ORDRE DES INGÉNIEURS DU QUÉBEC

SESSION DE NOVEMBRE 2024

Note au sujet de la propriété intellectuelle des modèles d'examen de l'Ordre des ingénieurs du Québec

Les modèles d'examen se trouvant sur le site internet de l'Ordre des ingénieurs du Québec sont la propriété exclusive de l'Ordre et leur utilisation est strictement limitée à des fins académiques et personnelles. Toute reproduction, distribution ou utilisation commerciale non autorisée de ces modèles constitue une violation de la propriété intellectuelle et est strictement interdite. L'Ordre se réserve le droit de prendre toutes les mesures légales appropriées contre toute utilisation non autorisée de ses modèles d'examen.

Toute documentation permise
Calculatrices : modèles autorisés seulement
Durée de l'examen : 3 heures

22-EL-A3 Signaux et communications

Question 1	20
Question 2	16
Question 3	16
Question 4	30
Question 5	18
Total	**100**

Note : Veuillez rédiger vos réponses de manière claire et lisible

Question 1 (20 points)

1. (4 points) Écrire la relation générale d'un signal $f(t)$ en fonction des coefficients de la série exponentielle de Fourier.
2. Pour chacune des signaux suivants déterminer les coefficients non nuls de la série exponentielle *(Conseil : identifier la période T en fonction de ω_0, puis utiliser les relations trigonométriques et le théorème d'Euler)*.
    a. (4 points) $x_1(t) = cos^2(\omega_0 t)$
    b. (4 points) $x_2(t) = cos(\omega_0 t) + sin(\omega_0 t)$
    c. (4 points) $x_3(t) = sin^2(\omega_0 t)\, cos(2\omega_0 t)$
    d. (4 points) $x_4(t) = sin^3(\omega_0 t)$

Question 2 (16 points)

Évaluer les intégrales suivantes (faire tous les calculs nécessaires) :

1. (4 points) $\int_{-2}^{\infty} \delta(t+3)\, e^{-t} dt$
2. (4 points) $\int_{-2}^{+2} (t^3 + 4)\delta(1-t)\, dt$
3. (4 points) $\int_{-\infty}^{1} \delta(t-2) \sin \pi t\, dt$
4. (4 points) $\int_{-\infty}^{+\infty} g(2-t)\delta(1-3t) dt$

Question 3 (16 points)

Un signal à modulation angulaire de fréquence porteuse $\omega_c = 2\pi \cdot 10^6$ est décrit par l'équation $\varphi_{EM}(t) = 10 \cos(\omega_c t + 0.1 sin\, 2000\pi t)$.

1. (4 points) Trouvez la puissance totale normalisée du signal modulé.
2. (4 points) Déterminez l'écart maximale de phase $\Delta\phi$.
3. (4 points) Déterminez l'écart maximale de fréquence Δf.
4. (4 points) Estimer la largeur de bande approximative de $\varphi_{EM}(t)$.

Question 4 (30 points)

Un étudiant réalise une expérience de laboratoire. Il génère l'oscillogramme n° 1 d'un signal φ(t) modulé en amplitude (AM) est par une sinusoïde de période T.

1. (8 points) Indiquer avec une brève justification (maximum 3 lignes) lequel des oscillogrammes nº 2, nº 3, nº 4, nº 5 obtient-il quand :
    a. il augmente la fréquence du signal modulant.
    b. il diminue fortement la valeur du signal DC ajoutée au signal modulant.
    c. il augmente la valeur du signal DC ajoutée au signal modulant.
    d. il diminue la fréquence de la porteuse.

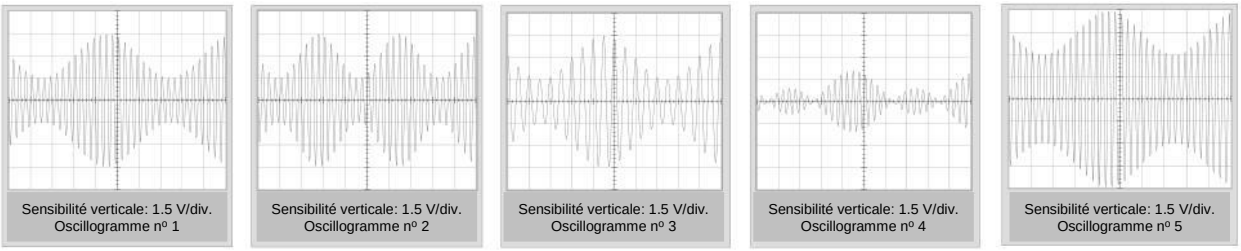

Figure : Question 4

2. (4 points) Déterminer la période et la fréquence du signal modulant de l'oscillogramme nº 1 sachant que le balayage est de 3 ms/div.
3. Le signal modulé est défini par :

$$\varphi(t) = k \cdot p(t) \cdot [E_0 + f(t)]$$
$$f(t) = a_m \cos(2\pi f_m t)$$
$$p(t) = a_c \cos(2\pi f_c t)$$

Avec k, a_m, a_c et E_0 sont des constantes avec a_c très grand devant a_m.

    a. (5 points) Réécrire φ(t) sous la forme générale d'un signal modulé AM :

$$\varphi(t) = \boldsymbol{A}[1 + \boldsymbol{m} \cos(2\pi f_m t)] \cos(2\pi f_c t)$$

    b. (4 points) Déduire les 2 nouvelles constantes ***A*** et ***m*** en fonction de *k, a_m, a_c et E_0*.
4. (4 points) Exprimer l'amplitude maximale E_{max} et minimale E_{min} du signal modulé φ(t) en fonction de *k, a_m, a_c et E_0*.
5. (5 points) Calculer les valeurs de ***m*** pour les oscillogrammes nº 1 et nº 5. Que pouvez-vous conclure.

Question 5 (18 points)

Lors d'un laboratoire, un groupe d'étudiants relève les valeurs du spectre normalisé d'amplitude d'une onde FM dans un tableau (Tableau Question 5). Ce spectre occupe une largeur de bande de 12 KHz (la règle de 1 % est utilisée). $B_{1\%} = 2Nf_m$, N est le nombre de raies significatives correspondantes à $|J_n(\beta)| \geq 0.01$ selon la Table des fonctions de Bessel en annexe. La porteuse est de 10 MHz.

Tableau Question 5

Fréquence	*Fréq. f_c*	*Fréq. 1*	*Fréq. 2*	*Fréq. 3*	*Fréq. 4*	*Fréq. 5*
Amplitude	*0.22*	*0.58*	*0.35*	*0.13*	*0.03*	*0.00*

1. (6 points) Trouver :
    a. l'indice de modulation β
    b. la fréquence du modulant f_m
    c. la déviation maximale de fréquence Δf
2. (6 points) Si la fréquence modulante est réduite de moitié et que le message conserve la même amplitude, trouver pour le nouveau signal modulé :
    a. l'indice de modulation β'
    b. la déviation maximale de fréquence $\Delta f'$
    c. la bande de fréquences B' (on utilisera la règle de 1 %)
3. (6 points) Si le signal modulant triple d'amplitude tout en conservant sa fréquence initiale (Tableau Question 5), trouver :
    a. l'indice de modulation β''
    b. la déviation maximale de fréquence $\Delta f''$
    c. la bande de fréquences B'' (on utilisera la règle de Carson)

Annexe : Tableau des valeurs de la fonction de Bessel $J_n(\beta)$

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