

Lista de Exercícios

1- O que é fotônica?

R.: Fotônica é a ciência que estuda os fótons como transportadores de informação.

2- Quais foram as principais contribuições para o desenvolvimento das comunicações Ópticas?

3- R.:

- 1626 Snell: Leis da Reflexão e Refração da luz;
- 1810 Fresnel: estabelece as bases matemáticas sobre a propagação de ondas;
- 1873 James Clerk Maxwell: demonstra que a luz pode ser estudada como uma onda eletromagnética;
- 1668 Isaac Newton observa que a luz se propaga de forma similar às ondas sonoras (ondas mecânicas);
- 1970 Corning Glass Works (EUA), anunciam a fabricação de fibra óptica de sílica, do tipo mono-modo, com atenuação de 20 dB/km (EUA);
- 1970 Maiman e colaboradores: conseguem o primeiro diodo laser com operação contínua em temperatura ambiente (EUA);
- 1977: primeiro sistema telefônico com fibra óptica em operação regular (EUA);
- 1977- 1978: Primeiros sistemas experimentais com fibras multimodo em 1,3μm (EUA, Europa e Japão);
- 1982: Sistema experimental em 1,55μm a 2 Gbps com alcance de 51,5km (Japão);
- 1985: Sistema experimental em 1,55μm com capacidade de 2000 Gbps usando 10 canais WDM (EUA).

3- O que é LUZ COERENTE E INCOERENTE?

R.: Luz Coerente: é uma luz que possui (teoricamente) uma única frequência ou componente eletromagnética. Luz Incoerente: quando transmitimos um pulso luminoso incoerente de pequena duração na direção de um receptor óptico, as componentes de seu espectro atingem o detector em tempos diferentes, ocasionando o "espalhamento de pulso". Portanto isto faz com que tenhamos a limitação da taxa de transmissão digital. Quanto maior o espalhamento menos luz coerente e quanto menor o espalhamento mais luz coerente.

4- Explique a expressão matemática abaixo:

$$\lambda = v/f$$

R.: λ = Lambda (Comprimento de onda, pode ser expressa em nm)

v = velocidade da luz no meio considerado (no vácuo $v = c = 3 \cdot 10^8$ m/s)

f = frequência do sinal óptico (ondas de luz tem a frequência entre $3 \cdot 10^{12}$ Hz a $3 \cdot 10^{16}$ Hz, cobrindo um largo espectro)

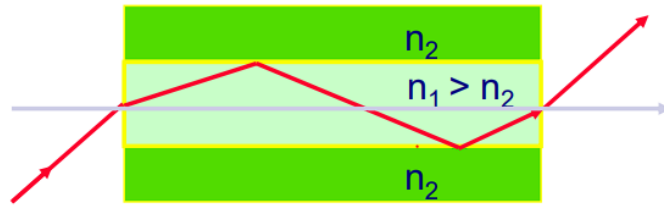
5- Quais são os comprimentos de onda usados em telecomunicações?

R.: Comprimentos de onda 1300 nm e 1550 nm.

6- Com relação as Fibras ópticas:

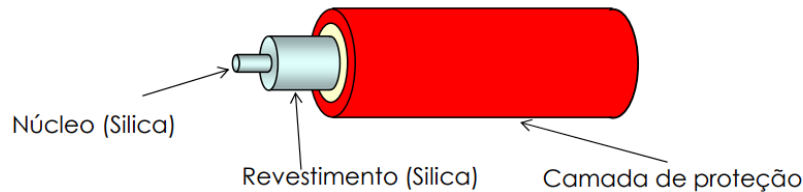
6.1) Explique o princípio de guia de onda.

R.: O princípio de guia de onda é baseado no fenômeno de reflexão total na interface entre dois meios com diferentes índices de refração.



6.2) Do que é constituída uma fibra óptica?

Uma camada de proteção, feita de plástico flexível, cobre o revestimento.



R.:

Núcleo: fibra de vidro com dimensões menores;

Revestimento: fibra de vidro com dimensões maiores;

Camada de proteção: Kevlar.

6.3) Quais são os 3 tipos de fibra ópticas e quais são suas principais características?

