

TP n°13 : étude des caractéristiques de la modulation MSK.

→ But du TP : le but de ce treizième TP de seconde année est l'étude de plusieurs caractéristiques de la modulation numérique de fréquence MSK à deux états. Plus précisément, on propose dans un premier temps de donner les caractéristiques de la modulation MSK à l'aide de Labview. On analysera notamment le spectre et les formes des signaux I/Q. Puis, on étudiera l'effet d'un filtre gaussien sur les signaux et sur les spectres, pour répondre au gabarit du GSM.

1) Généralités sur la modulation MSK.

La modulation MSK (Minimum Shift Keying) est une modulation FSK à phase continue particulière pour laquelle :

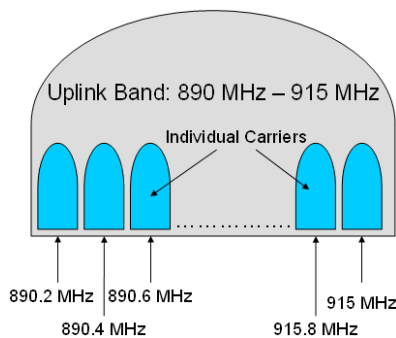
- le niveau « 1 » est représenté par un signal sinusoïdal de fréquence $f_1 = f_p + \frac{D_b}{4}$.
- le niveau « 0 » est représenté par un signal sinusoïdal de fréquence $f_0 = f_p - \frac{D_b}{4}$

où f_p est la fréquence de la porteuse et D_b la valeur du débit binaire. On note $\Delta f = \frac{D_b}{4}$ l'excursion de fréquence de part et d'autre de la porteuse et m l'indice de modulation tel que : $\mu = \frac{f_1 - f_0}{D_b}$.

Calculer la valeur de l'indice de modulation pour la modulation MSK.

Cette modulation est utilisée dans le GSM : le débit binaire est de **$D_b = 270,8 \text{ kbits/s}$** et l'excursion en fréquence autour de la porteuse est de **$\Delta f = 67,7 \text{ kHz}$** .

Les fréquences allouées sont les suivantes :



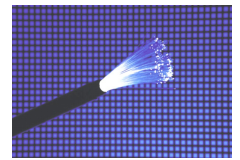
124 canaux dans la bande 890-915 MHz

Bande allouée à chaque canal 200 kHz

En pratique, on utilise un modulateur vectoriel I/Q plutôt qu'un VCO pour créer le signal modulé qui peut s'écrire sous la forme :

$$v(t) = \hat{V} \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_p \cdot t + \varphi(t))$$

Rappeler alors les expressions de $i(t)$ et $q(t)$ en fonction de \hat{V} et de $\varphi(t)$.



2) Étude de la modulation MSK à l'aide de Labview.

Ouvrir le « vi » « Mod_MSK_aléatoire »

Avec les valeurs affichées sur la face avant,

Visualiser l'évolution de la variation de fréquence par rapport à la fréquence porteuse en fonction du temps.

Noter et valider la durée d'un bit. En déduire le débit binaire.

Quelles sont les deux valeurs obtenues pour cette variation de fréquence ? Compléter le document réponse de l'annexe en représentant l'évolution de $\Delta F(t)$. Valider les 2 valeurs obtenues à partir des données précédentes.

Visualiser les grandeurs instantanées $i(t)$, $q(t)$ et $\varphi(t)$.

Comment évolue $\varphi(t)$ quand le bit à transmettre est à « 1 » ? Même question quand il est à « 0 ».
Quelles sont les formes des signaux $i(t)$ et $q(t)$? Est-ce logique compte tenu des expressions de $i(t)$ et $q(t)$ trouvées au 1^o ?

3) Justification des caractéristiques.

On rappelle l'expression générale du signal modulé : $v(t) = \hat{V} \cdot \cos(2\pi \cdot f_p \cdot t + \varphi(t))$.

$\varphi(t)$ représente la phase instantanée qui évolue lors de la transmission d'un « 1 » et lors de la transmission d'un « 0 ». On note $f(t)$ la fréquence instantanée.

Rappeler la relation entre $f(t)$ et $\varphi(t)$.

En déduire la loi d'évolution de $\varphi(t)$:

lors de la transmission d'un « 1 », c'est-à-dire lorsque $f(t) = f_1 = f_p + \frac{D_b}{4}$.

lors de la transmission d'un « 0 », c'est-à-dire lorsque $f(t) = f_0 = f_p - \frac{D_b}{4}$.

Valider alors la forme et la variation de $\varphi(t)$ lors des transmissions binaires.

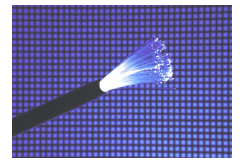
Relever et valider le diagramme de constellation.

Dans quel sens se déplace le point de constellation quand on transmet un « 1 » ?

