

Control de Comunicacions Òptiques

Grup 10 - 22 d'Octubre de 2010

Temps : 1h 15'

Nom:

TEST (6 punts)

Marqueu la resposta correcta. Cada resposta correcta suma 0,4 punts mentre que cada resposta errònia resta 0,1 punts.

- 1) En una fibra òptica estàndard (ITU-T G.652), els materials emprats són:
 - a) El diòxid de silici per al nucli i un polímer per al revestiment.
 - b) Un polímer per al nucli i el diòxid de silici per al revestiment.
 - c) El diòxid de silici tant per al nucli com per al revestiment.
 - d) Un polímer tant per al nucli com per al revestiment.
- 2) El nivell d'scattering de Rayleigh en una fibra òptica estàndard és:
 - a) Proporcional a la quarta potència de la longitud d'ona.
 - b) Inversament proporcional a la quarta potència de la longitud d'ona.
 - c) Aproximadament independent de la longitud d'ona.
 - d) Menyspreable a l'entorn de la tercera finestra.
- 3) De la freqüència normalitzada d'una fibra òptica, podem dir que:
 - a) Com més gran, major concentració d'energia dels modes de propagació dins del nucli.
 - b) Com més gran, menor número de modes de propagació.
 - c) És inversament proporcional a la freqüència d'emissió.
 - d) Totes són certes.
- 4) La dispersió guia-ona, en una fibra òptica de salt d'índex, compleix que:
 - a) És nul·la si els materials que conformen el nucli i el revestiment presenten uns índexs de refracció independents de la freqüència.
 - b) És no nul·la quan es transmet un senyal digital encara que l'amplada espectral de la font sigui ideal.
 - c) És sempre menyspreable enfront de la dispersió del material.
 - d) Només es dona en fibres monomode.
- 5) Una font LED que presenta un diagrama de radiació de Lambert ($\cos \theta$) i que emet a 2° finestra s'acobla a una fibra òptica de salt d'índex. L'acoblament LED-Fibra presenta unes pèrdues per reflectivitat de 0.18 dB i l'eficiència d'acoblament total és de -12.42 dB. Trobeu l'índex de refracció del nucli.
 - a) 1,44
 - b) 1,46
 - c) 1,48
 - d) 1,50
- 6) Continuant amb l'exercici anterior. Trobeu l'índex de refracció del revestiment.
 - a) 1,42
 - b) 1,44
 - c) 1,46
 - d) 1,48
- 7) Continuant amb l'exercici anterior. Trobeu l'angle d'acceptació de la fibra.
 - a) 12.1°
 - b) 13.9°
 - c) 15.7°
 - d) 17.5°
- 8) Determineu l'eficiència d'acoblament de la potència òptica emesa des d'una font puntual envers una fibra de salt d'índex amb obertura numèrica $NA=0.2$ i índex de refracció del nucli $n_1=1.5$. La font radia en un únic sentit de l'espai de la forma $\cos^5(\theta)$ i l'índex de refracció de l'ambient és $n_0=1$. Supposeu que la font està a molt poca distància de la fibra:
 - a) -0.7 dB
 - b) -9.6 dB
 - c) -14.5 dB
 - d) -23.4 dB
- 9) Es vol acoblar la llum procedent d'un LED a una fibra GRIN. Si no es tenen en compte les pèrdues per reflexió, es pot assegurar que l'eficiència d'acoblament respecte una fibra de salt d'índex de les mateixes dimensions, el mateix índex de refracció del revestiment i un índex de refracció del nucli igual al màxim del de la fibra GRIN, és:
 - a) Pitjor
 - b) Millor
 - c) Igual
 - d) Depèn del paràmetre del perfil d'índex

