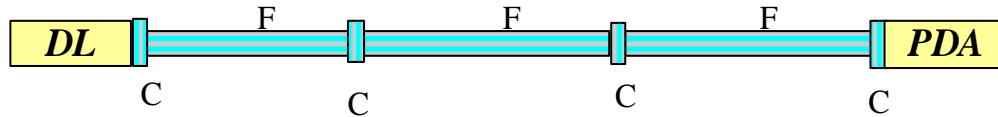


Institut des Sciences Appliquées et Economiques
Electronique B7
Télécommunications Optiques

Première session 2003-2004
Documents autorisés: Livre du cours: Ch.9

Deuxième composition
Durée : 2 heures

Exercice 1 On a le système de transmission par fibres optiques monomodes suivant:



Les paramètres sont:

- * Puissance moyenne émise par la source laser : $P_i = -3 \text{ dBm}$ à la longueur d'onde $\lambda = 0.85 \mu\text{m}$
- * Pertes intrinsèques dans chaque fibre : $\alpha_f = 0.9 \text{ dB/km}$
- * Pertes de liaison fibre - fibre : $\alpha_{ff} = 0.3 \text{ dB/km}$
- * Pertes de connexion fibre - source et fibre - détecteur : $\alpha_{sf} = \alpha_{fr} = 1 \text{ dB}$ sur chacun
- * Puissance reçue par la photodiode à avalanche :
avec 35 Mbits/s et taux d'erreur 10^{-9} : $P_r = -55 \text{ dBm}$
avec 500 Mbits/s et taux d'erreur 10^{-9} : $P_r = -44 \text{ dBm}$
- * Marge de sécurité : $M_s = 9 \text{ dB}$.

1. Estimer la longueur maximale possible du système sans répéteur dans les deux cas 35 Mbits/s et 500 Mbits/s .
2. Estimer la longueur maximale possible si on suppose de plus que le correcteur introduit une perte équivalente à 5 dB .
3. Le facteur de multiplication de PDA est $M = 50$ le facteur d'excès de bruit $F(M) = 4$ et le facteur de bruit d'amplificateur est $F_n = 1$. Estimer la valeur du rapport signal à bruit au niveau de détecteur, avec 500 Mbits/s ; sachant que le courant d'obscurité a une intensité $I_0 = 2 \text{ nA}$ à la température 23°C , l'efficacité quantique est de 75% , la résistance de charge est $R_L = 10 \text{ k}\Omega$, la capacité est $C = 6 \text{ pF}$
4. On remplace la photodiode à avalanche par une autre photodiode PIN de sensibilité spectrale 0.5 A/W . Déterminer la puissance optique demandée pour avoir la même probabilité d'erreur 10^{-9}

Solution 1 $\lambda = 0.85 \mu\text{m}$

1. faisons le bilan d'énergie du système:

* Puissance injectée dans la fibre: $P_i = -3dBm = -33dB$

* Puissance reçue par la photodiode: $\begin{cases} 35Mbits/s \rightarrow -55dBm = -85dB \\ 500Mbits/s \rightarrow -44dBm = -74dB \end{cases}$

$$P_i - P_r = \begin{cases} 35Mbits/s \rightarrow -33 + 85 = 52dB \\ 500Mbits/s \rightarrow -33 + 74 = 41dB \end{cases}$$

Les pertes sont:

$$\alpha_T = \alpha_{f_s} + (3\alpha_f + 2\alpha_{ff})L + \alpha_{f_r}$$

$$= 1 + (3 \times 0.9 + 2 \times 0.3)L + 1 = 2 + 3.3L$$

Le bilan $P_i - P_r = \alpha_T + M_s \iff P_i - P_r = 2 + 3.3L + 9 = 11 + 3.3L$

$$L = \frac{(P_i - P_r) - 11}{3.3}$$

$$\text{Avec } 35 \text{ Mbits/s} : L = \frac{52 - 11}{3.3} = 12.424 \text{ km}$$

$$\text{Avec } 500 \text{ Mbits/s} : L = \frac{41 - 11}{3.3} = 9.0909 \text{ km}$$

2. La perte additionnelle du correcteur est $5dB \implies$

$$\alpha_T = 11 + 3.3L + 5 = 16 + 3.3L$$

$$\text{Avec } 35 \text{ Mbits/s} : L' = \frac{52 - 16}{3.3} = 10.909 \text{ km}$$

$$\text{Avec } 500 \text{ Mbits/s} : L = \frac{41 - 16}{3.3} = 7.5758 \text{ km}$$

