



INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO

**LICENCIATURA EM
ENGENHARIA ELECTROTÉCNICA E DE COMPUTADORES**

Enunciados de Problemas
de
Sistemas de Telecomunicações I

Ano Lectivo de 2002/2003

2.17 Admita que o coeficiente de atenuação de um cabo coaxial apresenta uma variação com a frequência aproximada pela equação $\alpha(f) = \alpha_0 \sqrt{f/f_0}$. Nesta situação,

- Determine e represente graficamente a função de transferência do igualador que compensa a atenuação e a distorção da linha.
- Determine e represente graficamente a função de transferência do igualador, que conduz a uma interferência intersimbólica nula, com factor de excesso de banda 0, tendo como código de linha o código polar NRZ.

2.18 (modificado) Considere uma ligação digital que usa o código polar NRZ e em que se admite que o meio de transmissão não introduz ruído. A ligação está dividida em m secções de transmissão de igual comprimento l e, no fim de cada secção, utiliza-se um repetidor que compensa exactamente as perdas na secção que o antecede e adiciona uma potência de ruído n_o . Considere que o meio de transmissão apresenta um coeficiente de atenuação α independente da frequência.

- Admitindo que cada repetidor é um amplificador, exprima a relação sinal-ruído à saída da ligação em termos da relação sinal-ruído à saída do primeiro amplificador. A partir desta expressão, exprima a probabilidade de erro de bit no fim da ligação em função da relação sinal-ruído à saída do primeiro amplificador.
- Admitindo que cada repetidor é um regenerador 3R, exprima a probabilidade de erro de bit no fim da ligação em função da relação sinal-ruído após o sub-sistema de amplificação do regenerador.
- Determine o ganho de potência de sinal observado por se utilizar regeneração, para uma probabilidade de erro de bit de 10^{-9} , e para $m=1, 5, 10$ e 20 .
- Considere agora que o comprimento de cada secção é $l=40$ km e que a penalidade de potência, em dB, devida ao fecho de olho causado pela distorção originada na transmissão é aproximadamente dada pela expressão $P_p|_{dB} = -10 \log_{10}(1 - d_{km}/825)$ em que d_{km} é a distância de transmissão, em km. Determine o ganho de potência de sinal observado por se utilizar regeneração para a probabilidade de erro de bit de 10^{-9} , e para $m=1, 5, 10$ e 20 .
- Compare os resultados das alíneas c) e d) e tire conclusões quanto às vantagens de utilizar regeneradores.

2.24 (modificado) Num lacete digital do assinante (DSL), usa-se como meio de transmissão uma linha de pares simétricos caracterizada pelos parâmetros $L=0.55 \mu\text{H/m}$ e $C=55 \text{pF/m}$. O débito binário gerado pelo assinante é de 160 kbit/s. Admitindo que usa multiplexagem por compressão do tempo (TCM) para garantir a bidireccionalidade, com um ritmo de transmissão de 480 kbit/s e que cada bloco de informação é constituído por 96 bits, determine o comprimento máximo da linha (considere um tempo de guarda de 15 μs).

3.14 Calcule e represente graficamente o espectro do código AMI para um sinal, designado por DS1 (*Digital Signal 1*) e correspondente à primeira hierarquia de multiplexagem digital plesiócrona (PDH) utilizada nos E. U. A., de débito binário de 1.544 Mbit/s, admitindo que se utilizam

- a) impulsos rectangulares que ocupam 50% da duração do bit
- b) impulsos rectangulares com a duração do bit.

3.15 Represente as formas de onda dos códigos unipolar, polar, AMI, CMI e HDB3 para a seguinte sequência de dados binários

0001 1010 0001 1000 0000 0100

3.16 Calcule a probabilidade de erro do código AMI e exprima-a em termos da relação sinal-ruído, isto é, da razão entre a potência média de sinal e a potência de ruído à entrada do amostrador. Compare-a com a dos códigos polar e unipolar NRZ em termos da relação sinal-ruído exigida para um determinado desempenho (probabilidade de erro).

3.17 Considere o código AMI.

- a) Represente o seu padrão de olho admitindo que cada impulso isolado tem a forma rectangular com duração igual à duração do bit. Este pode ser considerado o padrão de olho à saída do emissor.
- b) Represente o seu padrão de olho admitindo que cada impulso isolado tem a forma rectangular com duração igual a metade da duração do bit. Este pode ser considerado o padrão de olho à saída do emissor.
- c) Represente o seu padrão de olho admitindo que cada impulso isolado tem a forma dada por

$$p(t) = \cos\left(\frac{\pi t}{2T}\right) \cdot \text{rect}\left(\frac{t}{2T}\right)$$

em que T é a duração do bit. Este pode ser considerado o padrão de olho à entrada do amostrador.