- 10) Es connecten dues fibres exactament iguals i perfectament alineades que tenen un diàmetre del nucli de 50 micres amb un índex de refracció $n_1=1.45$ i una obertura numèrica $NA=0.2$. Si la distància de separació entre les fibres és de 25 micres, estimeu les pèrdues de la connexió degudes a aquest efecte.
- a) 0.4 dB b) 0.8 dB c) 1.2 dB d) 1.6 dB
- 11) Continuant amb l'exercici anterior. A més a més de la distància de separació es produeix un desalineament lateral de 5 micres. Estimeu les pèrdues de la connexió degudes a aquest darrer efecte.
- a) 0 dB b) 0.25 dB c) 0.5 dB d) 0.75 dB
- 12) Suposeu una connexió entre una fibra multimode que propaga 200 modes i una fibra monomode amb amb els mateixos índexs de refracció del nucli i del revestiment. Les pèrdues de la unió, si es considera una distribució uniforme de la llum en la secció transversal del nucli, es pot assegurar que són:
- a) < 18 dB b) > 18 dB c) < 36 dB d) >36 dB
- 13) Una fibra monomode presenta un paràmetre de dispersió del material $D_m = -10 \text{ ps}/(\text{nm}\cdot\text{km})$ a la freqüència de treball. Es transmet un senyal NRZ de 50 Mb/s, procedent d'un LED ($\Delta\lambda=50\text{nm}$), per 10 Km d'aquesta fibra i es mesura un eixamplament dels bits d'un 50%. Trobeu el valor del paràmetre de dispersió de guia-ona en $\text{ps}/(\text{nm}\cdot\text{Km})$.
- a) -10 b) 0 c) 10 d) -20
- 14) Es disposa d'una fibra òptica monomode amb un paràmetre d'atenuació $\alpha = 0.2 \text{ dB/Km}$ i un paràmetre de dispersió cromàtica $D = 17 \text{ ps}/(\text{nm}\cdot\text{Km})$. Per a compensar la dispersió es disposa d'una fibra de compensació de dispersió (DCF) que presenta un paràmetre d'atenuació $\alpha = 0.6 \text{ dB/km}$ i un paràmetre de dispersió cromàtica $D = -85 \text{ ps}/(\text{km}\cdot\text{nm})$. Deduïu quanta fibra DCF serà necessària per cada 100 Km de fibra estàndard.
- a) 500 Km b) 100 Km c) 20 Km d) 5 Km
- 15) Continuant amb l'exercici anterior, si es disposa d'amplificadors òptics ideals de 40 dB de guany, quina serà la màxima distància entre amplificadors si han de compensar totalment les pèrdues. Teniu en compte que els trams de fibra DCF no computen en distància.
- a) 125 Km b) 150 Km c) 200 Km d) 240 Km

PROBLEMA (4 punts)

Marqueu la resposta correcta. Cada resposta correcta suma 0,4 punts mentre que cada resposta errònia resta 0,1 punts.

Es vol estudiar l'efecte de la dispersió cromàtica en la transmissió d'un senyal digital modulats en intensitat en format NRZ per 100 Km fibra monomode amb paràmetre d'atenuació $\alpha=0.2$ dB/Km i un paràmetre de dispersió cromàtica $D=20$ ps/nm/Km. El làser emprat és un làser FP de 3^a finestra amb una potència en contínua $P_0=10$ mW i una amplada espectral $\Delta\lambda=5$ nm.

- 1) Determineu la màxima velocitat de transmissió si es té en compte únicament l'atenuació de l'enllaç. Considereu que l'energia de bit necessària al final de l'enllaç és $E_b=10^{-17}$ J.
a) 10 Gb/s b) 100 Gb/s c) 1 Tb/s **d) 10 Tb/s**
- 2) Determineu la màxima velocitat de transmissió degut a l'efecte de la dispersió cromàtica a partir del model de funció de transferència gaussiana. Assumiu que l'amplada espectral de la modulació és menyspreable.
a) 53 Mb/s b) 75 Mb/s c) 53 Gb/s d) 75 Gb/s
- 3) Imagineu que el làser es canvia per un làser DFB amb una amplada espectral $\Delta\lambda=0.1$ pm. En aquesta situació el que domina és l'amplada espectral de la modulació que està relacionada amb la velocitat de transmissió: $\Delta f=R_b$ (Hz). Trobeu la nova velocitat màxima de transmissió.
a) 57.5 Mb/s b) 575 Mb/s **c) 5.75 Gb/s** d) 57.5 Gb/s

Una forma alternativa de quantificar la limitació imposada per la dispersió és a partir de l'eixamplament temporal relacionat amb el temps de bit.

