

Nota Bene :

- Les documents ne sont pas autorisés sauf pour la partie B ou le support de cours intitulé « Optical Interconnection on Silicon » peut être utilisé.
- La qualité, la clarté de la présentation ainsi que l'orthographe seront pris en considération dans la notation.
- Le barème est donné à titre indicatif.
- Les deux parties sont totalement indépendantes.

PARTIE A (15 points)

EXERCICE I (5 points)

Une porteuse sinusoïdale $p(t)$ de fréquence $f_p = 100$ MHz et d'amplitude $A = 5$ V est modulée en fréquence par un signal sinusoïdal $u(t)$ de fréquence $f_m = 100$ kHz et d'amplitude $M = 10$ V (cf. figure 1). Le coefficient de sensibilité du modulateur est $k_{FM} = 30$ kHz/V.

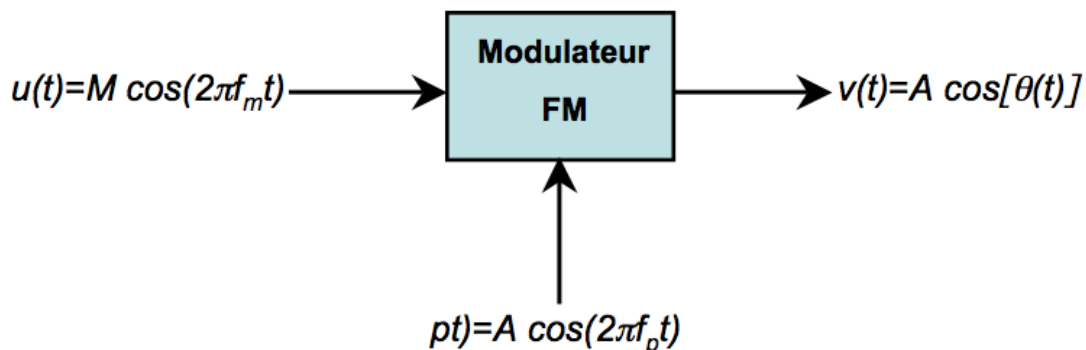


Figure 1

- 1) Donner l'expression de la fréquence instantanée $f(t)$ du signal modulé. En déduire la valeur de l'excursion de fréquence Δf et celle de l'indice de modulation m .
- 2) Donner l'expression de la phase instantanée $\theta(t)$, on prendra une phase nulle à $t = 0$. En déduire l'expression du signal modulé en fréquence $v(t)$.
- 3) Calculer l'encombrement spectral du signal à partir de la règle de Carson.
- 4) En utilisant les fonctions de Bessel de 1^{ère} espèce (cf. annexe), déterminer les différentes composantes spectrales attendues. Calculer leurs amplitudes respectives et représenter le spectre de l'onde FM. Préciser les valeurs extrêmes des fréquences caractérisant le canal de transmission dans la bande de Carson.
 On rappelle que le spectre de Fourier de l'onde FM a pour expression :

$$S(f) = A \sum_{k=-\infty}^{+\infty} J_k(m) \delta(f - f_p - kf_m)$$

- 5) La puissance totale fournie par l'onde FM dans une résistance R est égale à la somme des puissances véhiculées par la porteuse et par les deux bandes latérales. Celle-ci s'exprime selon la relation :

$$P = \frac{A^2}{2R} \sum_{k=-\infty}^{+\infty} J_k^2(m)$$

En déduire la puissance contenue dans la bande de Carson et le comparer à la puissance totale du signal FM. On prendra une résistance de charge de 25 Ω pour les calculs.

EXERCICE II (10 points)

Le bruit est un signal aléatoire, généralement de faible amplitude qui se superpose au signal utile (cf. figure 1). Lors d'une transmission hertzienne, les signaux modulés peuvent être pollués. Afin d'évaluer ce « taux de pollution », on définit le rapport signal sur bruit ou SNR (« *Signal to Noise Ratio* ») en notation anglo-saxonne, obtenue en divisant la puissance S associée à l'onde modulé en terme de moyenne quadratique par la puissance N associée aux composantes de bruit.

Bien que le bruit se compose d'une infinité d'harmoniques, seules les composantes de fréquences appartenant à la bande occupée par le canal de transmission constituent une perturbation. Dans cet exercice, on s'intéresse à la perturbation apportée par une seule des composantes du bruit situé dans la bande de fréquence du signal modulé.

