

- a) 1,44 b) 1,45 c) 1 d) 1,5

8. Si una fibra estándar tienen un valor de frecuencia normalizada próximo a 2 se puede afirmar que

- a) a ese valor la apertura numérica es óptima.
- b) La dispersión modal es mínima.
- c) La dispersión cromática es mínima.
- d) Su comportamiento es monomodo.

9. La dispersión de guíaonda:

- a) es siempre del mismo signo que la dispersión del material.
- b) es independiente del radio del núcleo.
- c) es mínima en tercera ventana.
- d) todas son falsas.

10. ¿Cuál de las siguientes afirmaciones referentes a la apertura numérica es cierta?

- a) Si n_2 es mucho mayor que n_1 la apertura numérica se hace muy grande.
- b) La apertura numérica es menor en el agua que en el aire.
- c) La apertura numérica está relacionada con la dispersión modal.
- d) La apertura numérica en fibras de gradiente de índice es mayor que en fibras de salto de índice.

Ejercicio 2:

A una fibra óptica de salto de índice que tiene un índice de refracción del núcleo 1,47; una diferencia relativa de índices de 0,01 y un coeficiente de dispersión cromática de 25 ps/(km.nm) se le inyecta luz de un LED con longitud de onda 1550 nm y anchura espectral 80 nm. Calcular

- a) cuál es la máxima distancia a la que puede transmitirse una señal digital NRZ a 10 Mbit/s.
- b) cuál debería ser como máximo el tiempo de vida del portador para permitir la transmisión del apartado anterior.

Ejercicio 3:

Un LED es modulado en intensidad con una densidad de corriente: $J(t) = J_0 + m_J J_0 \sin \omega t$, siendo J_0 la corriente de polarización, m_J el índice de modulación de la corriente y ω la frecuencia angular moduladora. Con ayuda de la ecuación de ritmo para un LED demostrar que para frecuencias de modulación muy elevadas la potencia óptica emitida es:

$$P(t) \approx P_0 - \frac{P_0 m_J}{t_{sp}} \left(\frac{\cos \omega t}{\omega} \right)$$

Siendo P_0 la potencia óptica emitida en régimen estacionario con la corriente de polarización J_0 y t_{sp} el tiempo de vida del portador.

Ejercicio 4:

Se dispone de dos fibras ópticas monomodo una de 1 Km que tiene un ancho de banda óptico de 500 MHz y otra de 10 Km que tiene un ancho de banda eléctrico de 100 MHz. ¿Cuál es la relación entre sus dispersiones?.

Solución

Ejercicio 1 (test): a, c, c, a, c, a, a, d, d, c

Ejercicio 2:

Apartado (a):

Fibra óptica de salto de índice,

- Comprobar su comportamiento: cálculo de la frecuencia normalizada (V)

$$V = \frac{2p}{l} a \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \approx \frac{2p}{l} a n_1 \sqrt{2\Delta} = 21,06 > 2,405 \text{ ? la fibra es multimodo}$$

- Cálculo de la dispersión. Comprobar que la dominante es la dispersión modal

$$t = \sqrt{t_{MOD}^2 + t_{CROM}^2} \approx t_{MOD}$$

$$t_{MOD} \approx \frac{\Delta n_1}{c} = 49 \left[\frac{ns}{Km} \right]$$

$$t_{CROM} = D_{CROM} (\Delta l) = 2 \left[\frac{ns}{Km} \right]$$

- En la fibra se verifica que: $f_e(\text{GHz} \cdot \text{Km}) s(\text{ns/Km}) = 0.133$ y $2s=t$
 $f_e = 5.424 \text{ MHz} \cdot \text{Km}$

- Para transmitir una señal digital NRZ se necesita un $Bw=R/2$,

$$Bw = \frac{f_e}{L} \geq \frac{R}{2} \rightarrow RL \leq 2f_e = 10.85 \left[\frac{\text{Mbit}}{s} \text{ Km} \right] \text{ ? } L=1,085 \text{ Km ? } L_{MAX}=1,085 \text{ Km}$$

$$R = 10 \left[\frac{\text{Mbit}}{s} \right]$$

Apartado (b):

Para que el LED no limite el ritmo de bit anterior su ancho de banda debe ser = que el ancho de banda de la fibra.

