

EPUSP

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - EPUSP Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas - PEA Av. Prof. Luciano Gualberto, Travessa 3, No.158 Butantã - São Paulo - SP CEP: 05508-900



COMPONENTES E SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO E SENSOREAMENTO A FIBRAS ÓPTICAS

5^a AULA

Tipos, Características e Critérios de Projeto dos Sistemas de Comunicação a Fibras Ópticas

Prof. Dr. Josemir Coelho Santos

Horário: 14 h às 17 h (4ª Feira)

3° Quadrimestre 2016

PEA 5716

Tipos de sistemas de comunicação a fibras ópticas

Dividem-se em: • Analógicos • Digitais

ESPECIFICAÇÃO e AVALIAÇÃO Sistemas de Comunicação a Fibras Ópticas

Características das fibras
Atenuação
Dispersão

• Transmissores

• Receptores

Requisitos de um Enlace Óptico

Características limitantes na análise dos requisitos de um Enlace Óptico

- Distância desejada (ou possível) de transmissão);
- Taxa de transmissão de dados ou largura de banda do canal;
- Taxa de erro na comunicação (bit error rate BERpara sistemas digitais)

Configuração Básica de Enlaces

• Dedicados ponto-a-ponto e

• Conectados em redes (locais ou remotas).

Assuntos a serem discutidos

- <u>Enlaces ponto-a-ponto</u>: Critérios para análise de desempenho (aplicáveis, com adaptações, às redes);
- <u>Sistemas de Multiplexação</u> (empregados para aumentar o número de canais de comunicação num mesmo canal;
- <u>Técnicas de Modulação</u> dos sinais nos sistemas analógicos;
- Sistemas de Codificação de dados para os sistemas digitais e
- Sistemas de comunicação coerentes

Enlaces Ponto-a-Ponto

• <u>Fibra óptica</u> (multimodo ou monomodo)

- Diâmetro do núcleo;
- Perfil de índice do núcleo;
- Dispersão;
- Atenuação;
- Abertura numérica (NA)

Parâmetros para análise dos sistemas

• <u>Fonte óptica</u> (LED ou LD)

Fotodetector

(PIN ou APD):

- Comprimento de onda de emissão;
- Largura da linha espectral;
- Potência óptica emitida;
- perda no acoplamento com a fibra
- Responsitividade;
- Comprimento de onda de operação;
- Velocidade de resposta;
- Sensibilidade

Enlaces Ponto-a-Ponto

<u>Tipos de</u> <u>análises a</u> <u>considerar</u>

• Balanço de Potência do Enlace:

• Avalia as perdas envolvidas no mesmo

- Balanço dos tempos de Resposta (ou subida):
 - Avalia sua capacidade de transmissão

Balanço de Potência do Enlace

Modelo para considerar as perdas de potência óptica num enlace ponto-a-ponto



Balanço de Potência do Enlace

A <u>Perda total P_T no percurso é dada por</u>:

 $P_T = P_s - P_R = 2 lc + n l_{sp} + \alpha_f L + margem do sistema$

Onde: $-\underline{P_s}$ é a potência que emerge da fonte de luz para a fibra;

- P_R é a sensibilidade (em dB) do detector;
- \underline{L} é o comprimento total de enlace;
- $\alpha_{\rm f}$ é a atenuação da Fibras Ópticas;
- $l_{\rm SP}$ é a perda em cada Emenda;

- $l_{\rm C}$ é a perda em cada Conectores;

Margem de segurança para perdas (de 6 a 8 dBs)
• variações térmicas;
• envelhecimento;
• etc.

Balanço de Potência do Enlace - Exemplo

Exemplo de forma de utilização do <u>balanço de perdas</u> no projeto de um enlace:

Dados: - Taxa de dados 20 Mb/s;

- Taxa de erro de Bit (BER) de 10⁻⁹;
- Receptor: Fotodiodo *pin* de silício operando a 850nm;

Curvas típicas de sensibilidade de vários detectores (em dB) em função da taxa de transmissão de dados (em Mb/s)

Obtém-se que o sinal de entrada requerido pelo receptor é -42 dB. (42 dB abaixo de 1 mW).



PEA 5716

Balanço de Potência do Enlace - Exemplo

- <u>LED de GaAlAs</u>: Acopla Potência óptica média de <u>50 μ W</u> (-13 dBm) em uma fibra de 50 μ m de diâmetro de núcleo \Rightarrow (perda de potência permissível de 29 dB);

- Assume-se Perda de 1 dB ocorre quando a fibra é conectada a um cabo e que mais 1 dB de perda devida a um conector ocorre na interface cabo-fotodetector;

- Margem de 6 dB para o sistema;

- Distância de transmissão possível para um cabo com uma atenuação de α_f dB/km:

 $\overline{PT} = \overline{PS} - \overline{PR} = 29 \text{ dB} = 2 (1 \text{ dB}) + \alpha f L + 6 \text{ dB}$

Balanço de Potência do Enlace - Exemplo

- Se $\alpha_f = 3,5 \text{ dB/km}$.

∴ é possível construir-se um caminho de transmissão de no máximo 6 km de comprimento.

Gráfico Balanço de Potência óptica num enlace ponto-a-ponto.



