ORDRE DES INGÉNIEURS DU QUÉBEC

SESSION DE MAI 2020

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 : **(20 points)**

La séquence binaire $\mathbf{m} = [m_k]_{k=1,\ldots} = [1,\ 0,\ 1,\ 0,\ 0,\ 1,\ 1,\ 1,\ 0,\ 0,\ 1,\ 0]$ est appliquée à l'entrée d'un modulateur DPSK (Differential Phase Shift Keying) avec $c_k = c_{k-1} \oplus m_k$, où $c_0 = 1$, $\theta_0 = \pi$ et :

$$s_{DPSK}(t) = \cos\left(2\pi f_c t + \theta_k\right) \text{ où } \theta_k = \begin{cases} 0, & \text{pour } c_k = 0 \\ \pi, & \text{pour } c_k = 1 \end{cases}$$

a) Donnez la séquence binaire différentiellement codée correspondante $\mathbf{c} = [c_k]_{k=1,\ldots,12}$.

b) Donnez la séquence de phases correspondante $[\theta_k]_{k=1,\ldots,12}$.

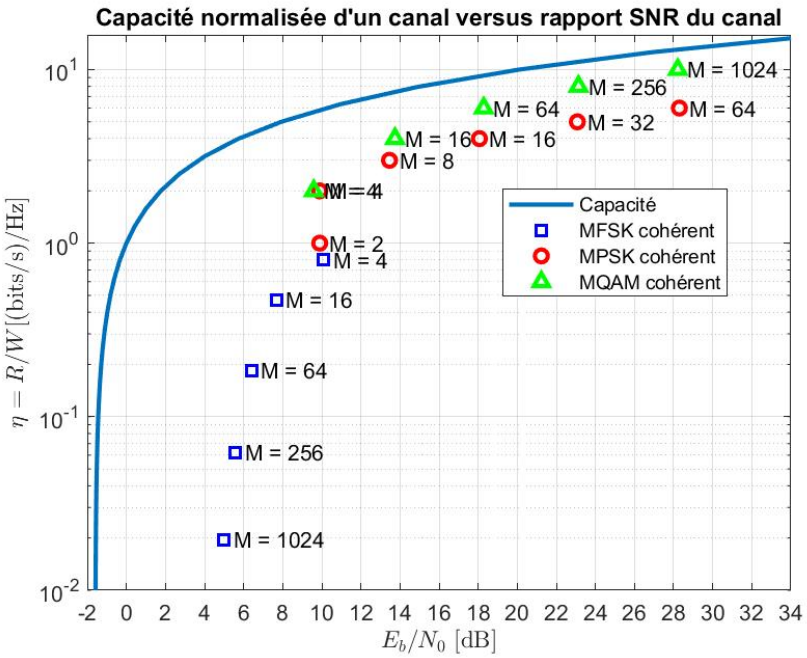
c) Dessinez la forme d'onde DPSK résultante. Pour ce faire, supposez que la fréquence porteuse est exactement $f_c = \frac{1}{T_b}$ où T_b est la durée d'un bit.

d) Donnez un avantage de la modulation DPSK par rapport à la modulation BPSK.

e) Donnez un désavantage de la modulation DPSK par rapport à la modulation BPSK.

Question 2 : **(20 points)**

La figure ci-dessous montre le plan de l'efficacité spectrale pour une probabilité d'erreur par symbole $P_e = 10^{-5}$. Elle représente l'efficacité spectrale $\eta = R/W$ où R est le débit binaire en [bits/seconde] et W la largeur de bande en Hertz, en fonction du rapport signal-à-bruit SNR exprimé comme le rapport de l'énergie par bit E_b en [Joules] et de la densité de puissance du bruit N_0 en [Watt/Hertz].



a) La courbe montre la capacité en fonction du rapport signal-à-bruit. Expliquez en vos propres mots, ce qu'est la capacité.

b) En modulation MPSK, l'efficacité spectrale augmente avec la dimension M des signaux mais la modulation MFSK, elle diminue. Expliquez clairement pourquoi c'est le cas.

c) On doit concevoir un système de communication pour lequel la puissance est limitée. Quelle serait la méthode de modulation à privilégier ? Justifiez votre réponse.

d) Est-il possible en théorie de concevoir un système de communication d'efficacité spectrale d'efficacité spectrale de 8 bits/s/Hz permettant une faible probabilité d'erreur par symbole avec un rapport signal-à-bruit $E_b/N_0 = 4$ dB ? Justifiez votre réponse.