$$Bw \text{ fibra} = f_e/L \sim 5 \text{ MHz}$$

$$Bw \text{ LED} = (2p t_{sp})^{-1} = 5 \text{ MHz ? } t_{sp} = 31,83 \text{ ns ? } t_{sp}(\text{max}) = 31,83 \text{ ns}$$

Ejercicio 3:

LED modulado con $J(t)=J_0 + m_J J_0 \sin \omega t = J(t)=J_0 + m_J J_0 \cos (\omega t - p/2)$?

$$\text{? } J(t) = \text{Re} \left\{ J_0 (1 + m_J e^{j(\omega t - \frac{p}{2})}) \right\}$$

$$\text{? } N(t) = \text{Re} \left\{ N_0 (1 + m_N e^{j(\omega t - \frac{p}{2} - f)}) \right\}$$

en adelante se trabaja con la forma exponencial por simplicidad.

$$J(t) = J_0 + J_0 m_J e^{j(\omega t - \frac{p}{2})} = J_0 + \Delta J(t)$$

$$N(t) = N_0 + N_0 m_N e^{j(\omega t - \frac{p}{2} - f)} = N_0 + \Delta N(t)$$

A partir de la Ecuación de Ritmo para el LED:

$$\frac{dN}{dt} = \frac{J}{qd} - \frac{N}{t_{sp}} \quad ; \text{ teniendo en cuenta que } \frac{J_0}{qd} = \frac{N_0}{t_{sp}} \quad \text{se obtiene (Teoría clase)}$$

$$m_N e^{-jf} = \frac{m_J e^{-j\frac{p}{2}}}{1 + j(\omega t_{sp})} = \frac{m_J}{\sqrt{1 + (\omega t_{sp})^2}} e^{-j(\frac{p}{2} + \arctg(\omega t_{sp}))} \quad ; \text{ y la potencia óptica emitida es:}$$

$$P(t) = \operatorname{Re} \left\{ P_0 + P_0 \frac{m_J}{\sqrt{1 + (\omega t_{sp})^2}} e^{j(\omega t - \frac{p}{2} - \arctg(\omega t_{sp}))} \right\} = P_0 + P_0 \frac{m_J}{\sqrt{1 + (\omega t_{sp})^2}} \cos(\omega t - \frac{p}{2} - \arctg(\omega t_{sp})) \Rightarrow$$

$$P(t) = P_0 + P_0 \frac{m_J}{\sqrt{1 + (\omega t_{sp})^2}} \operatorname{sen}(\omega t - \arctg(\omega t_{sp}))$$

Si la frecuencia moduladora es muy elevada ? $\omega t_{sp} \gg 1$?

$$\frac{m_J}{\sqrt{1 + (\omega t_{sp})^2}} \approx \frac{m_J}{\omega t_{sp}} \quad ? \quad P(t) \approx P_0 + P_0 \frac{m_J}{\omega t_{sp}} \operatorname{sen}(\omega t - \frac{p}{2}) = P_0 - \frac{P_0 m_J}{t_{sp}} \frac{\cos(\omega t)}{\omega}$$

$$\arctg(\omega t_{sp}) \approx \frac{p}{2}$$

Ejercicio 4:

Dos fibras óptica monomodo:

- FO1: $Bw_{o1}=500\text{MHz}$; $L_1=1\text{Km}$; t_1
- FO2: $Bw_{e2}=100\text{MHz}$; $L_1=10\text{Km}$; t_2

En FO1:

$$f_{o1} \cdot s_1 = 0,1874 \rightarrow f_{o1} \cdot \frac{t_1}{2} = 0,1874 \rightarrow t_1 = \frac{2 \cdot 0,1874}{f_{o1}} = \frac{2 \cdot 0,1874}{Bw_{o1} \cdot L_1} = 0,7496[ns / Km]$$

$$f_{e2} \cdot s_2 = 0,133 \rightarrow f_{e2} \cdot \frac{t_2}{2} = 0,133 \rightarrow t_2 = \frac{2 \cdot 0,133}{f_{e2}} = \frac{2 \cdot 0,133}{Bw_{e2} \cdot L_2} = 0,266[ns / Km]$$

$$\frac{t_1}{t_2} = 2,818;$$

La dispersión de FO1 es 2,818 veces la de la FO2