



UFPA

DESENVOLVIMENTO DE EXPERIÊNCIAS PARA A DISCIPLINA COMUNICAÇÕES ÓPTICAS DO CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA DA UFPA

Cláudia da Silva Batista
Rubia Ilza Conceição de Barros

2º. Semestre / 2001

CENTRO TECNOLÓGICO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DO GUAMÁ
BELÉM - PARÁ

Universidade Federal do Pará
Centro Tecnológico
Curso de Engenharia Elétrica

Cláudia da Silva Batista
Rubia Ilza Conceição de Barros

DESENVOLVIMENTO DE EXPERIÊNCIAS PARA A DISCIPLINA COMUNICAÇÕES ÓPTICAS DO CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA DA UFPA

Trabalho submetido ao colegiado
do curso de Engenharia Elétrica
para obtenção do grau de
Engenheiro Eletricista com
ênfase em Telecomunicações.

Belém
2002

DESENVOLVIMENTO DE EXPERIÊNCIAS PARA A DISCIPLINA COMUNICAÇÕES ÓPTICAS DO CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA DA UFPB

Este trabalho foi julgado em 03/05/2002 adequado para obtenção do Grau de Engenheiro Eletricista – Ênfase em Telecomunicações e aprovado na sua forma final pela banca examinadora que atribuiu o conceito **Excelente**.

Prof. Dr. João Crisóstomo Weyl Albuquerque Costa
ORIENTADOR

Prof. Dr. Rubem Gonçalves Faria
MEMBRO DA BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Evaldo Gonçalves Pelaes
MEMBRO DA BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Jorge Brito de Souza
COORDENADOR DO CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

SUMÁRIO

SUMÁRIO.....	iv
LISTA DE ILUSTRAÇÕES.....	vi
LISTA DE TABELAS.....	ix
RESUMO.....	x
INTRODUÇÃO.....	1
CAPÍTULO 1 – VISÃO GERAL DOS SISTEMAS DE COMUNICAÇÕES ÓPTICAS.....	2
1.1 Componentes dos sistemas de comunicação óptica.....	2
1.2 Mecanismos limitantes na transmissão da fibra óptica.....	6
1.2.1 Atenuação.....	7
1.2.2 Dispersão.....	9
1.2.3 Perda por reflexão de Fresnel.....	11
1.3 Vantagens e Desvantagens do uso da fibra óptica.....	11
1.4 Evolução das Redes Ópticas.....	13
1.4.1 Redes Ópticas da Primeira Geração.....	13
1.4.2 Redes Ópticas da Segunda Geração.....	19
1.4.3 Redes Ópticas da Terceira Geração.....	21
CAPÍTULO 2 – EXPERIÊNCIAS PARA O LABORATÓRIO DE COMUNICAÇÃO ÓPTICA.....	26
2.1 Experiência 01: Transmissor NRZ de 1 Mbps.....	27
2.2 Experiência 02: Receptor para comunicação de dados.....	32
2.3 Experiência 03: Fibra Óptica.....	35
2.4 Experiência 04: Balanço de potência e largura de banda de componentes ópticos.....	42
2.5 Experiência 05: Modulando um LED ou IRED.....	45
2.6 Experiência 06:Sistema de transmissão AM.....	50
2.7 Experiência 07:Sistema de transmissão FM.....	53

2.8	Experiência 08:Demodulação de portadora FM.....	58
2.9	Experiência 09:Modulação em largura de pulso.....	62
2.10	Experiência 10: Receptor de PWM.....	68
	CAPÍTULO 3 – SIMULADOR PARA ANÁLISE DE ENLACES ÓPTICOS.....	73
3.1	Visão geral do <i>Toolbox</i>	73
3.2	Exemplos de aplicação utilizando os blocos modificados.....	82
	CONCLUSÃO.....	88
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	89

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

CAPÍTULO 1

Figura 1.1– Elementos constituintes de um sistema de comunicação.....	2
Figura 1.2 – (a) Fibra óptica, (b) Reflexão na fibra, (c) Fibra multimodo, (d) Fibra monomodo.....	4
Figura 1.3– Sistema de comunicação óptica.....	6
Figura 1.4 – Espalhamento.....	7
Figura 1.5 – Curva de perdas versus comprimento de onda.....	9
Figura 1.6 –Dispersão.....	9
Figura 1.7 – Gráfico da dispersão material.....	11
Figura 1.8–(a) Topologia física da rede, com os caminhos ópticos estabelecidos mostrados, (b) Topologia virtual, aquela vista pela camada.cliente.da.camada.fotônica.....	20
Figura 1.9 – WDM.....	22
Figura 1.10 – Representação de uma rede óptica de terceira geração.....	23
Figura 1.11 – Clientes eventuais da camada fotônica.....	24

CAPÍTULO 2

Figura 2.1 - Master Builder Trainer.....	26
Figura 2.2- Master Builder Trainer ligado aos equipamentos de medição.....	27
Figura 2.1.1 - Fluxo de dados binários.....	28
Figura 2.1.2 - Código Manchester.....	29
Figura 2.1.3 - Codificação bipolar de pulsos.....	29
Figura 2.1.4 - Circuito experimental.....	30
Figura 2.2.1 - Circuito experimental.....	35
Figura 2.3.1 - Ciclo de trabalho.....	38
Figura 2.3.2 - Circuito experimental.....	40
Figura 2.5.1 - Circuito básico para acoplar um sinal AC em um circuito DC que produz luz.....	46

Figura 3.11 – Bloco de moduladores e demoduladores.....	81
Figura 3.12 – Estrutura de simulação de um enlace óptico utilizando modulação ASK.....	82
Figura 3.13 – Resposta temporal do enlace utilizando modulação ASK	84
Figura 3.14 - Estrutura de simulação de um enlace óptico.....	85
Figura 3.15 – Resposta de um enlace óptico.....	87

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1

Tabela 1.1 – Velocidades padronizadas SONET/SDH.....	14
--	----

CAPÍTULO 2

Tabela 2.3.1 – Perdas nos cabos SH4001 e EH4001.....	39
Tabela 2.7.1 – Frequência de saída versus tensão de controle.....	56
Tabela 2.7.2 – Controle do LED versus tensão de polarização.....	56

CAPÍTULO 3

Tabela 3.1 – Parâmetros utilizados na simulação de um enlace utilizando modulação ASK.....	83
Tabela 3.2 – Parâmetros utilizados na simulação de um enlace óptico.....	86

As atividades desenvolvidas nesse trabalho desmembram-se em duas linhas distintas. A primeira constitui na elaboração e teste das experiências de comunicações ópticas para o laboratório de Engenharia elétrica, que irá proporcionar ao aluno fazer medidas de vários parâmetros de um enlace óptico, reforçando os conceitos aprendido na teoria. A Segunda, constitui no aperfeiçoamento de um software utilizando o pacote computacional *Matlab* onde o aluno entra com valores para os parâmetros e observará o comportamento dos componentes de um enlace óptico.