R.:

- Fibra Multimodo guiando mais de um modo de propagação. Dentro da fibra, os diferentes modos propagam-se a diferentes velocidades efetivas, ocorrendo o fenômeno de dispersão modal (a distância percorrida é diferente nos diversos modos).
- Fibras tipo "Índice Gradual" foram desenvolvidas para reduzir a dispersão modal (reduzir o número de modos guiados). Estas fibras são caracterizadas por um contínuo perfil decrescente do índice de refração, a partir do núcleo, em direção do revestimento.
- Fibras Mono-modo, o diâmetro do núcleo é reduzido a poucos microns (fibra padrão, 9 microns) e pode guiar somente um modo. A propagação da luz é feita sem a reflexão na interface núcleo - revestimento. Em fibras mono-modo, a dispersão modal é virtualmente zero, entretanto a dispersão cromática deve ser levada em conta.

7- Qual é a principal função de um emissor óptico e quais são as fontes de luz mais utilizadas?

R.: Emissores Ópticos: a principal função é fornecer energia luminosa. Portanto ele converte a energia (em geral elétrica) em luz. Os materiais comumente usados em telecomunicações são semicondutores.

Na maioria das configurações, os emissores ópticos também recebem um sinal elétrico digital. Os emissores então proveem o sinal óptico a ser transmitido.

Fontes Emissoras Ópticas:

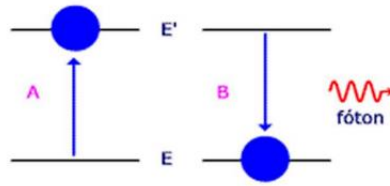
- Diodos LEDs
- Diodos Laser

8- Descreva os princípios dos tipos de emissões em fotoelétrica

R.:

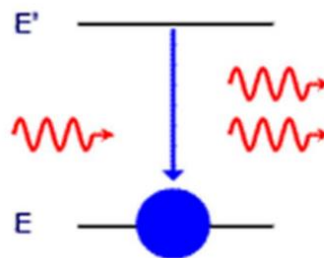
Emissão Estimulada: Um fóton incide sobre um átomo que tem um elétron excitado em um nível de energia equivalente ao do fóton incidente.

Emissão Espontânea



Emissão Espontânea : Neste caso, o fóton incidente faz o elétron retornar ao nível de energia anterior e o resultado são dois fótons, o original e o emitido, nas mesmas direção e fase. Portanto, fótons gerados por emissão espontânea poderiam encontrar átomo sem condições de serem estimulados e, assim, formar uma reação em cadeia no processo.

Emissão Estimulada



9- Apresente vantagens e desvantagens da utilização dos emissores LED?

R.:

Vantagens do LED:

- Menos sensível a variações nas condições atmosféricas
- LEDs são componentes muito confiáveis pela sua simplicidade
- O controle eletrônico é simples
- Maior tempo de vida
- Custo baixo

Desvantagens do LED:

- Larga emissão espectral limitando o seu uso em enlaces distantes (dispersão cromática).
- Baixas taxas de transmissão (largura de banda de transmissão)
- Potência óptica menor (sinal mais fraco)
- Perdas de eficiência significativas devido ao feixe não ser muito direcional.

10- Quais são as características que devem possuir os receptores ópticos?

R.: Receptores ópticos recebem feixes de fótons e possuem a função de converter a energia luminosa em energia elétrica. Restauram a informação contida no sinal óptico.

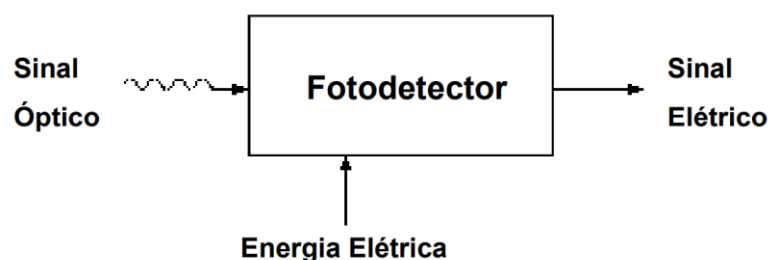


Diagrama Funcional de um Fotodetector

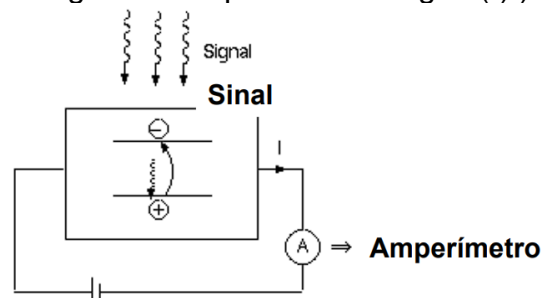
Os receptores ópticos devem possuir as seguintes características:

- Boa sensibilidade: essencial para enlaces longos;
- Ruído interno baixo: para obter uma baixa taxa de erro de transmissão;
- Tempo de resposta deve ser pequeno: se a velocidade de transmissão for elevada;
- Necessário possuir boa linearidade se o sinal transmitido for analógico.