3. L'intensité du photocourant est

$$I_p = \eta P_r \frac{\lambda}{1.24}$$

$$P_r = -74dB = 10^{-4.4} = 3.9811 \times 10^{-5} mW$$

$$P_r = 39.811 nW$$

$$I_p = 0.75 \times \frac{39.811 \times 0.85}{1.24} = 20.467 \text{ nA}$$

La valeur quadratique moyenne du courant signal est:

$$\langle i_p^2 \rangle = (M I_p)^2 = (50 \times 20.467 \times 10^{-9})^2 = 1.0472 \times 10^{-12} A^2$$

$$\text{Bruit quantique: } \langle i_q \rangle^2 = 2eB \langle I_p + I_0 \rangle M^2 F(M)$$

B est la bande passante de photodiode

$$B = \frac{1}{2\pi R_L C} = \frac{1}{2\pi \times 10^4 \times 6 \times 10^{-12}} = 2.6526 \times 10^6$$

$$\langle i_q \rangle^2 = 2 \times 1.6 \times 10^{-19} \times 2.65 \times 10^6 \times (20.467 + 2) \times 10^{-9} \times (50)^2 \times 4 = 1.9052 \times 10^{-16}$$

$$\langle i_q \rangle^2 = 1.9052 \times 10^{-16} A^2$$

$$\text{Bruit thermique: } \langle i_t \rangle^2 = \frac{4kT}{R_L} B F_n = \frac{4 \times 1.3 \times 10^{-23} \times (23 + 273) \times 2.65 \times 10^6 \times 1}{10^4}$$

$$\langle i_t \rangle^2 = 4.0789 \times 10^{-18} A^2$$

$$N = \langle i_q \rangle^2 + \langle i_t \rangle^2 = 1.9052 \times 10^{-16} + 4.0789 \times 10^{-18} = 1.946 \times 10^{-16}$$

$$\frac{S}{N} = \frac{\langle i_p^2 \rangle}{\langle i_q \rangle^2 + \langle i_t \rangle^2} = \frac{1.0472 \times 10^{-12}}{1.946 \times 10^{-16}} = 5381.3$$

$$\left(\frac{S}{N} \right)_{dB} = 10 \log_{10} (5381.3) = 37.309 \text{ dB}$$

4. Selon la statistique de Poisson la probabilité de détecter N photons au voisinage d'une valeur moyenne N_m est $P(N, N_m) = \left(\frac{N_m}{N!} \right)^N \exp(-N_m)$ alors la probabilité de détecter 0 photons parmi N_m photons par impulsion est $P(0, N_m) = \exp(-N_m)$ donc le taux d'erreur pour les éléments binaires (0) et (1) est $P_e = \frac{1}{2} \exp(-N_m)$

Pour $P_e = 10^{-9}$ on a $\exp(-N_m) = 2 \times 10^{-9} \implies N_m = -\ln(2 \times 10^{-9}) \simeq 20$ photons par impulsion

La puissance moyenne d'une impulsion est donc : $P_M = \frac{E}{\Delta t}$ pour un débit de 500Mbits/s . si les éléments (0) et (1) sont équiprobale alors la puissance est associée à $\frac{b}{2} \implies \Delta t = \frac{2}{b}$

$$P_M = \frac{N_m b h c}{2 \lambda} = \frac{20 \times 5 \times 10^7 \times 6.6 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{0.85 \times 10^{-6} \times 2}$$

$$= 1.1647 \times 10^{-10} W = 11.64 \text{ nW}$$

La puissance minimale demandée est $P_m = \frac{P_M}{\eta}$

$$S_\lambda = \eta \frac{\lambda}{1.24} \implies \eta = \frac{S_\lambda \times 1.24}{\lambda}$$

$$P_m = \frac{P_M \times \lambda_{\mu m}}{1.25 \times S_\lambda} = \frac{11.64 \times 0.85}{1.24 \times 0.5} = 15.958 \text{ nW}$$

Exercice 2 On réalise une liaison par fibre optique, de longueur 5km , en utilisant une diode laser avec une photodiode.

♠ La diode laser émet de la lumière de longueur d'onde $\lambda = 1.3 \mu m$, de largeur spectrale $\Delta\lambda = 0.1 \mu m$ et de puissance optique 2mW, elle est munie d'une fibre amorce d'indices 1.48 et 1.46, son rayon de coeur est $a_1 = 51 \mu m$.