INTRODUÇÃO

Como a fibra óptica vem sendo muito utilizada, não somente pelas empresas de telecomunicações, como também em redes digitais de serviço integrado, televisão a cabo, redes locais de computadores, sistemas de energia, controles de processos entre outros, sentiu-se a necessidade de implementar experiências de comunicação óptica para o laboratório de Engenharia Elétrica da UFPA o que irá auxiliar a disciplina de comunicação óptica, ajudando na formação dos alunos.

No capítulo 1, é mostrado uma visão geral dos sistemas de comunicação óptico, onde se faz um breve estudo dos componentes que formam um sistema de comunicação por fibra óptica, os mecanismos limitantes na transmissão pela fibras, as vantagens e desvantagens de se usar fibra óptica e a evolução das redes ópticas. Esse ultimo tópico foi abordado, devido a necessidade nos dias atuais de redes de alta velocidade, nele serão mostradas as principais tecnologia utilizadas nas redes ópticas.

No capítulo 2, será apresentado as experiências para o laboratório de comunicação óptica desenvolvida no Kit *Master Builder Trainer – Model S300B*. A qual é o principal objetivo desse trabalho, várias experiências foram realizadas entre elas, transmissor NRZ de 1 Mbps, sistema de transmissão AM, demodulação de portadoras FM entre outras.

No capítulo 3, será mostrado o aperfeiçoamento de um software para análise de sistemas ópticos o que proporcionara ao aluno mais uma fonte de ajuda para projetar e analisar enlaces ópticos.

Capítulo 1

Visão Geral dos Sistemas de Comunicação Óptica

Nesse capítulo será apresentado uma visão geral dos sistemas de comunicação óptica, tais como seus principais componentes, os mecanismos limitantes na transmissão por fibras ópticas, as vantagens e desvantagens de se usar fibra óptica e a evolução das redes ópticas.

1.1- Componentes dos sistemas de comunicação óptica.

Os elementos fundamentais que constituem qualquer sistema de comunicação é tal como mostrado na figura 1.1.



Figura 1.1-Elementos constituintes de um sistema de comunicação

Para os sistemas de comunicação por fibra óptica esses elementos são definidos como:

Mensagem: a qual pode tomar várias formas físicas como por exemplo sons e imagens que deverá ser convertida em sinal elétrico para ser transportada pelos sistemas de comunicação.

Transmissor: Os sistemas de transmissão por fibra óptica necessitam de dispositivos (transdutores) para converter o sinal elétrico em óptico e vice-versa, esses transdutores podem ser diodos emissores de luz (LEDs) ou diodos LASERs, que emite luz quando atravessado por uma corrente. A principal diferença entre eles é que, os LEDs produzem luz por emissão espontânea, enquanto que os LASERs, por emissão estimulada.

Os LEDs são dispositivos baseados principalmente em dupla heterojunção, suas características atrativas são o baixo custo, alta confiabilidade, baixa dependência da temperatura, e circuito de polarização simples, entretanto

apresentam baixo acoplamento de potência óptica à fibra e largura de linha espectral considerável.

Dois tipos de LEDs muito usados nos sistemas de comunicação por fibra óptica são:

- LEDs de emissão por superfícies (SLEDs): também chamados de LED de homojunção, onde a luz gerada é emitida na direção perpendicular ao plano da junção pn, como sua luz não tem uma direção preferencial de emissão, somente uma pequena parte da luz emitida pode ser acoplada ao núcleo da fibra, diminuindo bastante a eficiência do sistema.

- LEDs de emissão lateral (ELEDs): também chamados de LED de heterojunção, possuem uma junção pn formada por materiais que possuem estruturas cristalinas semelhantes, mas com índice de refração diferente, a luz é emitida na mesma direção do plano da junção pn, essa estrutura permite o guiamento da luz gerada, o que melhora a eficiência da emissão e o direcionamento da luz, possuindo melhor desempenho que os LEDs de emissão por superfícies.

Os LASERs são dispositivos semicondutores que geram luz através do processo de emissão estimulada, apresentam uma alta eficiência de acoplamento à fibra, além de uma largura de linha espectral bem mais estreita quando comparado aos LEDs.

Os diodos LASERs podem ser classificados em dois grupos:

- LASERs monomodo: sua radiação é emitida em um único modo de propagação. Como exemplo, pode-se citar os LASERs de realimentação distribuída.

- LASERs multimodo: emitem radiação luminosa distribuída em vários modos de propagação. Como exemplo, tem-se o LASER de Fabry-Perot.

Canal de transmissão: Nos sistemas ópticos o canal de transmissão é formado pela fibra e seus respectivos acopladores e conectores que são responsáveis pela conexão do emissor óptico à fibra óptica e da fibra óptica ao fotodetector óptico.

As fibra ópticas possuem duas regiões distintas, o núcleo e a casca, o núcleo é constituído de material dielétrico com índice de refração n_1 , a casca também

constituída de material dielétrico possui índice de refração n_2 que é ligeiramente menor que n_1 . A figura 1.2 mostra a estrutura típica de uma fibra óptica.