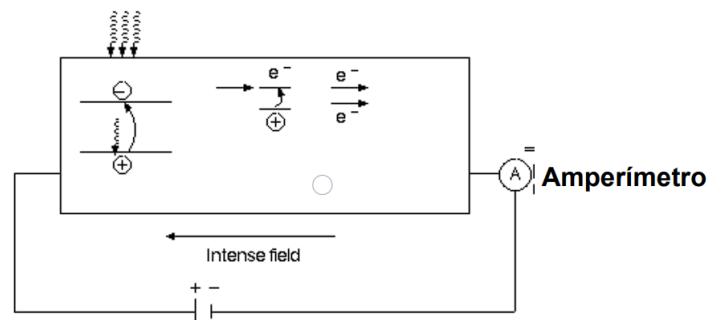
11- Quais são as principais características dos receptores ópticos PIN e APD?

R.:

PIN (Positive - Intrinsic -Negative): Consistem em uma junção PN. Um fóton do sinal, transmite sua energia a um elétron de valência. Quando este elétron absorve a energia suficiente, ele passa para a faixa de condução. Sob o efeito de um campo elétrico, o elétron migra a um eletrodo que gera uma corrente elétrica. O valor da corrente depende assim da potência óptico recebida. Um diodo PIN consiste em 3 regiões (P - região dopada com cargas (+), I - região intrínseca na qual os fótons são absorvidos e uma região N - dopada com cargas (-)).



APD (Avalanche PhotoDiode): Consistem em uma junção PN. Em um fotodiodo de avalanche, o elétron gerado pela absorção de um fóton induz a criação de outros elétrons livres. Estes elétrons então libertam outros elétrons de forma que a corrente criada na junção é Multiplicada por um fator M. Os fotodetectores APD são fotodetectores que combinam a detecção de sinais ópticos com amplificação(ganho) interna da fotocorrente.



12- Quais são os fatores que influenciam as perdas do enlace?

R.: Perdas do enlace: $A \text{ (dB)} = A_f + A_c + A_e$

- atenuação da fibra: A_f
- atenuação dos diferentes componentes presentes entre T e R: A_c
- atenuação provocada pelo ambiente (temperatura, flutuação da tensão de alimentação, etc.): A_e

13- Quais são os fatores que influenciam as penalidades do sistema?

R.: Penalidade do sistema: $P \text{ (dB)} = P_a + P_r$

- envelhecimento do cabo, dispositivos, etc.: P_a
- penalidades por manutenção no cabo (emendas futuras, adição de trechos de cabos, etc.) : P_r

14- Defina redes de Acesso e redes de Transporte.

R.:

Redes de Acesso: baixas taxas de transmissão e pequenas distâncias. Não é possível identificar os usuários. Ocorre entre equipamentos de comunicação.

Rede de Transporte: altas taxas de transmissão e grandes distâncias. Tem capilaridade possuindo “n” assinantes ligados a um aparelho de transmissão.

Caracteriza-se pelo acesso pelo assinante.

15- Qual a diferença entre Regeneradores e Amplificadores?

R.:

Regeneradores: Sinal fixo, havendo reconstituição elétrica do sinal óptico.

Normalização do sinal elétrico que é enviado ou emitido novamente em sinal óptico.

Conversão: Sinal Óptico → Sinal Elétrico → Sinal Óptico

Amplificadores: Sinal amplificado apresenta uma variação ou ganho, este aumento ocorre contudo mantém distorções de alargamento. Amplificação: Sinal Original → Ganho → Sinal Amplificado

16- Quais as principais características de um enlace óptico:

a) Quanto a especificação do cliente?

