ORDRE DES INGÉNIEURS DU QUÉBEC

SESSION DE NOVEMBRE 2019

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)**

Soit le signal suivant :

$$s(t) = a\cos\left[2\pi f_c t + b\cos(2\pi f_1 t) + c\cos(10\pi f_1 t)\right].$$

a) Déterminez sa déviation de phase $\Delta\theta(t)$ (radians).

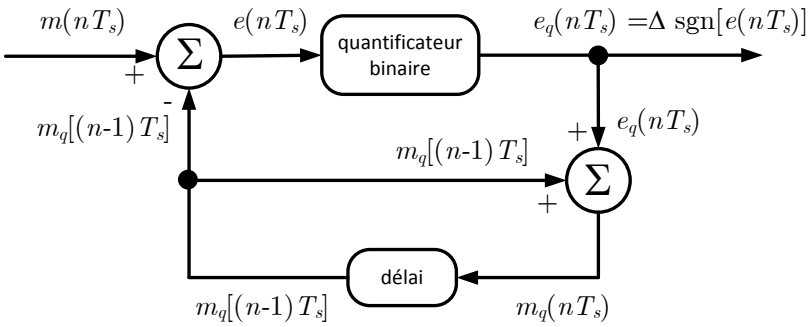
b) Déterminez sa déviation de phase maximale $\Delta\theta_{\max}$ (radians).

c) Déterminez sa fréquence instantanée $f_{\text{inst}}(t)$ (Hertz).

d) Déterminez sa déviation de fréquence maximale $\Delta f_{\max}$ (Hertz).

Question 2 : **(20 points)**

On désire moduler le signal $m(t) = 2 \times 10^{-4}\cos(8 \times 10^5 \pi t)$ [volt] en utilisant le modulateur Delta illustré ci-dessous avec un pas de $\Delta = 4 \times 10^{-6}$ [volt].



a) Quelle est la fréquence d'échantillonnage minimale f_s requise pour prévenir les dépassements (*slope overload*) ?

b) Faites le schéma-bloc du démodulateur Delta en indiquant clairement toutes les composantes et les signaux correspondants.

Question 3 : **(20 points)**

Un système numérique émet des données à un débit de 24 mégabits par seconde. Ce signal est modulé en FSK et transmis dans un canal à bruit blanc addititif gaussien AWGN de densité spectrale de puissance $S_N(f) = \frac{N_o}{2} = 10^{-19}$ watts par Hertz. L'amplitude du signal FSK reçu (sans bruit) est de 80 microvolts avec une impédance de 50 Ω. **Remarque :** la fonction $Q(z)$ peut être approximée par : $Q(z) \approx \frac{1}{\sqrt{2\pi}z} \exp(-z^2/2)$.

a) Quelle est l'énergie par bit E_b du signal FSK ?

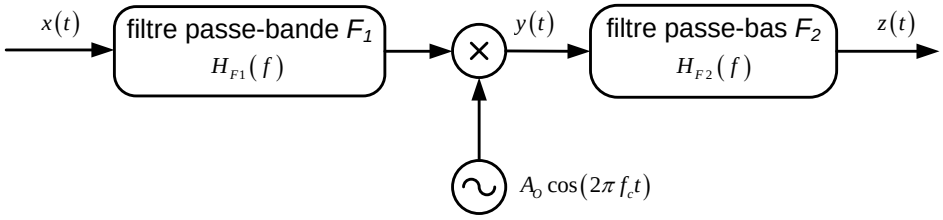
b) Déterminez la probabilité d'erreur moyenne $P_{\text{FSK-noncoh}}$ si on utilise un récepteur FSK non-cohérent.

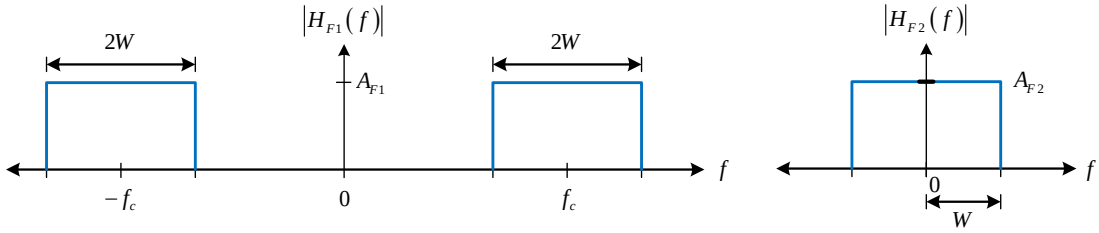
c) Quelle est la probabilité d'erreur moyenne $P_{\text{FSK-coh}}$ si on utilise plutôt un récepteur FSK cohérent.

d) Comparez les résultats obtenus avec les 2 récepteurs FSK.

Question 4 : **(20 points)**

Le signal $x(t)$ à l'entrée du circuit ci-dessous consiste en du bruit gaussien de moyenne nulle et de densité spectrale de puissance $S_x(f) = N_0/2$ [W/Hz].





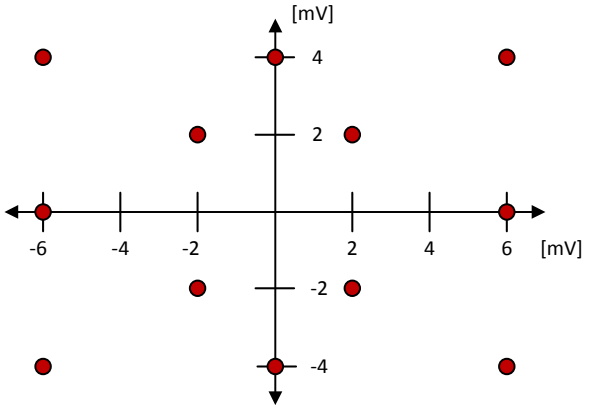
a) Calculez la densité spectrale de puissance $S_z(f)$ à la sortie du filtre passe-bas F_2.

b) Déterminez la fonction d'autocorrélation du signal $R_z(\tau)$ à la sortie du filtre passe-bas F_2.

c) Quelle est la puissance du signal P_z à la sortie de ce filtre ?

Question 5 : **(20 points)**

Considérez la constellation de signaux 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 $T_s = 2$ ms.

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