- d) Avalie as situações consideradas nas alíneas a) a c) quanto a interferência intersimbólica. Indique a desvantagem do projecto do receptor do sistema ser realizado com o objectivo de obter aquelas formas de impulso à entrada do amostrador.
- e) Indique de que modo se alteram os padrões de olho das alíneas a) a c) para os códigos HDB3 e B6ZS.

PROBLEMA 1 - CO

- a) Deduza a expressão da potência óptica média incidente no PIN necessária para assegurar uma dada probabilidade de erro de bit, considerando o ruído de circuito dominante, um receptor sem pré-amplificação óptica e uma razão de extinção infinita.
- b) Com base na expressão anterior, calcule a sensibilidade de um receptor óptico que usa um PIN com uma eficiência quântica de 0.8, que funciona no comprimento de onda de $1.55 \mu\text{m}$, apresenta uma raiz quadrada da densidade espectral (unilateral) de corrente de ruído de $4 \text{ pA/Hz}^{1/2}$ e uma largura de banda equivalente de ruído de 2 GHz. Admita que a sensibilidade é definida para a probabilidade de erro de bit de 10^{-9} .

PROBLEMA 2 - CO

- a) Deduza a expressão da potência óptica média incidente no pré-amplificador óptico necessária para assegurar uma dada probabilidade de erro de bit, considerando o ruído devido ao pré-amplificador óptico dominante e uma razão de extinção infinita.
- b) Com base na expressão anterior, calcule a sensibilidade de um receptor com pré-amplificação óptica que utiliza o PIN e a parte eléctrica com as características apresentadas no Problema 1 - CO. Admita que a sensibilidade é definida para a probabilidade de erro de bit de 10^{-9} . Considere que o amplificador óptico usado apresenta um ganho de 30 dB, um factor de ruído de 5 dB, e o comprimento de onda de trabalho é 1550 nm. Na saída do amplificador utiliza-se um filtro óptico com uma largura de banda de 1 nm.

PROBLEMA 3 - CO

Um cabo submarino transatlântico tem um comprimento de 6200 km e funciona a um débito binário de 2.5 Gbit/s. A transmissão é feita usando fibra óptica G.655 com um parâmetro de dispersão de 4ps/(nm·km) e um coeficiente de atenuação (incluindo as juntas e conectores) de 0.25 dB/km. A amplificação é feita usando 100 amplificadores ópticos EDFA, com uma largura de banda de 30 nm, e um factor de ruído de 4 dB. O comprimento de onda de trabalho é 1540 nm. A detecção do sinal é feita usando um PIN com uma eficiência quântica de 0.8 e a largura da banda equivalente de ruído do receptor corresponde a 70% do débito binário.

Considere que

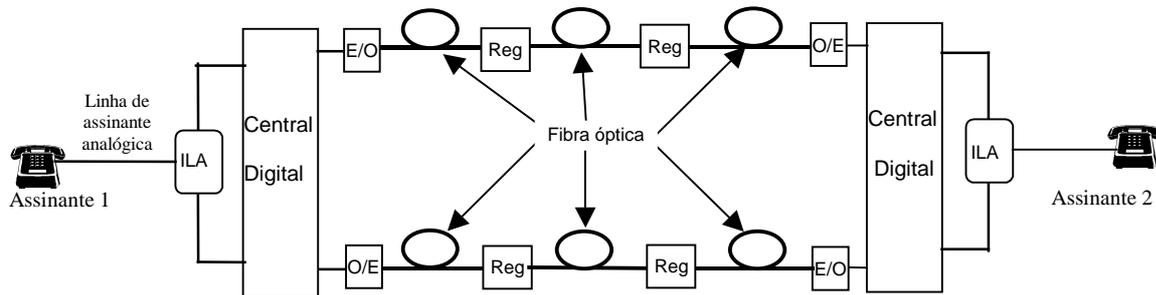
- a razão de extinção é nula,
 - o ganho dos amplificadores ópticos compensa exactamente a atenuação do troço de fibra anterior,
 - as fontes de ruído do receptor se podem desprezar face aos termos de batimento associados ao ruído de emissão espontânea e
 - a largura de banda da cadeia se pode aproximar pela largura de banda de cada amplificador.
- a) Determine a largura espectral máxima do laser emissor e conclua acerca do tipo de laser que deve ser utilizado nesta ligação.
 - b) Determine a sensibilidade do sistema não contabilizando os efeitos da dispersão da fibra. Admita que a sensibilidade é definida para a probabilidade de erro de bit de 10^{-12} .
 - c) Averigue se é possível utilizar modulação directa de um laser DFB monomodal com largura de linha $\Delta\lambda_F = 10^{-4}$ nm. Em caso afirmativo, determine a potência óptica média à saída do emissor óptico que assegura uma margem mínima de funcionamento de 6 dB. No caso de impossibilidade de utilização de modulação directa do laser DFB, identifique a razão da impossibilidade e indique possíveis soluções para o problema.
 - d) Considere agora que utiliza modulação externa do laser DFB monomodal da alínea anterior e determine a potência óptica média à saída do emissor óptico que assegura uma margem mínima de funcionamento de 6 dB. Conclua acerca da possibilidade de utilização deste emissor óptico nesta ligação.
 - e) Admita que pretende melhorar a margem de funcionamento colocando filtros ópticos de largura de banda 1 nm ao longo da linha. Determine a melhoria da margem de funcionamento.

