ORDRE DES INGÉNIEURS DU QUÉBEC

SESSION DE NOVEMBRE 2018

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)**

Le système cellulaire GSM peut opérer dans deux modes : un premier mode dans la bande de fréquences de 850 MHz ainsi qu'un second mode opérant dans la bande de fréquences de 1900 MHz. Un téléphone cellulaire à double mode utilise un récepteur superhétérodyne avec une fréquence intermédaire, $f_{IF} = 250$ MHz, et ce, pour les deux modes d'opérations.

a) Dans le premier mode, la fréquence de l'oscillateur local, f_{osc}, est au-dessus de la fréquence porteuse du signal reçu, f_{RF}. On désire syntoniser un signal analogique à 872 MHz.

   i) Quelle est la fréquence de l'oscillateur local ?

   ii) Quelle est la fréquence image ?

b) Dans le second mode, la fréquence de l'oscillateur local, f_{osc}, est en-dessous de la fréquence porteuse du signal reçu, f_{RF}. On désire syntoniser un signal numérique à 1948 MHz.

   i) Quelle est la fréquence de l'oscillateur local ?

   ii) Quelle est la fréquence image ?

c) Expliquez l'avantage d'utiliser un téléphone cellulaire avec fréquence IF unique ?

Question 2 : **(20 points)**

On désire échantillonner et quantifier le signal suivant afin de le coder en PCM :

$$v(t) = 5\cos(2 \times 10^5 \pi t) + 3\cos(10^5 \pi t)$$

a) Quelle est la puissance moyenne signal P_v (supposez une impédance $Z = 1\Omega$) ?

b) Quelle est la fréquence minimale d'échantillonnage f_s requise pour pouvoir reconstruire le signal à la réception ?

c) Si on utilise un quantificateur uniforme, combien de bits n_b seront nécessaires pour obtenir un rapport signal-à-bruit de quantification d'au moins 120 dB ? Le rapport signal-à-bruit de quantification du quantificateur uniforme est donné par :

$$SQNR_{dB} = 6.02n_b + 4.77 - 20\log_{10}\left(\frac{v_{sat}}{v_{rms}}\right)$$

où v_{sat} est la tension la plus élevée du signal d'entrée avant saturation et v_{rms} est sa tension efficace.

d) Maintenant, si on utilise un quantificateur non-uniforme avec la loi μ, avec $\mu = 255$, combien faut-il de bits pour avoir le même rapport signal-à-bruit de quantification ? Le rapport signal-à-bruit de quantification du quantificateur avec la loi μ est donné par :

$$SQNR_{dB} = 6.02n_b + 4.77 - 20\log_{10}\left[\ln(1+\mu)\right] - 10\log_{10}\left[1 + \left(\frac{v_{sat}}{\mu v_{rms}}\right)^2 + \sqrt{3}\left(\frac{v_{sat}}{\mu v_{rms}}\right)\right]$$

Question 3 : **(20 points)**

Le signal $m(t) = 25\cos(2 \times 10^4 \pi t)$ est modulé en modulation AM conventionnelle avec un indice de modulation AM : $m_{AM} = 80\%$.

a) Écrivez l'expression du spectre d'amplitude du signal $M(f)$.

b) Écrivez l'expression du signal modulé $s_{AM}(t)$ (en fonction de A_c et de f_c) en indiquant clairement les valeurs numériques.

c) Donnez le spectre du signal modulé $S_{AM}(f)$ et tracez-le.

d) Déterminez la densité spectrale de puissance $\mathcal{P}_{AM}(f)$ (en Watts par Hertz).

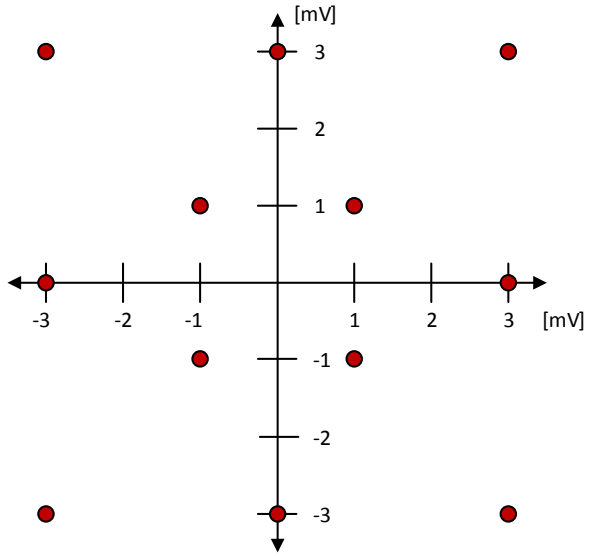
e) L'efficacité de puissance η_{AM} de la modulation AM est définie par le rapport de la puissance des bandes latérales sur la puissance totale du signal AM :

$$\eta_{AM} = \frac{P_{\text{bandes latérales}}}{P_{\text{totale}}}.$$

Quelle est la valeur de l'efficacité de puissance η_{AM} de $s_{AM}(t)$? (justifiez votre réponse).

Question 4 : **(20 points)**

Considérez la constellation de signaux QAM ci-dessous.



a) Écrivez sous forme de tableau, les coordonnées (en volts) et l'énergie correspondante (en joules) de chaque symbole, en supposant une impédance $Z = 75\Omega$ et une durée de symbole $T_s = 10$ ms.

b) Calculez l'énergie moyenne par symbole E_s (en joules [J]) pour cette constellation de signaux.

Question 5 : **(20 points)**

On désire transmettre 60 signaux analogiques, $m_1(t), \cdots, m_{60}(t)$ de largeur de bande de 130 kHz chacun en utilisant la modulation PCM.

a) Quelle est la fréquence minimale d'échantillonnage de chacun de ces 60 signaux afin de pouvoir les récupérer correctement au récepteur ?

b) Ces 60 signaux sont multiplexés en temps (multiplexage *TDM*). Dessinez la trame temporelle en indiquant clairement la position et la durée des échantillons multiplexés.

c) Si on utilise un quantificateur uniforme à $L = 2^{32}$ niveaux, quel sera le débit binaire R_b du signal PCM multiplexé (multiplexage des 60 canaux) ?

d) Pour transmettre ce signal PCM multiplexé en bande passante, on utilise la modulation de phase à 8 niveaux (8PSK) ainsi qu'un filtre à cosinus surélevé avec un facteur $\alpha = 0.4$ (*roll-off factor*). Quelle est la largeur de bande du signal modulé ?