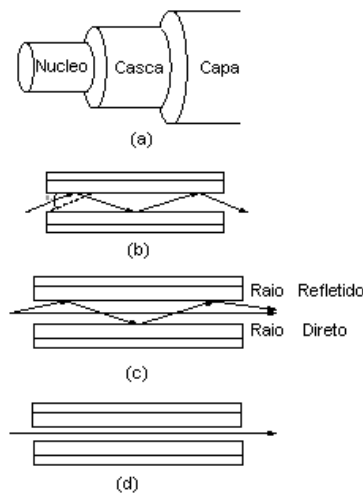


Figura 1.2 (a) Fibra óptica, (b) Reflexão na fibra, (c) Fibra multimodo, (d) Fibra monomodo

O princípio de guiamento de um feixe de luz dentro de uma fibra óptica pode ser explicado pela óptica geométrica. Se um feixe de luz incide numa superfície entre dois meios de diferentes índices de refração, n_1 e n_2 com $n_1 > n_2$, o efeito de refração sofrido pelo feixe ao passar do meio 1 para o meio 2 é dado pela lei de Snell.

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$

Onde:

n_1 e n_2 são os índices de refração dos meios 1 e 2

θ_1 e θ_2 são os ângulos incidentes e refratados formados com a normal à superfície da interface.

O ângulo do raio refratado é sempre maior que o ângulo do raio incidente até uma situação limite onde o raio refratado forma 90° com a normal, nessa situação o ângulo do raio incidente é chamado de ângulo crítico e qualquer raio incidente com ângulo maior que o ângulo crítico é refletido totalmente o que causa o efeito da reflexão interna total no qual se baseia o princípio de funcionamento das fibra ópticas.

As fibras ópticas podem ser classificadas em monomodo, que permitem a propagação de um único modo, ou multimodo, que permitem a propagação de vários

modos. Os modos de propagação representam um conjunto de ondas eletromagnéticas guiadas de maneira estável através do guia e são caracterizados por uma configuração de campo elétrico e magnético que se repete ao longo do guia a cada comprimento de onda. Quanto à variação do índice de refração, as fibras multimodo podem ser classificadas como índice degrau, pois possuem índice de refração constante em todo o núcleo, ou de índice gradual, porque possuem variação contínua do índice de refração ao longo de todo o núcleo.

O acoplador de entrada consiste basicamente de uma lente que converte os raios emitidos pela fonte de luz na fibra óptica, essa operação é complicada, pois o diâmetro da fibra é pequeno e a captação da luz é mais limitada do que a gerada pela fonte. Já no acoplamento de saída os detectores tem áreas ativas e ângulos de aceitação suficientemente grande, onde o ângulo de aceitação da fibra é o ângulo de incidência máxima relativo ao eixo da fibra, acima do qual os raios luminosos incidentes não são transmitidos através da fibra.

Receptor: No receptor ocorre a conversão do sinal óptico em elétrico. Essa conversão é feita por meio de um fotodetector óptico, que pode ser um fotodiodo PIN ou um fotodiodo de avalanche (APD), o qual converte a onda de luz em corrente elétrica.

No fotodiodo PIN, as camadas P e N são separadas, através da introdução de uma camada intrínseca, que proporciona o alargamento da região de depleção, devido as suas dimensões, há uma alta probabilidade do fóton incidente ser absorvido na região intrínseca, gerando um par de portadores elétron-lacuna que, sob o efeito do campo elétrico existente na região de depleção, se deslocará, formando uma corrente elétrica chamada de fotocorrente. Como o fotodiodo do tipo PIN não amplifica o sinal é integrado ao detector óptico um pré-amplificador com FET e esse detector na prática, é chamado de fotodiodo PIN-FET, e só ocorre na segunda janela de operação.

No fotodiodo de Avalanche (APD), a multiplicação dos portadores (elétrons-livres e lacuna) é chamada de ionização por impacto ou ionização por colisão, o efeito avalanche é um processo estatístico, com variação relevante sendo o fator multiplicativo (ganho) uma média, podendo um fóton gerar mais ou menos portadores em torno desse fator. Desta forma o APD possui ganho interno, o que

aumenta sua responsividade (relação entre a fotocorrente gerada e a potência óptica incidente) em relação aos diodos PIN.

Mensagem Recebida: O sinal recebido será um sinal elétrico, esse sinal pode ou não necessitar de um processador de sinal, se o sinal for analógico e necessitar do processador, este realiza a amplificação e filtragem do sinal, se o sinal for digital, além do amplificador e do filtro é necessário um circuito de decisão, que deve decidir se 1 ou 0 foi recebido durante o intervalo de tempo correspondente a um bit, o processador deve também decodificar a seqüências de zeros e uns através de um conversor digital-analógico, que recria a forma de onda original da mensagem, se a mensagem dirige-se a uma pessoa o sinal elétrico deve ser transformado em sons ou imagens, mas por outro lado se a mensagem for destinada a computadores ou outro tipo de máquina, a forma elétrica do sinal pode ser usada diretamente.

Então pode-se representar um sistema de comunicação óptica tal como mostrado na figura 1.3.

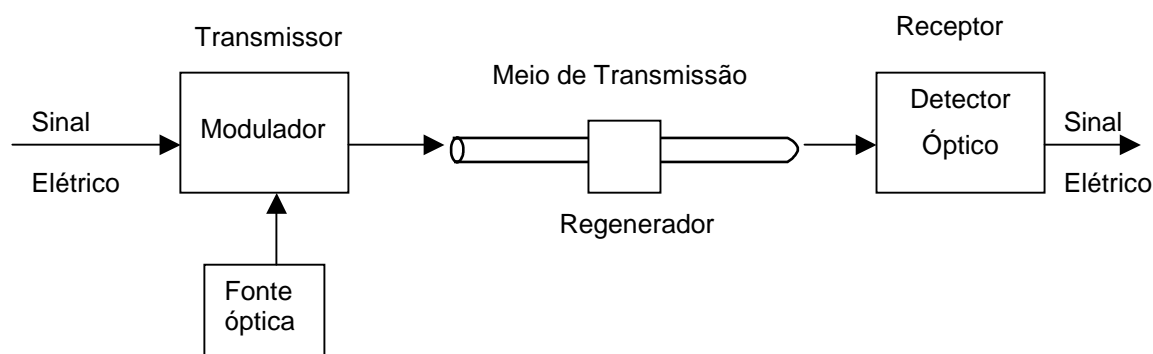


Figura 1.3 Sistema de Comunicação óptica

1.2- Mecanismos limitantes na transmissão da fibra óptica.