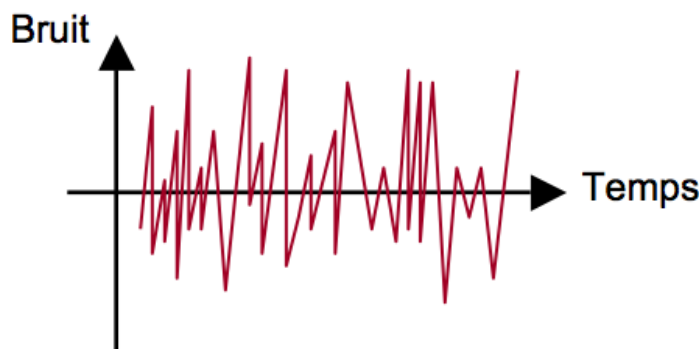


Figure 1

Un modulateur d'amplitude fournit le signal suivant : $v(t) = V_0 [1 + ks(t)] \cos(\omega_0 t)$ avec $s(t)$ le signal BF tel que $s(t) = S \cos(\Omega t)$ ($\Omega \ll \omega_0$). On rappelle que pour un signal modulé en amplitude (et pour un signal modulant sinusoïdal), la puissance moyenne S_e rayonnée par une antenne de résistance R s'exprime selon la relation,

$$S_e = \frac{1}{R} \int_{(T)} v^2(t) dt \equiv \frac{V_0^2}{2R} \left(1 + \frac{m^2}{2} \right)$$

- 1) a) Expliquer pourquoi la transmission directe par onde hertzienne, d'un signal BF est impossible.
- b) Exprimer le taux de modulation m.

- c) Quelle est la largeur de la bande de fréquence occupée par le signal modulé en amplitude ?
- 2) Le signal reçu à l'entrée du récepteur est constitué de $v(t) + b(t)$ avec $b(t) = B \cos(\omega_b t)$ le terme de bruit (ou brouilleur) situé dans la bande de fréquence du signal modulé. La fréquence du brouilleur $f_b = \frac{\omega_b}{2\pi}$ est telle que $|f_0 - f_b| < F$.
- a) Exprimer la puissance moyenne N_e fournie à l'antenne lorsque seul $b(t)$ est appliqué.
 b) Donner l'expression du rapport $(SNR)_e$ à l'entrée du modulateur.
- 3) Pour démoduler, on utilise un démodulateur synchrone (cf. figure 2). Le filtre passe-bas est supposé idéal et sa fréquence de coupure est telle que $F = \frac{\Omega}{2\pi} < f_c < f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi}$. Le multiplieur fournit une tension $ke_1(t)e_2(t)$ lorsque les signaux d'entrées sont respectivement $e_1(t)$ et $e_2(t)$.
- a) Déterminer l'expression de la puissance moyenne S_s , correspondant à la partie utile du signal démodulé.
 b) Exprimer la puissance moyenne N_s correspondant à l'effet du brouilleur sur le signal démodulé.
 c) Dédire le rapport $(SNR)_s$ à la sortie du démodulateur synchrone.
 d) Montrer alors que le facteur d'amélioration à pour expression

$$\alpha = \frac{(SNR)_s}{(SNR)_e} = \frac{2m^2}{2 + m^2}$$

- e) Représenter les variations de α en fonction de m . Conclure.

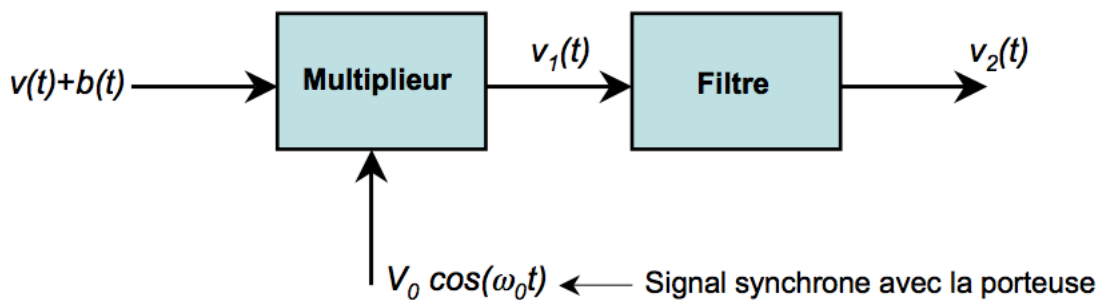


Figure 2

Quelques relations trigonométriques :

$$\begin{aligned} \cos(a + b) &= \cos a \cos b - \sin a \sin b \\ \cos(a - b) &= \cos a \cos b + \sin a \sin b \\ \sin(a + b) &= \sin a \cos b + \cos a \sin b \\ \sin(a - b) &= \sin a \cos b - \cos a \sin b \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \cos^2 a &= \frac{1 + \cos 2a}{2} \\ \sin^2 a &= \frac{1 - \cos 2a}{2} \end{aligned}$$

PARTIE B (5 points)