R.: Especificações do cliente

- Localidades participantes do enlace (geografia);
- Taxa e qualidade de transmissão (voz, dados);
- Proteção da transmissão.

b) Quanto aos parâmetros do sistema?

R.: Definição dos parâmetros do sistema;

- Cálculo do enlace (atenuação / dispersão cromática);
- Tipo de proteção (linha, equipamento, etc.);
- Arquitetura da rede (linear, anel, etc.);
- Comprimento de onda de transmissão;
- Largura espectral do sinal, potência de entrada e saída de amplificadores ópticos e seu ruído óptico.

17- O que se deve levar em consideração quanto ao cálculo do enlace para parametrização do sistema?

R.:

I - Cálculo do balanço de potência óptica do enlace

Requer os seguintes parâmetros:

- Ganho do enlace: G (dB)

$$G = P_t \text{ (dBm) } - P_r \text{ (dBm) }$$

- Perdas do enlace: A (dB) = A_f + A_c + A_e

- atenuação da fibra: A_f

- atenuação dos diferentes componentes presentes entre T e R: A_c

- atenuação provocada pelo ambiente (temperatura, flutuação da tensão de alimentação, etc.): A_e

- Penalidade do sistema: P (dB) = P_a + P_r

- envelhecimento do cabo, dispositivos, etc.: P_a

- penalidades por manutenção no cabo (emendas futuras, adição de trechos de cabos, etc.) : P_r

Margem BOL : M_{bol} = G - A (dB)

Margem EOL : M_{eol} = M_{bol} - P (dB)

II - Cálculo da dispersão cromática

Requer os seguintes parâmetros:

- comprimento de onda do sinal em questão: λ
- largura espectral do sinal: $\Delta\lambda$
- dispersão cromática da fibra no λ do sinal: D_λ (ps/nm.Km)
- Comprimento da fibra (km)
- dispersão cromática dos componentes presentes no enlace, no λ do sinal: $D_c\lambda$ (ps/nm)

$$\text{Dispersão: } \Delta t \text{ (ps)} = \sum_{\text{sessões}} D_\lambda \cdot L \cdot \Delta\lambda + \sum D_c \cdot \Delta\lambda$$

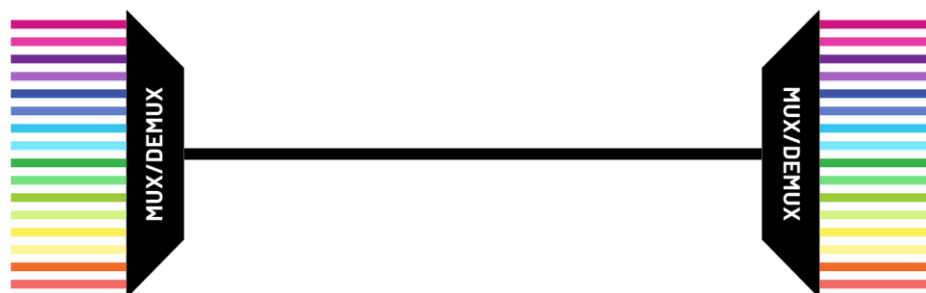
$$\text{Largura de Banda do enlace: } B_{\text{enlace}} = 0,44 / |\Delta t|$$

18- Sobre as soluções ópticas de altíssima velocidade, responda:

a) O que é DWDM, como funciona e quais são suas principais características?

R.:

O DWDM ou **D**ense **W**avelength **D**ivision **M**ultiplexing - multiplexação densa por comprimento de onda é uma tecnologia WDM. Segundo a ITU (International Telecommunications Union), os sistemas DWDM podem combinar até 64 canais em uma única fibra. O DWDM é um desdobramento de uma tecnologia anterior, a WDM. Que, basicamente, usa diversos lasers para transmitir múltiplos comprimentos de onda de luz simultaneamente, multiplexando os sinais em uma única fibra óptica. Ou seja, com uma só fibra ele consegue levar mais de um só canal. A tecnologia do WDM, e consequentemente do DWDM, segue o mesmo princípio. Todo canal de transmissão é, em sua origem, um comprimento de onda (ou, como chamam na física, uma lambda). Cada comprimento de onda pode carregar diferentes montantes de dados, de mega a terabytes. E o objetivo principal é sempre chegar de um ponto a outro. Usualmente, cada comprimento de onda tem sua própria rede por onde ele percorre. A tecnologia WDM está justamente neste ponto.