Nessa seção será abordado as principais limitações da transmissão do sinal por cabo de fibra óptica, como atenuação, dispersão, e perdas por reflexão de Fresnel.

1.2.1- Atenuação.

A atenuação é uma das características de maior importância para o projeto de um sistema óptico. Ela representa a perda de potência óptica ao longo da fibra, é expressa em dB/Km e pode ser calculada pela seguinte relação.

$$\alpha_{\text{dB/Km}} = \frac{10}{L_{\text{Km}}} \log \left(\frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{in}}} \right)$$

Onde:

α é o coeficiente de atenuação.

L é o comprimento da fibra.

P_{in} é a potência do sinal injetado na fibra

P_{out} é a potência na saída da fibra.

A atenuação varia em função do comprimento de onda da luz. As regiões de baixa perda e pequena atenuação dentro do espectro eletromagnético são chamadas de janelas. A primeira geração das fibras ópticas operam na primeira janela pela facilidade de construção de componentes nessa região e corresponde a um comprimento de onda de 800 e 900nm. A segunda janela onde a atenuação é baixa, é a região correspondente a 1300nm, e a terceira janela corresponde a um comprimento de onda em torno de 1550nm. Regiões de alta perda e atenuação muito elevada correspondem a 730, 950, 1250 e 1380 nm

As principais causas de atenuação em fibras ópticas são devido ao *espalhamento e absorção*.

Espalhamento: é causado basicamente por imperfeições da estrutura da fibra e pela natureza corpuscular da matéria e se caracteriza pelo desvio da luz em várias direções como é mostrado na figura 1.4.

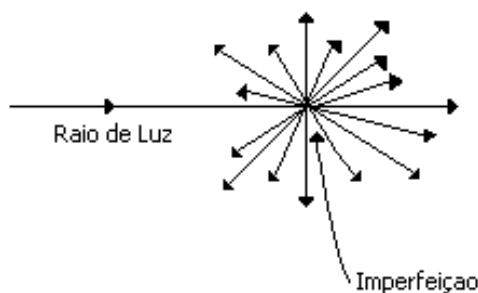


Figura 1.4 - Espalhamento

Há vários tipos de perdas por espalhamento entre elas podemos citar o espalhamento de Rayleigh, espalhamento estimulado de Raman e espalhamento estimulado de Brillouin.

O espalhamento de Rayleigh é causado pela variação na densidade do material, o que é provocado por defeitos de natureza aleatória na estrutura cristalina do material da fibra durante a fabricação.

O espalhamento de Raman é um efeito não linear que ocorre quando moléculas absorvem fótons em sua frequência original e emitem fótons novamente numa frequência deslocada. Essa transferência de potência ocorre principalmente na direção de propagação. Uma importante característica desse efeito é que ele não somente resulta num deslocamento de frequência do feixe luminoso, mas também, para uma potência suficientemente alta, dá origem a um ganho óptico nessa frequência.

O espalhamento de Brillouin é outro efeito não linear similar ao de Raman, nesse, os campos de alta intensidade podem interagir com as vibrações acústicas da sílica, causando um deslocamento na frequência da luz para a frequência acústica.

Tanto o espalhamento de Raman como o de Brillouin só se tornam significantes a partir de determinados valores de potência, distintos para cada uma das interferências e são particularmente prejudiciais a sistemas multicanais já que a onda criada interfere com as outras do sistema.

Absorção: é o processo pelo qual impurezas na fibra absorvem parte da energia óptica e a dissipa em forma de calor. As perdas por absorção são causadas por mecanismos intrínsecos e extrínsecos ao material da fibra.

Na absorção intrínseca é identificado dois mecanismos importantes que provocam essas perdas: absorção no infravermelho e absorção ultravioleta, ambas caracterizam-se pela absorção de energia pela estrutura atômica, provocando transições estimuladas de elétrons entre os níveis de energia.

A absorção extrínseca resulta da contaminação do material da fibra com íons metálicos e íons OH^- , as impurezas metálicas apresentam transições eletrônicas em intervalos de comprimento de onda de 0,5 a 1,0 μm , podendo levar a

perdas de mais de 1 dB/Km, já a contaminação por OH^- em concentração de uma parte por bilhão podem causar perdas de 1dB/Km a 40 dB/Km.

A figura 1.5 mostra a perda por atenuação versus o comprimento de onda.

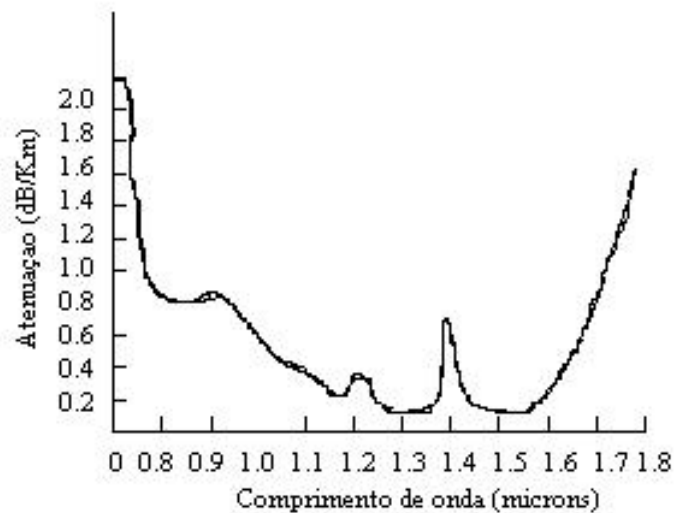


Figura 1.5 Curva da perdas versus comprimento de onda

1.2.2- Dispersão.

A dispersão é o alargamento do pulso luminoso que propaga ao longo da fibra óptica, como mostrado na figura 1.6.