- a) Quelles sont les 3 longueurs d'ondes dites télécom et les fréquences associées ? On prendra $c=3 \cdot 10^8$ m/s pour la célérité de la lumière dans le vide.
- b) Qu'est ce qu'un substrat SOI : définition et pourquoi permet-il de faire des guides d'onde optique ?
- c) Parmi ces 3 matériaux (plan de boîtes quantiques germanium, multi-puits quantiques SiGe et germanium pur), lequel semble le plus adapté à la photodétection à $1,3\mu\text{m}$ et pourquoi ?
- d) Combien de niveau de masques sont nécessaires pour réaliser un MSM avec contacts en surface avec un couplage en bout (depuis le niveau guide et jusqu'au niveau métal inclus). Les décrire en quelques mots.
- e) Quel est l'effet physique qui semble le plus adapté à la photomodulation à $1,3\mu\text{m}$ et quel type de porteur est le plus efficace et pourquoi ?
- f) Quelle structure interférométrique pour la photomodulation est la moins sensible à la température ?

Fin du sujet

ANNEXE

Table des coefficients de Bessel

m_f	J_0	J_1	J_2	J_3	J_4	J_5	J_6	J_7	J_8	J_9	J_{10}	J_{11}	J_{12}	J_{13}
0.00	1.000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.10	.9975	.0499	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.20	.9900	.0996	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.25	.9845	.1241	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.30	.9776	.1484	.0111	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.40	.9604	.1961	.0197	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.50	.9385	.2423	.0306	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.60	.9120	.2867	.0437	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.70	.8812	.3290	.0588	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.80	.8463	.3689	.0758	.0103	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.90	.8075	.4060	.0946	.0144	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1.00	.7652	.4400	.1150	.0195	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1.25	.6459	.5107	.1711	.0369	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1.50	.5119	.5579	.2321	.0610	.0118	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1.75	.3690	.5802	.2940	.0919	.0209	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.00	.2239	.5767	.3529	.1289	.0340	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.50	-.0484	.4971	.4461	.2166	.0738	.0196	-	-	-	-	-	-	-	-
3.00	-.2601	.3391	.4861	.3091	.1320	.0430	.0114	-	-	-	-	-	-	-
3.50	-.3801	.1374	.4586	.3868	.2044	.0806	.0255	-	-	-	-	-	-	-
4.00	-.3972	-.0661	.3642	.4302	.2812	.1320	.0491	.0152	-	-	-	-	-	-
4.50	-.3206	-.2311	.2179	.4247	.3484	.1947	.0843	.0301	.0092	-	-	-	-	-
5.00	-.1776	-.3276	.0466	.3649	.3913	.2612	.1311	.0534	.0184	-	-	-	-	-
5.50	-.0069	-.3415	-.1174	.2562	.3967	.3209	.1868	.0866	.0337	.0113	-	-	-	-
6.00	.1507	-.2767	-.2429	.1148	.3577	.3621	.2458	.1296	.0565	.0212	-	-	-	-
6.50	.2601	-.1539	-.3074	-.0354	.2748	.3736	.2999	.1802	.0881	.0366	.0133	-	-	-
7.00	.3001	-.0047	-.3014	-.1676	.1578	.3479	.3392	.2336	.1280	.0589	.0236	-	-	-
7.50	.2664	.1363	-.2303	-.2680	.0239	.2835	.3542	.2832	.1744	.0889	.0390	.0151	-	-
8.00	.1714	.2345	-.1131	-.2912	-.1053	.1858	.3376	.3206	.2235	.1263	.0608	.0256	.0097	-
8.50	.0417	.2729	.0222	-.2627	-.2078	.0672	.2867	.3376	.2694	.1694	.0896	.0410	.0157	-
9.00	-.0906	.2451	.1447	-.1810	-.2655	.0552	.2043	.3275	.3061	.2149	.1247	.0622	.0274	.0108
9.50	-.1944	.1609	.2275	-.0656	-.2692	-.1614	.0992	.2868	.3234	.2578	.1551	.0897	.0427	.0182
10.0	-.2454	.0438	.2549	.0584	-.2196	-.2339	-.0145	.2167	.3179	.2919	.2075	.1231	.0634	.0290

$$\begin{aligned}
 s(t) = & A_p J_0 \cos(\omega_p t) + A_p J_1 [\cos[(\omega_p + \omega_m)t] - \cos[(\omega_p - \omega_m)t]] \\
 & + A_p J_2 [\cos[(\omega_p + 2\omega_m)t] + \cos[(\omega_p - 2\omega_m)t]] \\
 & + A_p J_3 [\cos[(\omega_p + 3\omega_m)t] - \cos[(\omega_p - 3\omega_m)t]] \dots
 \end{aligned}$$