PEA 5716

Balanço dos Tempos de Resposta (ou subida) do enlace

O balanço dos tempos de resposta do sistema, muito simplificadamente, considera que o tempo de resposta total do sistema é dado por:

$$\mathbf{t}_{\text{SYS}} = \left(\sum_{i=1}^{N} t_i^2\right)^{1/2}$$

Onde: $-t_i$ - tempos de resposta individuais de cada um de seus componentes:

- $t_{\rm TX}$ tempo de subida do transmissor;
- t_{MAT} tempo de subida da dispersão cromática e do material da fibra;
- t_{MOD} tempo de subida da dispersão modal da fibra;
- $t_{\rm RX}$ tempo de subida do receptor.

Para o tempo de subida do receptor pode-se utilizar a expressão conservativa:

 $T_r = \frac{2.2}{2\pi\Lambda f} = \frac{0.35}{\Lambda f}$, em que Δf é a banda passante do receptor.

Balanço dos Tempos de Resposta (ou subida) do enlace



Limites da Distância de Transmissão, *L*, por PERDAS (linhas contínuas) e por DISPERSÃO (linhas tracejadas) em função da Taxa de Bits (Bit rate). Círculos denotam sistema comerciais e triângulos experimentos de laboratório.

• <u>Topologia da rede</u> : Maneira como os "nós" de uma rede são geometricamente arranjados e conectados.

Áreas de Interesse das LANs em Fibras Ópticas

- Topologias das LANs (Local Network Area);
- Arquiteturas residentes a falhas (Fail Safe) para as topologias;

Topologias Básicas Para LANs a Fibras Ópticas

- Configuração em <u>LINHA</u> (ou tipo barramento, ou Tacoplada);
- Configuração em ANEL;
- Configuração <u>RADIAL</u> (ou em <u>ESTRELA</u>)

• Configuração em LINHA (ou tipo barramento, ou T-acoplada);



• Configuração em ANEL



• Configuração <u>RADIAL</u> (ou em <u>ESTRELA</u>)



• Esquema Acoplador Óptico Ativo Típico



• Exemplo de derivação tipo T unidirecional construída com um acoplador óptico passivo.



• Esquema de dois tipos de acopladores estrela passivos: - os de reflexão e - os de transmissão

(a)

ESTAÇÃO 1 LINHAS DE ENTRADA ACOPLADOR ACOPLADOR LINHAS ESTRELA ESTRELA DE SUPERFÍCIE IRANSMISSIVO REFLEXIVO ENTRADA REFLETORA LINHAS DE SAÍDA ESTAÇÃO N

Acopladores tipo estrela: (a) por transmissão e (b) por reflexão.

(b)

Uma das maneiras de ampliar a capacidade dos enlaces por fibras ópticas é <u>aumentar</u> o <u>número de canais</u> de informação por canal físico utilizando <u>Técnicas de multiplexação</u>.

Técnicas de Multiplexação

- TDM por Divisão de <u>Tempo</u>;
- FDM por divisão de Freqüência;
- WDM por divisão de <u>Comprimento de Onda</u> e
- SDM por divisão de Espaço.

<u>Curva de atenuação</u> simplificada de uma fibra óptica, parte do espectro utilizada por uma fonte de luz isolada e parte livre para outras fontes.





Sistema WDM unidirecional combinando N entradas sobre uma única fibra.



Dispositivo discriminador WDM por dispersão angular.

3° Quadrimestre 2016

Técnicas de modulação e codificação analógicas

Técnicas Empregadas em Sistemas de Transmissão de sinais analógicos

- por intensidade da portadora óptica (D-IM);
- por intensidade da subportadora (SCIM);
- por banda lateral dupla da subportadora (DSBSC);
- por freqüência da subportadora (SCFM); e
- por fase da subportadora (PSCM).

A <u>técnica D-IM</u> é a mais simples e é utilizada também sempre que um sinal analógico é codificado por pulsos, consistindo em modular a potência óptica de saída do emissor de maneira diretamente proporcional à amplitude do sinal elétrico que se deseja comunicar. De forma que a potência óptica do transmissor P_{OT} :

$$P_{OT}(t) = P_{i}[1 + m(t)]$$

Onde:

- P_i é a potência média de saída do transmissor e

- m(t) é o índice de modulação que é proporcional à amplitude do sinal modulante.

Técnicas de modulação e codificação analógicas

Sistema de codificação por Amplitude de Pulsos (PAM) e por Código (PCM)



Formas de onda produzidas por um sistema PAM em comparação com um PCM de três BITs.

Técnicas de modulação e codificação analógicas

Sinais gerados pelas técnicas de modulação por posição de pulsos (PPM) e por largura de pulsos (PWM).

(a) Sinal analógico e amostras,(b) formas de onda PPM,(c) formas de onda PWM.



Sistemas de Codificação de dados para os sistemas digitais



Sistemas de Codificação de dados para os sistemas digitais

Formas de onda de um código RZ.

Nestes códigos o sinal forçosamente retorna a "0", a cada dado transmitido, seja ela zero ou um.

Isto evita o problema da deriva dos sinais de saída e minimiza a taxa de erro na transmissão.



Sistemas Coerentes

Em <u>sistemas de modulação Coerentes</u> a modulação do sinal a ser transmitido se dá sobre a freqüência da própria portadora óptica, o que confere a tal tipo de sistema uma <u>banda passante praticamente infinita</u>, uma vez que a freqüência da onda óptica, como citado no início deste texto, é da ordem dos 10¹⁵ Hz.