♠ La photodiode est à avalanche de facteur de multiplication $M = 50$, d'efficacité quantique $\eta = 75\%$ et la bande passante de réception est 5MHz . La liaison entre terminaux est réalisée à l'aide d'une fibre à saut d'indice telle que $n_1 = 1.48$ et $n_2 = 1.5$ et de rayon du coeur $a = 50 \mu m$.

1. Sachant que la perte linéique totale dans la fibre est 3 dB/km. Déterminer la valeur totale de perte en considérant que la perte due à la connexion fibre - détecteur est d'ordre 2dB

2. Calculer la valeur du photocourant généré par la photodiode .
3. Si le coefficient de dispersion chromatique de la fibre est $M_d = 60 \text{ ps} \cdot \text{nm}/\text{km}$.
Calculer la valeur de la bande passante optique de fibre . Comparer cette valeur avec celle du détecteur.

Solution 2 $\lambda = 1.3\mu\text{m}$, $\Delta\lambda = 0.1\mu\text{m}$, $P_0 = 2\text{mW}$, $n_{2e} = 1.48$, $n_{1e} = 1.46$, $a_e = 51\mu\text{m}$,
 $n_{1f} = 1.48$, $n_{2f} = 1.5$, $a_f = 50\mu\text{m}$, $M = 50$, $\eta = 0.75$, $B_R = 5\text{MHz}$

1. Perte totale: $\alpha_T = \alpha_f + \alpha_{sf} + \alpha_{fc}$

$$\alpha_f = 3 \times 5 = 15 \text{ dB}, \quad \alpha_{fc} = 2 \text{ dB}$$

α_{sf} est la perte totale due à la connexion source-fibre:

(a) perte due à la différence des ON:

$$\begin{aligned} \alpha_{ON} &= 20 \log_{10} \left(\frac{ON_s}{ON_f} \right) \\ &= 20 \times \log_{10} \left(\sqrt{\frac{(1.48)^2 - (1.46)^2}{(1.5)^2 - (1.48)^2}} \right) = -5.8689 \times 10^{-2} \end{aligned}$$

(b) Perte due à la différence de surface:

$$\alpha_a = 20 \log_{10} \left(\frac{a_e}{a_f} \right) = 20 \log_{10} \left(\frac{51}{50} \right) = 0.172$$

(c) Perte de Fresnel: $\alpha_F = 10 \log_{10} \left(\frac{\frac{4n_{2f}}{(n_{2f} + 1)^2}}{\frac{4n_{2e}}{(n_{2e} + 1)^2}} \right)$

$$= 10 \log_{10} \left(\frac{\frac{4 \times 1.5}{(1.5 + 1)^2}}{\frac{4 \times 1.48}{(1.48 + 1)^2}} \right) = -1.1471 \times 10^{-2}$$

$$\alpha_{sf} = -5.8689 \times 10^{-2} + 0.172 - 1.1471 \times 10^{-2} = 0.10184$$

$$\alpha_T = 15 + 0.10184 + 2 = 17.102$$

2. La puissance optique de la source est: $2\text{mW} = 3\text{dB}_m = -27\text{dB}$

La puissance incidente sur la photodiode est

$$P_r = -27 - 17.102 = -44.102 = 10^{-4.4102} = 3.8887 \times 10^{-5}\text{W} = 38.9\mu\text{W}$$

L'intensité du photocourant est :

$$I_p = \eta \frac{e\lambda P_r}{hc} = \eta P_r \frac{\lambda}{1.24} = \frac{0.75 \times 1.3 \times 38.9}{1.24} = 30.587 \mu\text{A}$$

Le courant multiplié est $I_M = MI_p = 50 \times 30.587 = 1529.4\mu\text{A} = 1.529 \text{ mA}$

3. La dispersion totale est $\Delta t = \sqrt{(\Delta t_n)^2 + (\Delta t_m)^2}$

$$\Delta t_n = \frac{L(ON)^2}{2cn_{2f}} = \frac{5 \times 10^3 \times ((1.5)^2 - (1.48)^2)}{2 \times 3 \times 10^8 \times 1.5} = 3.3111 \times 10^{-7} \text{ sec} = 33.1 \mu\text{s}$$

$$\Delta t_m = M_d L \Delta \lambda = 60 \times 5 \times 0.1 \times 10^3 = 30000 \text{ ps} = 0.03 \mu\text{s}$$

$$\Delta t = \sqrt{(33.1)^2 + (0.03)^2} = 33.1$$

$$B_f = \frac{1}{\Delta t} = \frac{1}{33.1 \times 10^{-6}} = 3.0211 \times 10^{-2} \text{ MHz} = 30211. \text{ Hz} < B_r$$