Figura 1.6- Representa a dispersão

Esse alargamento limita a banda passante e conseqüentemente, a capacidade de transmissão de informação das fibras. Esse efeito de dispersão no pulso depende da constante de propagação de modo, $\beta(\omega)$, e cada componente

espectral dos pulsos injetados na fibra sofrerá um deslocamento de fase igual a $\beta(\omega)z$, onde z é a distância de propagação ao longo da fibra. A velocidade das informações tem que ser a baixa taxa, o suficiente para assegurar que os pulsos não se sobreponham, a dispersão em fibra óptica pode ser apresentada nas formas de *dispersão modal*, e *dispersão cromática* que é constituída da dispersão material e da dispersão do guia de onda.

Dispersão modal: Esse tipo de dispersão ocorre em fibras multimodo devido às diferenças de velocidade de propagação entre os modos guiados. Considerando-se uma fibra multimodo de índice degrau, onde todos os modos terão a mesma velocidade, existirá uma diferença máxima no tempo de percurso, entre o modo que se propaga exatamente no centro do núcleo e o modo próximo ao ângulo crítico, o que provoca o alargamento do pulso.

A dispersão modal é bastante reduzida em fibra com índice gradual, pois, devido ao seu perfil de índice de refração variável em função do raio, todos os modos terão suas velocidades de propagação alteradas. Desta forma, todos os modos chegarão na extremidade final quase que ao mesmo tempo, pois a velocidade de propagação varia em função do índice de refração, obtendo-se assim velocidades maiores para modos de alta ordem e menores para modos de baixa ordem.

Dispersão material: A dispersão material ocorre em todas as fibras, pois este tipo de dispersão, também chamada de dispersão cromática, é consequência da composição da matéria prima da fibra e da largura espectral da fonte luminosa.

Para diminuir a dispersão material é necessário diminuir a largura espectral das fontes luminosas e utiliza-las em fibras de baixa dispersão, como por exemplo o laser, sendo utilizado em fibras cuja matéria prima é a sílica, que próximo a 1300nm de comprimento de onda, apresenta uma dispersão mínima. LASER

No gráfico da figura 1.7, pode-se ter uma idéia melhor da dispersão material, em função do comprimento de onda, para três tipos de fonte de luz.

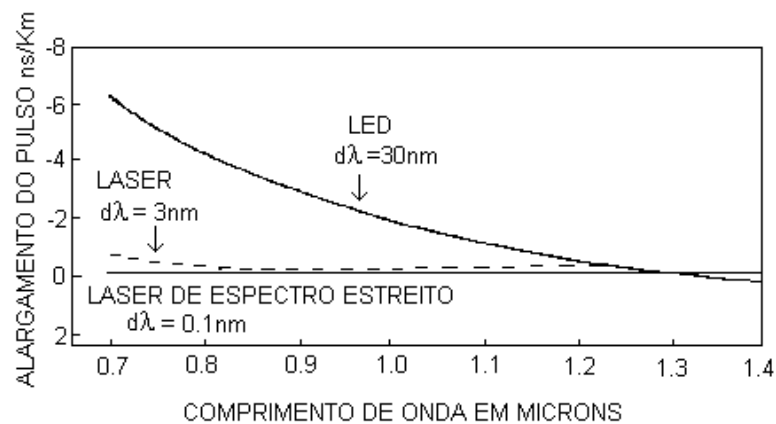


Figura 1.7 Gráfico da dispersão material

Dispersão do guia de onda: Esse tipo de dispersão é mais significativo em fibras monomodo e ocorre em função da variação dos índices de refração do núcleo e da casca ao longo da fibra. Outro fator que provoca esse tipo de dispersão é a variação da dimensão do núcleo ao longo da fibra, pois a propagação de um modo é função do comprimento de onda da luz e do diâmetro do núcleo.

1.2.3-Perda por reflexão de Fresnel.

Quando um feixe de luz é injetado em uma fibra, parte dele é refletido de volta à fonte luminosa. Essa reflexão é chamada de reflexão de Fresnel e ocorre em função da diferença entre os índices de refração dos meios onde ocorre a propagação da luz.

A perda no sinal luminoso tem que ser considerada tanto na entrada da luz na fibra, como na saída, isso porque a reflexão Fresnel ocorre tanto na passagem da luz do ar para a fibra como da fibra para o ar.

1.3- Vantagens e Desvantagens do uso da fibra óptica.

As fibras ópticas possuem diversas vantagens em relação aos meios convencionais de comunicação como os cabos coaxial, condutores de cobre e alumínio, as quais podemos citar:

Baixa Atenuação: Essa característica inerente à fibra óptica possibilita enlaces de maiores distâncias, que assim exigem poucos repetidores ou regeneradores de sinal, representando uma diminuição dos investimentos no sistema, e de gastos com a manutenção dos repetidores.

Largura de Banda: A elevada largura de banda da fibra óptica permite futuras expansões do sistema, com maior capacidade de transmissão, superando em muito os sistemas de transmissão por cabos metálicos. A fibra óptica possui uma faixa de uso potencial da ordem de 10^{12} Hz, que ainda está muito distante de ser utilizado, devido à limitação dos equipamentos e sistemas eletrônicos atuais.

Imunidade à interferência Eletromagnética: O material que constitui a fibra óptica é dielétrico, assim, as fibras não são afetadas por campos eletromagnéticos próximo. Baseando-se nisso, a sua aplicação se torna necessária em sistemas que podem sofrer degradações causadas por descargas elétricas e instalações elétricas de alta tensão, com a inserção de ruído no meio de transmissão.

Baixo Peso: A fibra óptica pesa aproximadamente 30 g/Km, comparado a um cabo coaxial, o cabo óptico possui um peso dez vezes menor, o que viabiliza instalações em aviões e automóveis, onde o peso é um parâmetro importante.

Pequena Dimensão: O diâmetro externo de uma fibra óptica (casca) é da ordem de 125µm, o que possibilita a fabricação de cabos ópticos compactos. Assim, os cabos ópticos se tornam atrativos para aplicação, onde o espaço é limitado, e onde deve-se fazer uma eficiente utilização do espaço disponível, propiciando também facilidade e rapidez de instalação.

Sigilo: A impossibilidade de se retirar ou colocar sinais ópticos ao longo da fibra sem prejudicar o sistema, torna-o altamente sigiloso e seguro.

