vi » comme générateur programmable de signaux modulés.

analyse temporelle d'un signal modulé en fréquence.

Le « vi » utilisé présente trois onglets :

- le premier permettant de régler les caractéristiques du signal modulant, de la porteuse et de l'excursion en fréquence pour le signal présent en sortie de carte.
- les deux autres permettent d'observer l'allure des signaux qui sont présents en sortie des cartes et le spectre du signal modulé FM

a) le signal modulant $s(t)$ est un signal sinusoïdal :

On choisira un signal sinusoïdal de fréquence $f = 1$ kHz d'amplitude 1V modulant un signal porteur de fréquence $F = 20$ kHz . La fréquence d'échantillonnage sera fixée à $F_e = 1$ MHz avec un nombre d'échantillons de $N_e = 10^4$.

↳ l'indice de modulation est fixé à $m=5$

Procéder aux réglages (en particulier penser à la déviation de fréquence) et capturer les signaux sur l'oscilloscope branché sur la carte d'acquisition.

Visualiser ces signaux sur l'onglet n°2 pour vérification.

Comment évolue la fréquence de la porteuse lorsque le niveau du signal en bande de base $s(t)$ varie?

Que se passe-t-il lorsque l'on change le signe de la déviation de fréquence ?

Réaliser l'analyse spectrale du signal modulé grâce à l'outil FFT du menu « maths » de l'oscilloscope. On précisera les réglages du « span » et de la fréquence centrale. Imprimez le spectre obtenu en donnant la valeur des fréquences des principales raies. Préciser l'écart entre les raies et justifier la hauteur de la raie centrale et des deux premières raies en utilisant le tableau des coefficients de Bessel donné en annexe. Vérifier ces valeurs en visualisant l'onglet n°3.

↳ l'indice de modulation est fixé à $m=10$

Donner les nouveaux oscillogrammes et préciser les différences avec le cas $m=5$.

Réaliser l'analyse spectrale du signal modulé et donner les différences entre les deux cas en recalculant la hauteur des trois raies principales.

b) le signal modulant $s(t)$ est un signal carré d'amplitude 1V :

On fixera la déviation de fréquence à $\Delta f = 5$ kHz et $f = 1$ kHz.

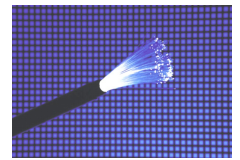
Procéder à l'expérimentation et commenter les résultats obtenus.

On mesurera les fréquences de la porteuse si le signal modulant est à 1V et lorsqu'il est à -1V.

Relier ces résultats à Δf .

On désire réaliser une modulation où le « 0 » binaire est représenté par un signal sinusoïdal de fréquence $F_0 = 25$ kHz et le « 1 » binaire par un signal de fréquence $F_1 = 15$ kHz.

Que faut-il changer dans le VI pour obtenir un tel résultat ?



Procédez aux réglages (en les indiquant) et donnez les oscillogrammes obtenus en les commentant. Justifier le nom de cette modulation.

annexe : tableau de quelques coefficients de Bessel.

i	$m=0,2$	$m=1$	$m=2$	$m=5$	$m=10$
0	0,99	0,765	0,223	-0,177	-0,245
1	0,099	0,44	0,576	-0,327	0,045
2		0,114	0,352	0,046	0,254
3		0,019	0,128	0,364	0,058
4		0,002	0,034	0,391	-0,219
5			0,007	0,261	-0,234
6			0,001	0,131	-0,014
7				0,053	0,216
8				0,018	0,317
9				0,005	0,291
10				0,001	0,207
11					0,123
12					0,063
13					0,029
14					0,012