

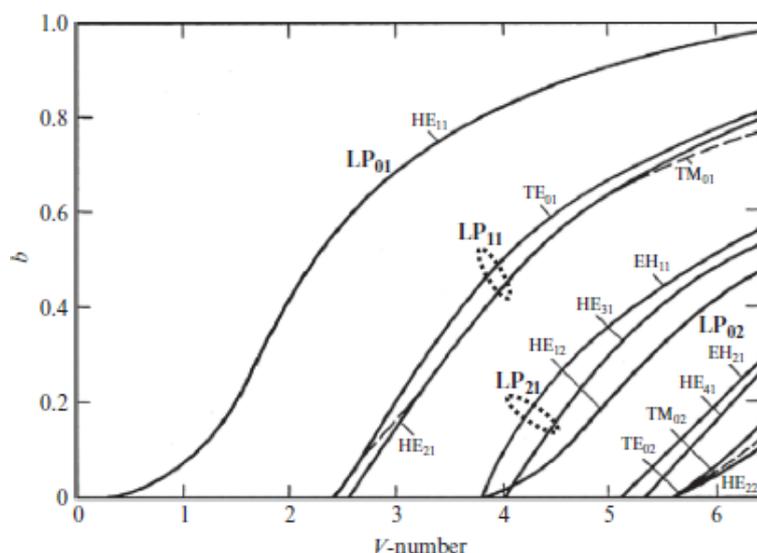
## Segunda Lista de exercícios

1.- Uma fibra óptica cujo perfil de índice de refração é em degrau, tem o índice de refração central  $n_1=1,50$  e o índice de refração de revestimento  $n_2=1,497$ . O diâmetro do núcleo da fibra é  $d=8\mu\text{m}$ .

- (a) Qual é a abertura numérica desta fibra?
- (b) Qual é o comprimento de onda de corte  $\lambda_c$  desta fibra? (A fibra opera em modo único quando o comprimento de onda de operação satisfaz  $\lambda > \lambda_c$ )
- (c) Para transportar uma luz azul no comprimento de onda de  $0,4\ \mu\text{m}$ , aproximadamente quantos modos existem nesta fibra?

2.- Para uma fibra de índice refração em degrau de modo único, o índice de núcleo  $n_1=1,49$  e o índice do revestimento  $n_2=1,487$ , e o raio do núcleo é  $a=4,5\mu\text{m}$ .

- (a) Encontre o comprimento de onda em que  $V = 2$ .
- (b) De acordo com a figura abaixo, para  $V=2$ , a constante de propagação normalizada é aproximadamente  $b=0,4$ . Encontre a constante de propagação longitudinal do modo fundamental  $\beta_z$  neste valor  $b$ , e compare este valor  $\beta_z$  com o valor  $\beta$  de espaço livre correspondente ao índice refração do núcleo.
- (c) Aproximadamente a que distância da interface núcleo / revestimento a amplitude do campo é reduzida a 1% em comparação com seu valor na interface núcleo / revestimento?



3.- Novamente com base na Figura do problema 2, para  $V=3$ , os valores  $b$  dos modos  $LP_{01}$  e  $LP_{11}$  são  $0,7$  e  $0,16$ , respectivamente. Suponha que a fibra de índice em degrau, o índice central  $n_1=1,49$  e o índice de revestimento  $n_2=1,487$ , e o raio do núcleo é  $a=4,5\mu\text{m}$ . Qual é a diferença entre as constantes de propagação,  $\beta_z$ , dos modos  $LP_{01}$  e  $LP_{11}$ ? Para um comprimento de fibra de  $L=10\text{km}$ , qual é a diferença de tempo de chegada entre esses dois modos?

4.- O campo óptico que se propaga ao longo de uma fibra óptica pode ser expresso como  $E(z, t) = E_0 \exp[j(\omega t - \beta z)] \exp(-\alpha z)$ , onde  $\alpha = 1,15 \times 10^{-4} \text{ m}^{-1}$

- a) Qual é o parâmetro de atenuação de potência em  $\text{dB} / \text{km}$ ?
- b) Se o comprimento da fibra é  $30\text{km}$  e a potência óptica de entrada é  $10\text{dBm}$ , qual é a potência óptica em a saída de fibra?