Même question quand on transmet un « 0 ».

Compléter le document réponse en traçant l'évolution de $\varphi(t)$, $i(t)$ et $q(t)$.

Noter la cohérence avec les résultats affichés sur la face avant du « vi »



4) Étude du spectre du signal modulé.

Relever le spectre du signal et noter la largeur des différents lobes.

Le gabarit du spectre du signal modulé est donné en annexe.

Tracer ce gabarit sur le spectre relevé et justifier la nécessité d'un filtre pour éliminer les lobes secondaires.

5) Caractéristiques de la modulation GMSK : mise en place et étude du filtre gaussien.

En pratique, pour limiter l'importance des lobes secondaires, on utilise un filtre passe-bas de type gaussien au niveau de l'émission.

On parle alors de **modulation GMSK**. (Gaussian Minimum Shift Keying)

Ces filtres sont caractérisés par le paramètre noté BT.

Effet d'un filtre gaussien sur le spectre du signal modulé.

Relever le spectre du signal modulé pour les deux valeurs du paramètre BT:

- ▶ BT = 0,5
- ▶ BT = 0,3

Comme précédemment, tracer sur le spectre le gabarit imposé par la norme. Commenter.

Pour le GSM, on utilise un filtre Gaussien avec BT = 0,3.

Caractéristiques fréquentielles d'un filtre gaussien.

Le module de la transmittance d'un filtre Gaussien utiliser pour filtrer des signaux binaires de débit

D_b a pour expression : $H(f) = \exp\left(-0,3466 \cdot \left(\frac{f}{BT \cdot D_b}\right)^2\right)$

Recherche de la bande passante du filtre.

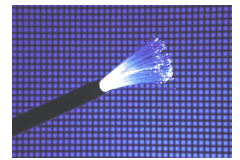
Rappeler la définition de la fréquence de coupure f_c d'un filtre passe-bas.

En déduire l'expression de f_c en fonction du paramètre BT et du débit binaire D_b .

Valider l'affirmation suivante : « BT représente le produit de la bande passante du filtre par la durée d'un bit » soit $BT = B_{\text{passante}} \cdot T_{\text{bit}}$

Avec le débit binaire $D_b = 270,8$ kHz du GSM, valider les deux expressions suivantes :

- Pour BT = 0,3 $\rightarrow H(f) = \exp\left(-\left(\frac{f_{\text{kHz}}}{138}\right)^2\right)$
- Pour BT = 0,5 $\rightarrow H(f) = \exp\left(-\left(\frac{f_{\text{kHz}}}{230}\right)^2\right)$



Approximation d'un filtre Gaussien par la mise en cascade de deux filtres passe-bas du second ordre.

On dispose du fichier « filtre-gaussien.asc » dans le répertoire de travail de la classe.

L'ouvrir avec le logiciel LTSPICE.

L'objectif est de tracer la réponse en fréquence du filtre avec des valeurs de f_0 et de m convenablement choisis et de comparer cette réponse à celle donnée par l'équation mathématique précédente.

Les valeurs de f_0 et de m sont conditionnés par la valeur du débit binaire D_b et du coefficient BT.

On exploitera le tableau ci-dessous :

	BT = 0,5	BT = 0,3
Paramètres du filtre 1	$f_{01} = \frac{D_b}{2\pi \cdot 0,1727}$ $m_1 = 0,509$	$f_{01} = \frac{D_b}{2\pi \cdot 0,455}$ $m_1 = 0,908$
Paramètres du filtre 2	$f_{02} = \frac{D_b}{2\pi \cdot 0,273}$ $m_2 = 0,908$	$f_{02} = \frac{D_b}{2\pi \cdot 0,2878}$ $m_2 = 0,509$

- Pour le filtre utilisé dans le GSM (BT = 0,3), renseigner le fichier en indiquant les valeurs des 4 paramètres
Relever l'évolution de la fonction de transfert en fonction de la fréquence.
(les 2 échelles devront être en linéaire)
Noter la valeur de la bande passante du filtre et valider sa valeur.
- Pour valider que cette réponse en fréquence est bien conforme à une réponse de type gaussien, ajouter une courbe et taper l'expression de $H(f)$ comme

Expression(s) to add:

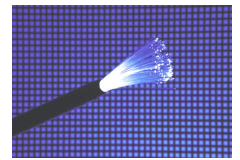
`exp(-(frequency*frequency)/19e9)`

indiqué ci-dessous :