- 4) Determineu l'eixamplament temporal del bit (ΔT) a una distància $L=100$ Km quan el làser emprat és el FP.
a) 10 ps b) 100 ps c) 1 ns **d) 10 ns**
- 5) Obteniu la relació entre l'eixamplament temporal i el temps de bit resultant si l'ocupació del bit veí és del 75%.
a) $\Delta T=0.5 \cdot T_b$ b) $\Delta T=T_b$ **c) $\Delta T=1.5 \cdot T_b$** d) $\Delta T=2 \cdot T_b$
- 6) Trobeu la màxima velocitat de transmissió aplicant la condició $\Delta T < T_b$ si el làser emprat és el FP.
a) 10 Mb/s **b) 100 Mb/s** c) 1 Gb/s d) 10 Gb/s
- 7) Repetiu la qüestió anterior emprant el làser DFB.
a) 79 Mb/s b) 790 Mb/s **c) 7.9 Gb/s** d) 79 Gb/s

Es pretén ara avaluar els avantatges i inconvenients d'emprar una modulació RZ (durada del pols $T_p=0.5 \cdot T_b$) envers als efectes de la dispersió cromàtica. L'amplada espectral d'aquesta modulació és $\Delta f=2R_b$ (Hz). La condició imposada en aquest cas serà que l'ocupació del bit veí sigui inferior al 50%.

PREGUNTES ANUL·LADES

- 8) Trobeu la màxima velocitat de transmissió del senyal RZ si el làser emprat és el FP.
a) 150 Mb/s b) 200 Mb/s c) 50 Gb/s d) 20 Gb/s
- 9) Repetiu la qüestió anterior emprant el làser DFB.
a) 68 Mb/s b) 680 Mb/s **c) 6.8 Gb/s** d) 68 Gb/s
- 10) Continuant amb l'apartat anterior. Per a que la modulació RZ doni millors prestacions, la condició imposada ha de ser que l'ocupació del bit veí sigui:
a) inferior al 50% b) superior al 50% **c) inferior al 25%** d) superior al 25%

Resolució:

1) Determineu la màxima velocitat de transmissió si es té en compte únicament l'atenuació de l'enllaç. Considereu que l'energia de bit necessària al final de l'enllaç és $E_b=10^{-17}$ J.

$$P_L = P_0 \cdot 10^{-\frac{\alpha \cdot L}{10}} \rightarrow E_{b,L} = P_L \cdot T_b = P_0 \cdot 10^{-\frac{\alpha \cdot L}{10}} \cdot T_b \geq E_{b,\min} \rightarrow R_b \leq \frac{P_0 \cdot 10^{-\frac{\alpha \cdot L}{10}}}{E_{b,\min}} = 10 \text{ Tb/s}$$

2) Determineu la màxima velocitat de transmissió degut a l'efecte de la dispersió cromàtica a partir del model de funció de transferència gaussiana. Assumiu que l'amplada espectral de la modulació és menyspreable.

$$f_E \cdot \sigma = \frac{\sqrt{\ln 2}}{2\pi} \rightarrow f_E = \frac{\sqrt{\ln 2}}{2\pi \cdot \sigma} = \frac{\sqrt{\ln 2}}{\pi \cdot \tau}$$

$$B_s = \frac{R_b}{2} \leq \frac{\sqrt{\ln 2}}{\pi \cdot \tau \cdot L} = \frac{f_E}{L} = B_E \rightarrow R_b \leq \frac{2\sqrt{\ln 2}}{\pi \cdot \tau \cdot L} = \frac{2\sqrt{\ln 2}}{\pi \cdot |D| \cdot \Delta\lambda \cdot L} \approx 53 \text{ Mb/s}$$

$$\tau = |D| \cdot \Delta\lambda$$

3) Imagineu que el làser es canvia per un làser DFB amb una amplada espectral $\Delta\lambda=0.1$ pm. En aquesta situació el que domina és l'amplada espectral de la modulació que està relacionada amb la velocitat de transmissió: $\Delta f=R_b$ (Hz). Trobeu la nova velocitat màxima de transmissió.