5.- A dispersão cromática pode ser representada por uma constante de propagação dependente da frequência  $\beta(\omega)$ . Suponha que a constante de propagação de uma fibra monomodo seja  $\beta(\omega) = A\omega_0 + B(\omega - \omega_0) + C(\omega - \omega_0)^2$ ,

onde  $\omega_0 = 1,216 \times 10^{15}$  Hz (correspondendo a  $\lambda = 1550$  nm).

(a) Se na frequência óptica  $\omega_0$ , a fibra tem uma velocidade de grupo  $v_g = 2 \times 10^8$  m/s e um parâmetro de dispersão cromática de  $D = 15$  ps / (nm km), encontre os valores de B e C na expressão de  $\beta(\omega)$ .

(b) Suponha que um pulso óptico seja simultaneamente transportado por dois comprimentos de onda separados por 3 nm na janela de comprimento de onda de 1550 nm. Após 20 km de transmissão através desta fibra, aproximadamente qual é a separação de pulso no domínio do tempo causada pela dispersão cromática? (alargamento do pulso).

6.- Para um sistema modulado binário sem distorção da forma de onda, se o desvio padrão normalizado do ruído associados aos níveis de sinal "0" e "1" são 0,05 e 0,15, respectivamente, para o diagrama de olho normalizado,

(a) Encontre o limite de decisão ideal normalizado ( $0 < v_{th} < 1$ )

(b) Encontre o valor Q e o BER

(c) Se o limite de decisão normalizado é escolhido em  $v_{th} = 0,5$ , qual é o BER?

7.- Considere um receptor óptico de detecção direta usando um fotodiodo PIN com uma responsividade  $\mathfrak{R} = 1$  A/W, uma carga de resistência  $R_L = 50 \Omega$ , e uma largura de banda elétrica  $B_e = 10$  GHz. O sinal óptico é modulado NRZ.

Despreze o ruído da corrente escura e a distorção da forma de onda do sinal,

(a) Qual é a sensibilidade do receptor para  $BER = 10^{-12}$  limitado pelo ruído térmico (considerar apenas ruído térmico) e ruído shot (considerar apenas ruído shot), respectivamente?

(b) Qual é aproximadamente a sensibilidade do receptor considerando tanto o ruído térmico quanto o ruído shot?

8.- Considere um sistema de transmissão óptica com modulação de intensidade NRZ a uma taxa de dados de 5 Gb/s. A potência óptica média do sinal óptico emitida pelo transmissor é  $P_{tx} = 6$  dBm, e o coeficiente perda da fibra óptica é  $\alpha = 0,25$  dB/km. A dispersão cromática introduz a distorção da forma de onda que pode ser aproximada por  $v_0 = 2 \times 10^{-6} L$  e  $v_1 = 1 - 2 \times 10^{-6} L$ , onde  $v_0$  e  $v_1$  são os níveis superior e inferior do diagrama de olho normalizado e L é o comprimento da fibra em metros. Para o receptor de detecção direta é usado um fotodiodo PIN que tem uma responsividade  $\mathfrak{R} = 1$  A/W, uma resistência de carga  $R_L = 50 \Omega$ , e uma largura de banda elétrica  $B_e = 5$  GHz. O ruído térmico é considerado como o ruído principal no receptor (negligencie outras fontes de ruído).

(a) Encontre o comprimento máximo de fibra que é permitido para um BER  $10^{-12}$  neste sistema.

(b) Se a dispersão cromática puder ser completamente compensada de modo que  $v_1 = 1$  e  $v_0 = 0$ , qual será o comprimento máximo da fibra de transmissão?

9.- Considere o mesmo sistema óptico do problema 8, exceto que um pré-amplificador óptico é adicionado em frente do fotodiodo com figura de ruído de 6 dB e ganho óptico de 30 dB. O ruído Sinal-ASE é considerado como o principal ruído no receptor (despreze outras fontes de ruído). O comprimento de onda de operação é de 1550 nm.

(a) Encontre o comprimento máximo de fibra que é permitido para ter um BER =  $10^{-12}$  neste sistema.

(b) Se a dispersão cromática puder ser completamente compensada de modo que  $v_1 = 1$  e  $v_0 = 0$ , qual será o comprimento máximo da fibra de transmissão?

