ORDRE DES INGÉNIEURS DU QUÉBEC

SESSION DE NOVEMBRE 2017

Examen à livre ouvert
Les calculatrices programmables, les calculatrices communicantes et les ordinateurs sont interdits.
Durée de l'examen : 3 heures

16-EL-A3 Signaux et communications

Question 1 : **(30 points)**

Dans un système cellulaire 4G, on transmet un signal de largeur de bande de 20 MHz à une fréquence porteuse de 2.496 GHz. La station de base émet le signal avec une antenne isotropique dans une cellule de rayon de 2.5 km.

a) Déterminez le gain d'antenne du récepteur mobile, $G_{RX,dB}$ en dB, requis afin d'obtenir une atténuation maximale a_{max} de 80 dB dans la cellule.

b) Si les récepteurs mobiles sont uniformément distribués dans la cellule, alors l'atténuation moyenne peut s'exprimer (en linéaire) par :

$$a_{moy} = \frac{1}{\pi d_{max}^2} \int_0^{2\pi} \int_0^{d_{max}} a(r) r dr d\varphi$$

où d_{max} est la distance maximale et $a(r)$ est l'atténuation en fonction de la distance r, exprimée en mètres, entre la station de base et un récepteur mobile. Quel est le gain d'antenne de réception, $G_{RX,dB}$ en dB, nécessaire pour obtenir une atténuation moyenne de 80 dB ?

Question 2 : **(20 points)**

Un signal est échantillonné à 384 000 échantillons par seconde. Les échantillons sont encodés avec des mots-codes de 32 bits.

a) Sachant que le rapport signal à bruit de quantification pour une sinusoïde couvrant toute la plage dynamique est $SQNR = \frac{3}{2}L^2$, L étant le nombre de niveaux de quantification, quelle est la valeur numérique du rapport signal à bruit de quantification en dB, i.e. $SQNR_{dB}$?

b) Quel est le débit binaire résultant R_b ?