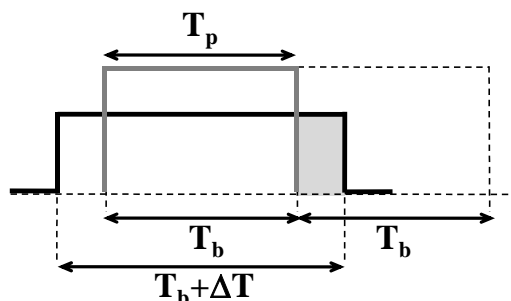
$$R_b \leq \frac{2\sqrt{\ln 2}}{\pi \cdot |D| \cdot \Delta\lambda \cdot L} = \frac{2\sqrt{\ln 2}}{\pi \cdot |D| \cdot \frac{\lambda_c^2}{c} R_b \cdot L} \rightarrow R_b \leq \left[\frac{2\sqrt{\ln 2}}{\pi \cdot |D| \cdot \frac{\lambda_c^2}{c} \cdot L} \right]^{\frac{1}{2}} \approx 5.75 \text{ Gb/s}$$

$$\Delta\lambda \approx \frac{\lambda_c^2}{c} \underbrace{\Delta f}_{R_b} = \frac{\lambda_c^2}{c} R_b$$

4) Determineu l'eixamplament temporal del bit (ΔT) a una distància $L=100$ Km quan el làser emprat és el FP.

$$\Delta T = |D| \cdot \Delta\lambda \cdot L = 10 \text{ ns}$$

5) Obteniu la relació entre l'eixamplament temporal i el temps de bit resultant si l'ocupació del bit veí és del 75%. L'ocupació del bit veí queda esquematitzat en la figura següent:



Així doncs, la relació entre l'eixamplament del pols i el temps de bit donat un nivell d'ocupació es pot expressar com segueix.

$$\frac{\Delta T}{2} = \alpha \cdot T_b \rightarrow \Delta T = 2\alpha \cdot T_b = 1.5 T_b$$

$$\alpha = 0.75$$

6) Trobeu la màxima velocitat de transmissió aplicant la condició $\Delta T < T_b$ si el làser emprat és el FP.

$$\Delta T \leq T_b = \frac{1}{R_b} \rightarrow R_b \leq \frac{1}{\Delta T} = \frac{1}{|D| \cdot \Delta \lambda \cdot L} = 100 \text{ Mb/s}$$

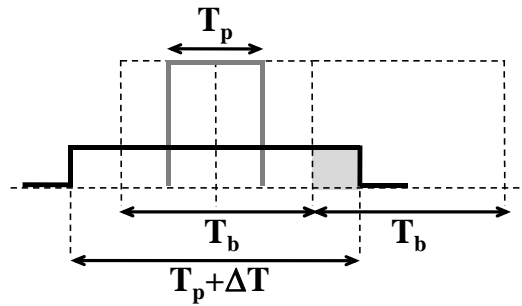
$$\Delta T = |D| \cdot \Delta \lambda \cdot L$$

7) Repetiu la qüestió anterior emprant el làser DFB.

$$R_b \leq \frac{1}{|D| \cdot \Delta \lambda \cdot L} = \frac{1}{|D| \cdot \frac{\lambda_c^2}{c} R_b \cdot L} \rightarrow R_b \leq \left[\frac{1}{|D| \cdot \frac{\lambda_c^2}{c} \cdot L} \right]^{\frac{1}{2}} \approx 7.9 \text{ Gb/s}$$

$$\Delta \lambda \approx \frac{\lambda_c^2}{c} \underbrace{\Delta f}_{R_b} = \frac{\lambda_c^2}{c} R_b$$

8) Trobeu la màxima velocitat de transmissió del senyal RZ si el làser emprat és el FP. L'ocupació del bit veí en aquest cas queda esquematitzat en la figura següent, on el pols s'ha situat al centre del bit per simplicitat:



Així doncs, la relació entre l'eixamplament del pols i el temps de bit donat un nivell d'ocupació es pot expressar com segueix.