Isolação Elétrica: Devido às fibra ópticas serem dielétricas, de vidro ou plástico, isolam eletricamente os terminais de comunicação, eliminando o uso de dispositivos de proteção contra surtos (centelhadores), possibilitando sua utilização em áreas de atmosfera explosiva, por não produzirem faiscamento.

A utilização da fibra óptica também acarreta algumas desvantagens, entre elas: A impossibilidade de alimentação remota, falta de padronização dos componentes, dificuldades de conexão das fibras.

A aplicação da fibra óptica se torna necessário quando, as vantagens oferecidas pela fibra óptica são relevantes para a boa performance de um sistema de comunicação.

1.4- Evolução das Redes Óptica.

Devido à importância das redes óptica nos dias atuais, nessa seção será feito uma breve apresentação das três gerações das redes ópticas, desde as da primeira geração, que utilizam as fibras apenas como meio de transmissão, até as modernas redes ópticas que contam com sofisticados nós *crossconnects* que efetuam o roteamento por comprimento de onda.

1.4.1 – Redes Ópticas de Primeira Geração

As redes ópticas da primeira geração, utilizava fibra óptica em ambientes de rede apenas para substituir os cabos metálicos, nessa geração as redes utilizavam-se de um único comprimento de onda para transmissão (tradicionalmente 1310 ou 1550 nm), e realizavam todas as funções de chaveamento, processamento e roteamento no domínio eletrônico.

As redes ópticas da primeira geração são largamente utilizadas na infraestrutura pública de telecomunicações, para interconectar computadores de grande porte entre si e com seus periféricos, e para interligar redes de computadores locais e metropolitanas. A seguir será feito uma breve abordagem desses ambientes onde se utiliza redes ópticas da primeira geração.

Infraestrutura Pública de Telecomunicações (Padrão SONET/SDH)

O padrão SONET/SDH (*Synchronous Optical Network / Synchronous Digital Hierarchy*) é adotado em grande parte do mundo para a transmissão e multiplexação de sinais de alta velocidade na infraestrutura pública de telecomunicações. Esse padrão evoluiu da tecnologia PDH (*Plesyochronous Digital Hierarchy*), vigente desde o início da digitalização das redes de voz, em meados da década de 60.

As vantagens do padrão SONET/SDH em relação ao padrão PDH são:

Multiplexação: Na hierarquia PDH é muito difícil a extração de um canal de baixa velocidade de um feixe de 140 Mbps, por exemplo, devido ao processo de inserção de bits (*bit stuffing*) necessário para ajustar as diferenças de sincronismo entre os relógios dos diversos equipamentos. Para executar tal procedimento faz-se necessário desmontar todo o quadro de alta velocidade, passando por todos os níveis intermediários até chegar no canal de baixa velocidade. No padrão SONET/SDH, como o próprio nome já diz, todos os equipamentos trabalham com a mesma referência temporal, o que torna os canais de baixa velocidade “visíveis” independentemente do nível em que estão inseridos.

Gerenciabilidade: O padrão SONET/SDH incorpora uma extensa gama de informações de gerência, destinadas a monitorar a performance do tráfego, diferentemente do padrão PDH, onde este tipo de informação é escassa.

Interoperabilidade: No padrão PDH, não havia padronização de aspectos como codificação de linha, interfaces ópticas, e outros relacionados ao enlace de transmissão. Desta forma, a interconexão de equipamentos de diferentes fabricantes por um enlace torna-se muito difícil. O padrão SONET/SDH padroniza interfaces ópticas para a interconexão de equipamentos de diferentes fabricantes.

Proteção: Os mecanismos de proteção e restauração em presença de falhas são muito mais eficientes no padrão SONET/SDH. Em caso de falha simples, a restauração do serviço é feita em menos de 60 ms.

As taxas de transmissão SONET/SDH padronizadas estão relacionadas na tabela 1.1.

Tabela 1.1 – Velocidades padronizadas SONET/SDH.

Sinal SONET	Sinal SDH	Taxa (Mb/s)
OC-1	—	51,84
OC-3	STM-1	155,52
OC-12	STM-4	622,08
OC-24	—	1244,16
OC-48	STM-16	2488,32
OC-92	STM-64	9953,28

A topologia física mais comum adotada pelo padrão SONET/SDH é o anel, pois este apresenta um alto grau de disponibilidade de recursos na presença de falhas ainda que topologicamente simples.

Em termos de interfaces físicas, o padrão SONET/SDH pode, dependendo da distância e da velocidade de transmissão, utilizar tanto LED's, quanto lasers multimodo do tipo Fabry-Perot operando em 1310 nm ou ainda lasers monomodo do tipo DFB (*Distributed Feedback*) operando em 1550 nm. O canal pode empregar tanto fibras multimodo quanto monomodo.

O tráfego transportado por esse tipo de rede não se resume estritamente ao serviço de telefonia pública. O padrão também é usado para o transporte de tráfego proveniente de redes ATM, IP, etc.

Interconexão de Computadores

Esse tipo de rede, diferentemente daqueles vistos no item anterior, é muito mais usado em ambiente das redes corporativas, tendem a utilizar componentes de baixo custo operando a taxas de bit modestas, normalmente funcionando sem mecanismos de proteção e, por conseguinte, dependem da camada óptica para fornecer proteção contra falhas.

A seguir, descreve-se brevemente três padrões de redes comumente empregados para interconectar computadores de grande e médio porte entre si e com seus periféricos.

ESCON (Enterprise Serial Connection)

Trata-se de um padrão criado pela IBM (*International Business Machine*) com a finalidade de substituir as interfaces de entrada e saída de baixa velocidade à base de fios de cobre por interfaces ópticas. Essas interfaces estão altamente disseminadas em ambientes à base de mainframe, onde cada um desses computadores chega a possuir centenas de canais ESCON de entrada e saída, que podem ser ligados a outros mainframes ou a periféricos.

A taxa de transmissão por canal ESCON é de 200 Mbps, com LED's operando em 1310 nm em fibras multimodo para distâncias menores que 3 km. Para distâncias maiores, que chegam a 20 km, utilizam-se lasers operando em

associação com fibras monomodo. Utiliza-se também um código de linha (8B10B) para evitar longas seqüências de 0's e 1's e alcançar o equilíbrio DC.