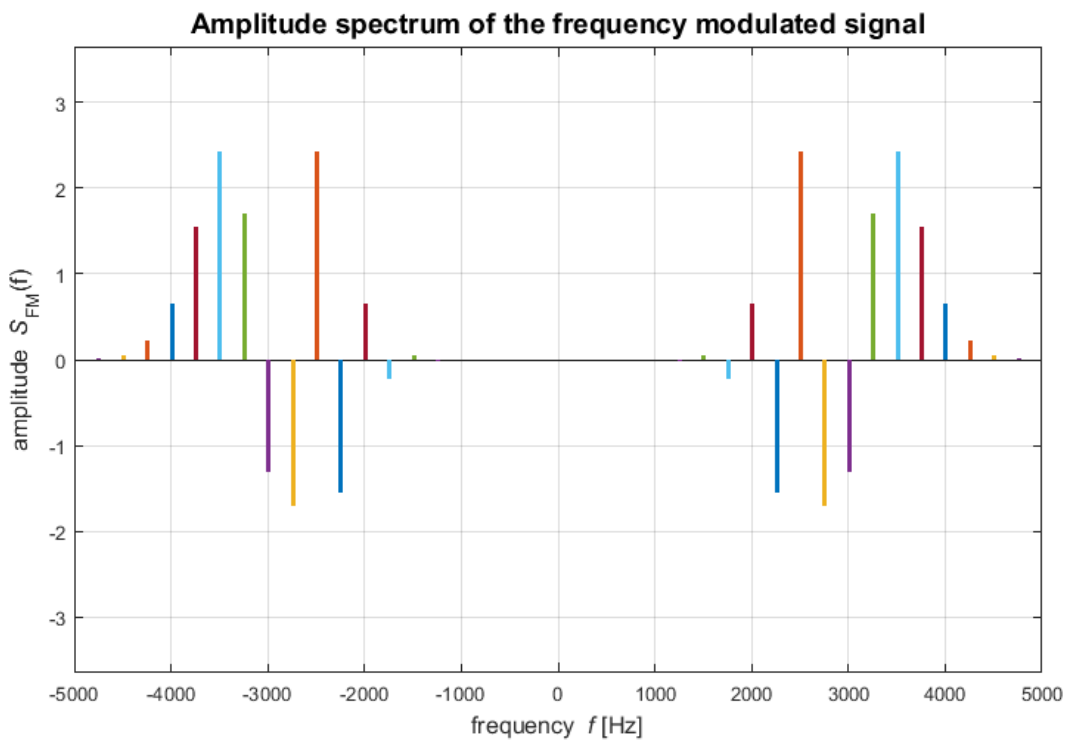
Question 3 : **(10 points)**

On désire échantillonner le signal $s(t)$ uniformément dans le temps afin de pouvoir le représenter sous forme numérique. Quel est l'intervalle de temps maximal T_s entre les échantillons afin de pouvoir reconstruire parfaitement le signal original ?

$$s(t) = 10\cos^2(4800\pi t) + 5\sin\left(1600\pi t + \frac{7\pi}{11}\right)$$

Question 4 : **(20 points)**

Un signal FM est modulé par le message $m(t) = A_m \cos(2\pi f_m t)$. Le spectre d'amplitude mesuré, $S_{FM}(f)$, est montré ci-dessous :



a) Quelle est la fréquence porteuse f_c ?

b) Quelle est la fréquence du message f_m ?

c) Quel est l'indice de modulation β_f ? S'agit-il d'un signal à bande étroite ou à large bande ?

d) En utilisant la formule de Carson, estimez la largeur de bande de transmission, B_T, du signal FM.

e) Écrivez l'expression du signal modulé $s_{FM}(t)$ en fonction du temps, en indiquant les valeurs numériques.

f) Quelle est la puissance, P_{FM}, de ce signal FM ?

Question 5 : **(20 points)**

Une source génère une séquence binaire avec un débit $R_b = 180$ Mbits/s. La séquence est modulée en bande passante à une fréquence porteuse $f_c = 9.8$ GHz en modulation 256-PSK et filtrée avec un filtre à cosinus surélevé.

a) Est-il possible de transmettre ces symboles 256-PSK à la fréquence porteuse avec une largeur de bande $B_T = 24$ MHz ? Justifiez votre réponse. Si oui, quelle est la valeur du facteur α (*roll-off factor*) ?

b) Quelle est la largeur de bande de transmission minimale en modulation 256-PSK si on peut faire varier le facteur α ?

Fonction de Bessel (pour $0 \leq n \leq 10$)

n	$J_n(0)$	$J_n(1)$	$J_n(2)$	$J_n(3)$	$J_n(4)$	$J_n(5)$	$J_n(6)$	$J_n(7)$	$J_n(8)$	$J_n(9)$	$J_n(10)$
0	1	0.7652	0.2239	-0.2601	-0.3971	-0.1776	0.1506	0.3001	0.1717	-0.0903	-0.2459
1		0.4401	0.5767	0.3391	-0.0660	-0.3276	-0.2767	-0.0047	0.2346	0.2453	0.0435
2		0.1149	0.3528	0.4861	0.3641	0.0466	-0.2429	-0.3014	-0.1130	0.1448	0.2546
3		0.0195	0.1289	0.3091	0.4302	0.3648	0.1148	-0.1676	-0.2911	-0.1809	0.0584
4		0.0025	0.0340	0.1320	0.2811	0.3912	0.3516	0.1578	-0.1054	-0.2655	-0.2196
5			0.0070	0.0430	0.1321	0.2611	0.3621	0.3479	0.1858	-0.0550	-0.2341
6			0.0012	0.0114	0.0490	0.1310	0.2458	0.3392	0.3376	0.2043	-0.0145
7				0.0025	0.0152	0.0534	0.1296	0.2336	0.3206	0.3275	0.2167
8					0.0040	0.0184	0.0565	0.1280	0.2235	0.3051	0.3179
9						0.0055	0.0212	0.0589	0.1263	0.2149	0.2919
10						0.0015	0.0069	0.0235	0.0608	0.1247	0.2075
11							0.0020	0.0083	0.0256	0.0622	0.1231
12								0.0027	0.0096	0.0274	0.0634
13									0.0033	0.0108	0.0290
14									0.0010	0.0039	0.0120
15										0.0013	0.0045
16											0.0016