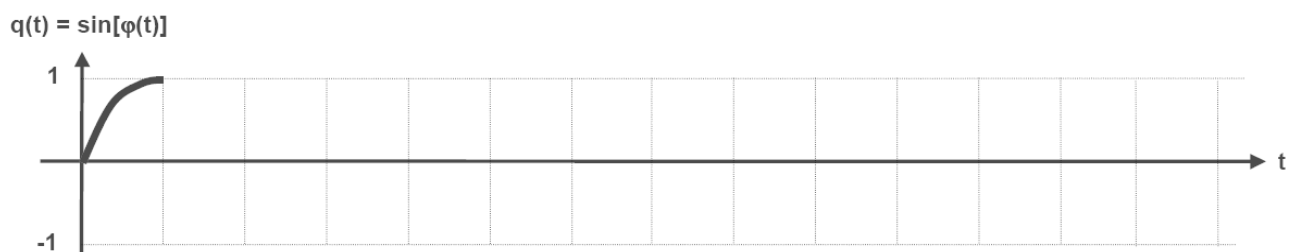
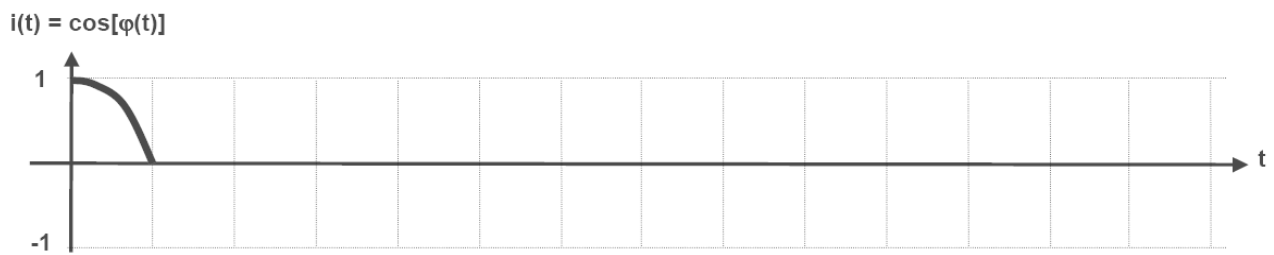
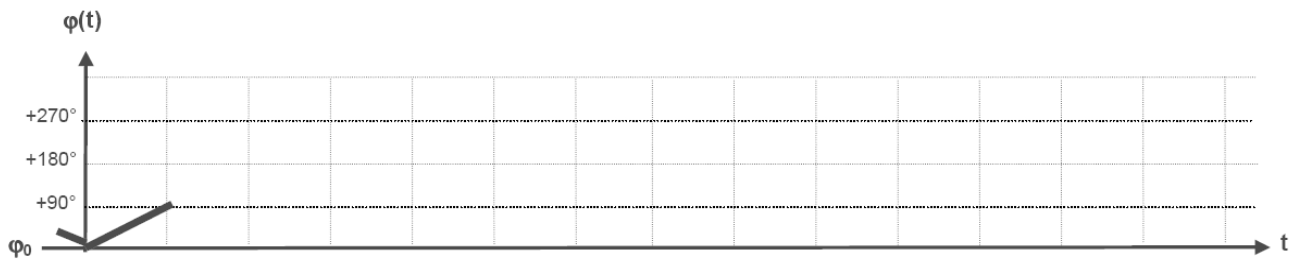
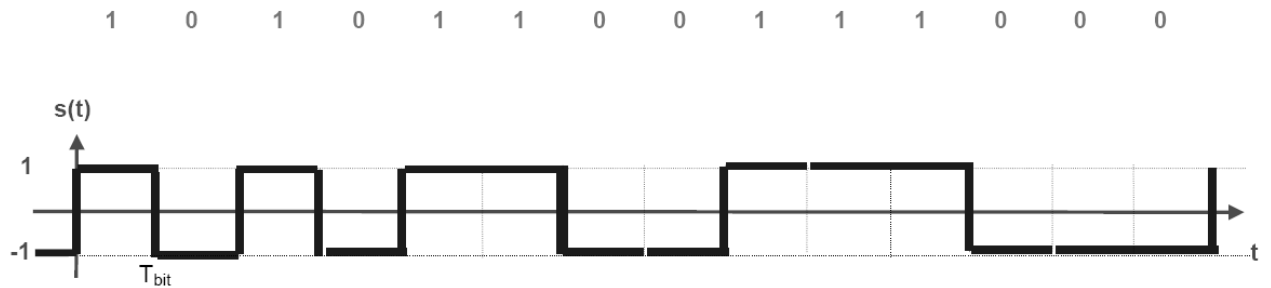
Commenter le résultat obtenu.

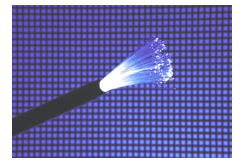
Remarque :

$$(138.E3)^2 = 19.E9$$



Document réponse : évolution des signaux $\Delta F(t)$, $\varphi(t)$, $i(t)$ et $q(t)$





Annexe : gabarit du spectre du signal modulé GMSK

Après filtrage passe-bas et modulation MSK, le spectre de la porteuse, de chaque côté de la fréquence centrale, doit rester en-dessous du gabarit donné par la courbe rouge.