PROBLEMA 4 - CO

Considere a rede telefónica representada abaixo, em que a ligação entre as centrais locais é assegurada por três secções iguais de fibra óptica e transporta, no comprimento de onda de $1.55 \mu\text{m}$, um sinal STM-1. As centrais locais estão distanciadas de 270 km.

Tenha presente que cada regenerador (Reg) compreende, além de outros blocos, um conversor opto-eléctrico (O/E) e um conversor electro-óptico (E/O) que se admitem iguais, respectivamente, ao conversor O/E do receptor e ao conversor E/O do emissor. Note ainda que, depois da conversão O/E, o sinal eléctrico é regenerado.

Nota: um sinal STM-1 corresponde a um débito binário de 155.52 Mbit/s.



Admita que se utiliza fibra óptica caracterizada por um coeficiente de atenuação de 0.25 dB/km e em que a dispersão é desprezável. O laser usado nos conversores E/O é modulado directamente, apresenta uma largura espectral de 1 nm , um factor de enriquecimento da largura espectral de 6 e uma potência acoplada à fibra de 0 dBm . O receptor é caracterizado por uma eficiência quântica de 0.8, uma raiz quadrada da densidade espectral de corrente de ruído de $3 \text{ pA/Hz}^{1/2}$ e uma largura de banda equivalente de ruído igual a 70% do débito de símbolo na transmissão. Nos cálculos despreze o ruído quântico e considere a razão de extinção nula.

Pretende-se garantir uma probabilidade de erro de bit de 3×10^{-10} na ligação entre centrais.

- Determine a margem de funcionamento em cada secção de regeneração, admitindo que o código de linha usado é o unipolar NRZ.
- Determine a margem de funcionamento em cada secção de regeneração, admitindo que o código de linha usado é o 5B6B.
- Compare e comente os resultados obtidos nas alíneas a) e b).
- Determine como se alteram os resultados das alíneas a) e b) quando a fibra óptica utilizada é caracterizada por um parâmetro de dispersão de $17 \text{ ps}/(\text{nm}\cdot\text{km})$.

PROBLEMA 5 - CO

Uma ligação em fibra monomodo de comprimento 80 km apresenta 16 troços de fibra de igual comprimento e coeficiente de perdas de 0.2 dB/km ligados por juntas com 0.2 dB de perdas. Considere que só são utilizados conectores com perdas de 0.8 dB nas ligações entre emissor e fibra e entre a fibra e o receptor.

- Determine a potência óptica média acoplada à fibra no emissor de modo a garantir uma potência média à entrada do receptor de -35 dBm.
- Admitindo que se substituiu uma junta por um conector que apresenta perdas de 0.8 dB, calcule de quantos quilómetros é reduzida a extensão da ligação, para se garantir as potências da alínea a) .

PROBLEMA 6 - CO

- Determine os valores máximos do raio do núcleo para funcionamento monomodo na região de comprimentos de onda da segunda e terceira janelas, $\lambda > 1.2 \mu\text{m}$, admitindo que o índice de refração do núcleo é $n_1 = 1.48$ e a fracção da diferença de índices é $\Delta = 5 \times 10^{-3}$ ou $\Delta = 3 \times 10^{-3}$.
- Determine o número de modos, na segunda janela ($\lambda = 1.3 \mu\text{m}$), de uma fibra multimodo típica em que o raio do núcleo é $25 \mu\text{m}$, a fracção da diferença de índices é $\Delta = 5 \times 10^{-3}$ e o índice de refração do núcleo é $n_1 = 1.48$.

PROBLEMA 7 - CO

- Demonstre que a relação sinal-ruído óptica (em dB), $OSNR$, à saída de uma ligação com N secções de fibra, cada uma com uma atenuação de A_{sec} (devido à fibra e juntas) seguida por um amplificador óptico que apresenta uma potência à saída por canal \bar{P}_S (em dBm) e um factor de ruído F_{dB} (em dB) é dada aproximadamente por:

$$OSNR = 58 + \bar{P}_S - A_{sec} - F_{dB} - 10 \log_{10} N$$

A largura de banda óptica de referência para a obtenção da $OSNR$ é 0.1 nm.

- Exprima o parâmetro Q em função da relação sinal-ruído óptica em condições ideais (razão de extinção infinita e zero IIS) e determine a relação sinal-ruído óptica necessária para garantir uma probabilidade de erro de bit de 10^{-9} . Considere que a largura de banda equivalente de ruído da parte eléctrica do receptor é 10 GHz.