Por meio de micro espelhos ligados a uma caixa transmissora, a tecnologia consegue juntar diversos espectros em um só, que segue de **A** a **B** por uma única fibra óptica e se separa quando chega no destino final. Isso só é possível devido às interferências construtivas e destrutivas que condensam e dispersam as ondas quando necessário. O WDM e o DWDM são, basicamente, uma tecnologia de transporte que levam os dados de uma porta até outra. A diferença entre eles está, essencialmente, na capacidade de condensação e transporte de comprimento de ondas. Enquanto nos sistemas WDM, a capacidade de transmissão apenas dobra, no DWDM é possível suportar até 120 comprimentos de ondas, cada uma carregando até 400/600 gigabytes. No entanto, é importante ressaltar que quanto mais lambdas em uma única fibra, mais instável é a transmissão. Por elas estarem muito próximas umas das outras, é possível que exista uma interferência entre canais. Para esses casos, se faz necessário a inclusão do FEC, Forward Error

Correction ou Correção Antecipada de Erros, que garante a correção de instabilidade e faz com que os dados cheguem com uma integridade aceitável na recepção.

b) O que é GPON, como funciona e quais são suas principais características?

R.:

GPON é a sigla em inglês de **G**igabit-capable **P**assive **O**ptical **N**etwork, ou Rede Óptica Passiva com Capacidade de conexão em Gigabits. Também conhecido como G.984, é um dos padrões possíveis para a topologia de rede PON, ou Passive Optical Network (Rede Óptica Passiva). Para entender o que é GPON, é preciso primeiro entender o que é PON. Por ser uma rede passiva, isso significa que o splitter, responsável por redistribuir a conexão entre o concentrador de rede da operadora (Optical Line Terminal, ou OLT) e o receptor do usuário (Optical Network Unit, ou ONU, também chamado de Optical Network Terminal, ou ONT) não é energizado. Por não existir uma corrente elétrica na estrutura da rede, é possível usar bem menos infraestrutura do que uma rede tradicional na “última milha”, a distância final entre o provedor e o consumidor, bem como o risco de acidentes é menor.

A principal característica de uma rede PON é o uso da fibra óptica para entregar conexões de alta velocidade aos usuários, com uma topologia de rede ponto-multiponto, mais vantajosa do que a ponto-a-ponto, em que cada usuário tem uma conexão direta com o provedor ou o distribuidor de rede. Na topologia ponto-multiponto, cada ONU/ONT recebe os dados de todos os usuários de uma região enviados pelo OLT (broadcast), com o terminal do usuário filtrando o que o consumidor deverá ver. No sentido inverso, o ONU/ONT envia as informações de upstream de volta em velocidade assíncrona, menor do que a download. Os dados trafegam criptografados para impedir que o usuário **A** receba dados do usuário **B**, já que todos os ONUs/ONTs são alimentados com as mesmas informações.

O upload na arquitetura PON não é contínuo, mas feito em pulsos. Cada usuário tem uma janela de tempo para enviar seus dados para o splitter, que irá reunir as conexões de uma região e mandar tudo de volta para o OLT. O padrão GPON denomina uma rede PON capaz de oferecer uma conexão acima de 1 gigabit por segundo (1 Gb/s). No geral, a estrutura é capaz de fornecer uma velocidade de download de até 2,5 Gb/s, enquanto o upload alcança até 1,25 Gb/s. Como a demanda é maior no sentido provedor-usuário do que o contrário, uma rede assimétrica é mais vantajosa, por permitir maiores velocidades de download.

O Split ratio 1:64 (eficiência da rede) é a quantidade de usuários que cada splitter é capaz de conectar em uma rede. No padrão GPON, em cada ponto de rede não energizado saindo do OLT, é possível ligar até 64 ONUs/ONTs, com atualizações de hardware suportando até 128 conexões. A razão do número de usuários varia conforme a quantidade de serviços disponibilizados, quanto mais serviços, menor é o número de usuários para que todos os consumidores tenham a máxima qualidade de conexão. A respeito de qualidade, a eficiência de uma rede GPON é também bastante alta, por seu protocolo prever transmissão de pacotes com tamanhos variados, entre 64 e 1.518 bytes. Assim, a eficiência da transmissão como um todo chega a 92%.