Fiber Channel

Trata-se de um padrão desenvolvido recentemente para atuar nas mesmas aplicações que o ESCON, permitindo taxas de transmissão úteis de 200, 400 e 800 Mbps. Na taxa mais alta, lasers multimodo operando a 1310 nm são utilizados mesmo para distâncias curtas. Da mesma forma que o *ESCON*, o *Fiber Channel* também utiliza uma codificação de linha (8B10B).

HIPPI (High Performance Parallel Interface)

Esta é primariamente um padrão de interface paralela elétrica de entrada e saída a 800 Mbps. Devido a variações de clock, a distância mínima é limitada a apenas 25 m. Para distâncias maiores, um novo padrão denominado Serial HIPPI foi desenvolvido, no qual os dados são serializados e transmitidos em fibra monomodo a 1,2 Gbaud (1,2 Gbps no canal, após a codificação de linha).

Redes Locais e Metropolitanas

FDDI (Fiber Distributed Data Interface)

Esse é um padrão para redes metropolitanas que opera em 100 Mbps. Sua topologia física é em anel de duas fibras, e incorpora mecanismos de proteção similares aos da rede SONET/SDH.

O padrão foi desenvolvido para se obter uma implementação de baixo custo. Para distâncias entre nós de até 2 km, são utilizados LED's operando em 1310 nm, fibras multimodo e fotodiodos PIN na recepção. Pode-se estender a distância entre os nós para até 40 km, neste caso utilizando-se lasers e fibras monomodo.

O padrão FDDI utiliza uma codificação de linha (4B5B), elevando a taxa de transmissão na fibra para 125 Mbaud. Ainda assim, essa codificação não atinge um equilíbrio DC de 100%.

ATM (Asynchronous Transfer Mode)

O padrão ATM emergiu nos anos 90 como uma solução de engenharia capaz de integrar as redes de dados com as redes de voz. Apesar da grande maioria do tráfego em redes de voz ser digital, tal integração ainda não havia sido alcançada.

Para chegar a essa integração, o padrão tem como unidade básica um pacote relativamente pequeno, denominado célula, de apenas 53 bytes. Destes, 48 carregam dados úteis e 5 correspondem a informações de cabeçalho. Esse tamanho de célula é um compromisso entre as exigências dos dois tipos de tráfego: por um lado, um pacote suficientemente pequeno é requerido pelo tráfego de voz, pois o atraso na entrega do pacote deve ser mínimo; em contrapartida, redes de dados devem possuir pacotes relativamente grandes de modo a minimizar o *overhead* envolvido.

Dentre as grandes vantagens proporcionadas pelo ATM, destaca-se a garantia de qualidade de serviço fornecida às aplicações ao mesmo tempo em que se faz multiplexação estatística dos pacotes com vistas a um uso mais eficiente da largura de banda disponível.

O padrão se estende desde redes locais (LAN's), passando pelas redes metropolitanas (MAN's) até chegar nas redes de longa distância (WAN's). Portanto, uma vantagem adicional do ATM é que ele provê comutação mesmo em ambientes de rede local, diferentemente das tecnologias *Ethernet*, *Token Ring* e FDDI, que utilizam meios de transmissão compartilhados em modo *broadcast*, tais como barramentos ou anéis.

Existem várias interfaces definidas para o padrão ATM, que variam desde 25,6 Mbps sobre pares de fios de cobre até 622,08 Mbps sobre fibras ópticas monomodo. Dentre as interfaces ópticas, tem-se uma a 100 Mbps cujas especificações são idênticas às do padrão FDDI. Há também outra a 155,52 Mbps que se utiliza de LED's e fibras multimodo para operar em distâncias de até 2 km. A codificação de linha desta última é idêntica ao do padrão *Fiber Channel*.

As duas interfaces descritas acima são classificadas como interfaces de usuário privado-rede, pois foram criadas primariamente para interconexão de redes corporativas à rede ATM. Há também várias interfaces de usuário público-rede,

destinadas à conexão de redes ATM e a infraestrutura pública de telefonia, que são definidas nas taxas dos padrões PDH e SONET/SDH.

A disseminação das redes ATM está sendo mais lenta do que o esperado inicialmente devido principalmente à concorrência de outros padrões. Em termos de redes de longa distância, o padrão IP (*Internet Protocol*), visto a seguir, é suficiente para a grande maioria das aplicações, além de estar evoluindo para prover a mesma funcionalidade que o ATM. No ambiente das redes locais, a concorrência vem da evolução da padrões já estabelecidos, como as versões a 100 Mbps e 1 Gbps da Ethernet.

IP (Internet Protocol)

Trata-se do padrão mais utilizado em redes de longa distância na atualidade. Na arquitetura clássica de camadas OSI (*Open Systems Interconnection*) da ISO (*International Standardization Organization*), corresponde à camada de rede, e foi projetada para operar sobre uma grande variedade de camadas inferiores, as chamadas camadas de enlace de dados, daí sua grande popularidade. Algumas das camadas de dados sobre as quais o IP opera correspondem aos padrões de redes locais mais populares, tais como redes *Ethernet* e *Token Ring*. O IP também pode operar sobre redes metropolitanas, tais como FDDI ou utilizar protocolos bem conhecidos da camada de enlace de dados, tais como o HDLC (*High-Speed Data Link Control*) quando estiver operando sobre largura de banda alugada de operadoras públicas.

Quando comparado ao ATM, o IP tradicional provê apenas um serviço de datagrama simples, com pacotes de tamanho variável. Não há noção de conexão nem sequer garantias de qualidade de serviço, pois foi desenvolvido sem a intenção de transportar tráfego de voz.

Um dos mais conhecidos protocolos da camada de transporte que atua diretamente sobre o IP é o TCP (*Transmission Control Protocol*). Por esta razão, tais redes são conhecidas comumente por redes TCP/IP.