Question 3 : **(20 points)**

On désire comparer les formats audio numériques utilisés pour les disques audio numériques (CD) et les disques DVD-audio de très haute fidélité (DVD-A). Deux signaux (gauche et droit pour la stéréophonie) sont échantillonnés à 44.1 kiloéchantillons par seconde pour les CDs alors qu'ils sont échantillonnés à 192 kiloéchantillons par seconde pour les DVD-As. Un convertisseur analogique-numérique quantifie chaque échantillon et les encode avec des mots de 16 bits pour les CDs et des mots de 24 bits pour les DVD-As.

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

b) Quel est le débit binaire résultant R_b dans les deux cas (CD et DVD-A) ?

c) Le système doit pouvoir enregistrer une heure de musique. Quel sera alors le nombre total d'octets inscrits sur le CD et sur le DVD-A ?

Question 4 : **(20 points)**

Considérez le signal modulé $s(t)$ suivant :

$$s(t) = A_c \left[m_1(t) \cos 2\pi f_c t + m_2(t) \sin 2\pi f_c t \right].$$

Déterminez les expressions suivantes :

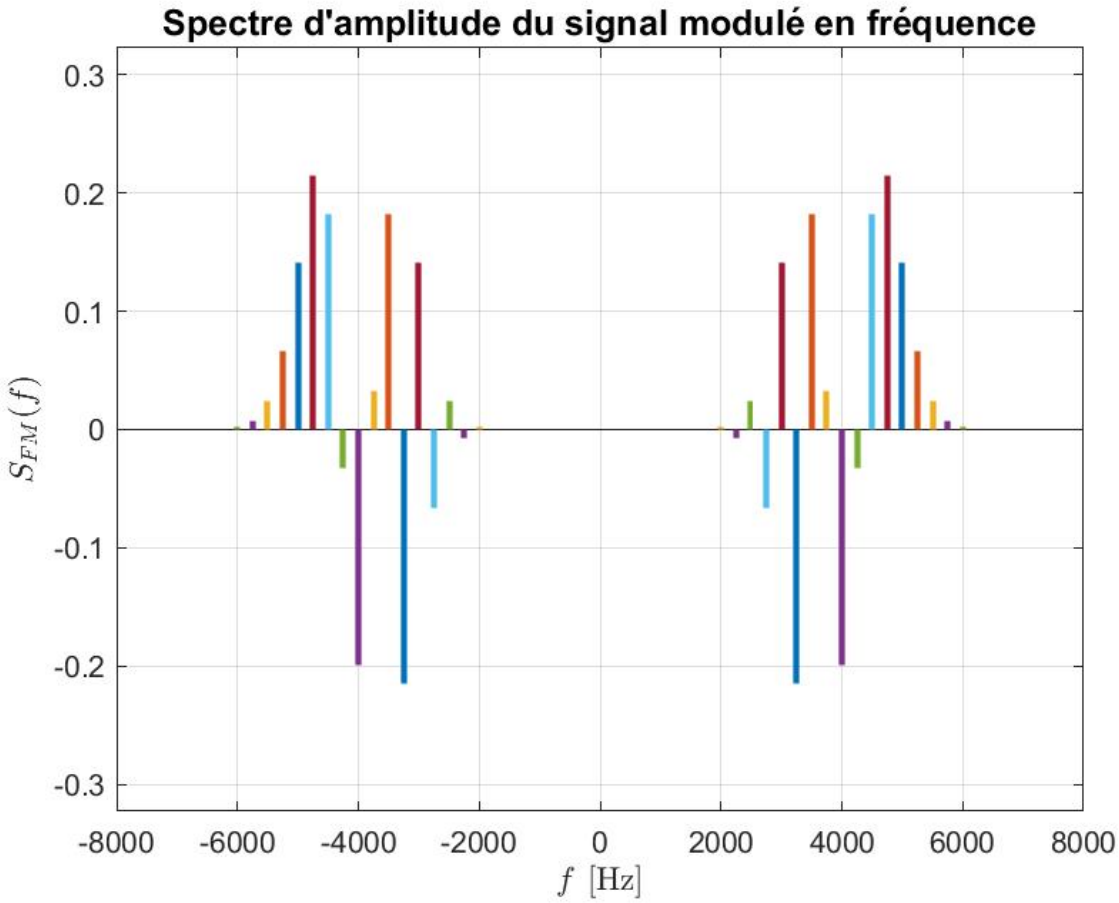
a) la représentation complexe en bande de base $\tilde{s}(t)$,

b) les composantes en phase et en quadrature $s_I(t)$ et $s_Q(t)$, ainsi que

c) le module et la phase $|s(t)|$ et $\angle s(t)$.

Question 5 : **(20 points)**

Un signal FM est modulé par le message $m(t) = A_m \cos(2\pi f_m t)$. Le spectre d'amplitude, $S_{FM}(f)$, 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_{FM} ? 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) Quelle est la puissance, P_{FM}, de ce signal FM ?

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