$$\frac{\Delta T}{2} - \left(\frac{T_b}{2} - \frac{T_p}{2} \right) = \alpha \cdot T_b \rightarrow \Delta T = 2\alpha \cdot T_b + (T_b - T_p) = 3 \frac{T_b}{2}$$

$$\alpha = 0.5$$

$$T_p = \frac{T_b}{2}$$

$$\Delta T \leq 3 \frac{T_b}{2} = \frac{3}{2R_b} \rightarrow R_b \leq \frac{3}{2\Delta T} = \frac{3}{2|D| \cdot \Delta \lambda \cdot L} = 150 \text{ Mb/s}$$

$$\Delta T = |D| \cdot \Delta \lambda \cdot L$$

9) Repetiu la qüestió anterior emprant el làser DFB.

$$R_b \leq \frac{3}{2|D| \cdot \Delta \lambda \cdot L} = \frac{3}{2|D| \cdot \frac{\lambda_c^2}{c} 2R_b \cdot L} \rightarrow R_b \leq \left[\frac{3}{4|D| \cdot \frac{\lambda_c^2}{c} \cdot L} \right]^{\frac{1}{2}} \approx 6.8 \text{ Gb/s}$$

$$\Delta \lambda \approx \frac{\lambda_c^2}{c} \underbrace{\Delta f}_{2R_b} = \frac{\lambda_c^2}{c} 2R_b$$

10) Continuant amb l'apartat anterior. Per a que la modulació RZ doni millors prestacions, la condició imposada ha de ser que l'ocupació del bit veí sigui:

RZ

$$\frac{\Delta T}{2} - \left(\frac{T_b}{2} - \frac{T_p}{2} \right) \leq \alpha \cdot T_b \rightarrow \Delta T \leq 2\alpha \cdot T_b + (T_b - T_p) = \left(2\alpha + \frac{1}{2} \right) T_b = \frac{4\alpha + 1}{2R_b} \rightarrow$$

$$T_p = \frac{T_b}{2}$$

$$\rightarrow R_b \leq \frac{4\alpha + 1}{2\Delta T} = \frac{4\alpha + 1}{2|D| \cdot \frac{\lambda_c^2}{c} 2R_b \cdot L} \rightarrow R_b^2 \leq \frac{4\alpha + 1}{4|D| \cdot \frac{\lambda_c^2}{c} \cdot L}$$

$$\Delta T = |D| \cdot \Delta\lambda \cdot L = |D| \cdot \frac{\lambda_c^2}{c} 2R_b \cdot L$$

$$\Delta\lambda \approx \frac{\lambda_c^2}{c} \underbrace{\Delta f}_{2R_b} = \frac{\lambda_c^2}{c} 2R_b$$

NRZ

$$\frac{\Delta T}{2} \leq \alpha \cdot T_b \rightarrow \Delta T \leq 2\alpha \cdot T_b = \frac{2\alpha}{R_b} \rightarrow R_b \leq \frac{2\alpha}{\Delta T} = \frac{2\alpha}{|D| \cdot \frac{\lambda_c^2}{c} R_b \cdot L} \rightarrow R_b^2 \leq \frac{2\alpha}{|D| \cdot \frac{\lambda_c^2}{c} \cdot L}$$

$$\Delta T = |D| \cdot \Delta\lambda \cdot L = |D| \cdot \frac{\lambda_c^2}{c} R_b \cdot L$$

$$\Delta\lambda \approx \frac{\lambda_c^2}{c} \underbrace{\Delta f}_{R_b} = \frac{\lambda_c^2}{c} R_b$$

Per a que el cas RZ sigui millor s'ha de complir que:

$$R_{b,RZ}^2 = \frac{4\alpha + 1}{4|D| \cdot \frac{\lambda_c^2}{c} \cdot L} > \frac{2\alpha}{|D| \cdot \frac{\lambda_c^2}{c} \cdot L} = R_{b,NRZ}^2 \rightarrow \frac{4\alpha + 1}{4} > 2\alpha \rightarrow \alpha < \frac{1}{4}$$

L'ocupació del bit veí ha de ser inferior al 25%.