Com o crescimento explosivo da Internet, tanto os usuários quanto os operadores das redes têm sentido a necessidade de algumas garantias de qualidade de serviço, o que gerou um grande esforço entre os desenvolvedores do padrão IP no sentido de acrescentar essas garantias. Um exemplo destes esforços é o

protocolo RSVP (*Resource Reservation Protocol*). Outra alternativa é simplesmente manter o protocolo existente e aumentar a largura de banda disponível e a velocidade dos roteadores, de modo a garantir a taxa de transmissão do usuário.

O tráfego das redes ópticas de primeira geração muitas vezes é carregado por redes de segunda e terceira gerações, que serão estudadas a seguir. Como cada um destes tráfegos possui padrões, taxas de transmissão e protocolos distintos, fica evidente a necessidade de transparência das redes de gerações superiores tendo em vista o transporte de vários destes tráfegos simultaneamente.

1.4.2 - Redes Ópticas de Segunda Geração

As redes ópticas classificadas como sendo de segunda geração não possuem capacidade de roteamento da luz de acordo com o seu comprimento de onda. Logo, para o estabelecimento da conectividade óptica entre os nós, essas redes devem se utilizar de topologias físicas que favoreçam a disseminação dos sinais ópticos em todos os comprimentos de onda para todos os nós.

Dentre as diversas topologias físicas disponíveis para as redes ópticas, as mais adequadas para executar essas funções são o barramento e a estrela, conforme será explorado a seguir.

Neste ponto, cabe diferenciar a topologia física da topologia de caminhos físicos, também conhecida como topologia virtual. A primeira refere-se à presença de componentes tais como fibras ópticas e acopladores interligando os nós da rede. Já a segunda pode ser representada por um grafo que descreve a trajetória da informação por todos os nós intermediários entre o nó origem e o nó destino, para cada par origem-destino.

Essa distinção está ilustrada na figura 1.8, onde podem ser visualizadas a topologia física e a topologia virtual de uma rede óptica.

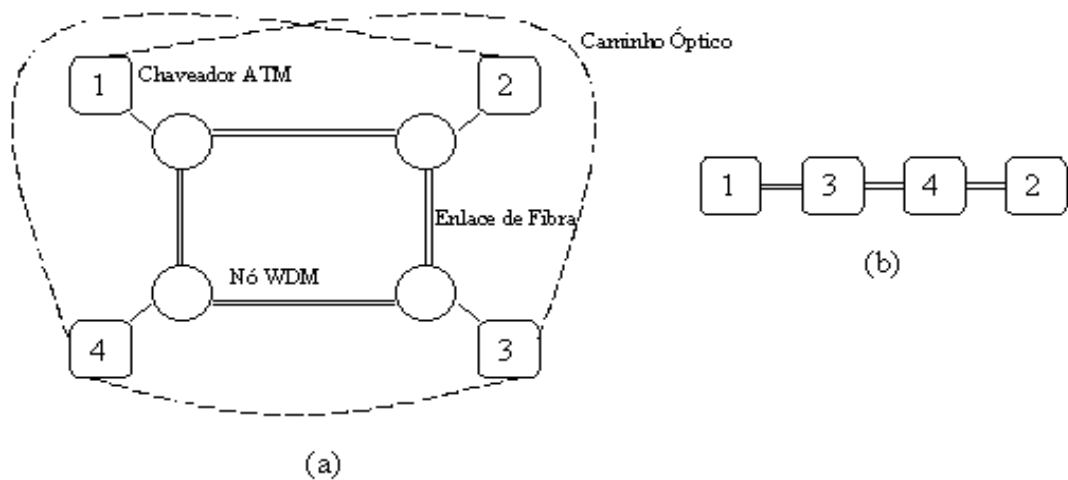


Figura 1.8 - (a) Topologia física da rede, com os caminhos ópticos estabelecidos mostrados. (b) Topologia virtual, aquela vista pela camada cliente da camada fotônica.

Pode-se falar ainda em topologia lógica, que é aquela que descreve a cada instante as conexões ativas na rede.

Como nas redes de segunda geração os comprimentos de onda são transmitidos para todos os nós, a detecção de um sinal em um dado nó deve empregar um dispositivo que extraia um comprimento de onda (também referido como “canal WDM”) ao mesmo tempo em que rejeita os canais vizinhos. Hoje em dia esse processo é executado por intermédio de filtros ópticos com alta seletividade. Essa filtragem possui a vantagem de rejeitar a ASE (*Amplified Spontaneous Emission*) fora da faixa do canal desejado em redes que se utilizam de amplificadores ópticos.

As principais características das redes ópticas de segunda geração são:

Disseminação (*broadcast*) da luz por todos os nós da rede, mediante o uso de topologias físicas que facilitem tal tarefa.

Seleção do canal desejado na recepção, por intermédio da filtragem óptica.

Pode-se ainda utilizar transmissores e/ou receptores sintonizáveis, o que acarreta a possibilidade de rearranjo da topologia de caminhos físicos.

Devido às características listadas acima, as redes ópticas de segunda geração são comumente referidas como redes *broadcast-and-select* ou redes de

fotodifusão. A utilização de uma topologia física do tipo *broadcast* provê conectividade física total entre todos os nós, o que não significa que essa conectividade se transporte para a topologia de caminhos físicos. Fatores como a necessidade de sintonizar um canal de cada vez nos nós, bem como as limitações de agilidade na mudança desta sintonia de um canal para outro impedem essa transferência. Dado que a topologia física é do tipo *broadcast*, a topologia de caminhos físicos apresentará um ramo direcionado para cada par de nós nos quais o transmissor da origem do ramo e o receptor do destino do ramo estejam sintonizados no mesmo comprimento de onda. Um comprimento de onda só poderá ser utilizado por um par origem-destino (um ramo na topologia de caminhos físicos), de modo a evitar colisões.

1.4.3 – Redes Ópticas de Terceira Geração

Nesta seção, serão introduzidos os principais conceitos e características relacionadas às redes fotônicas de terceira geração, ou seja, aquelas que apresentam funções de roteamento baseadas no comprimento de onda em que a informação se encontra, tratando dos aspectos que fazem delas vantajosas em relação às redes das gerações anteriores.

Em geral, a topologia de uma rede com roteamento de comprimento de onda consiste de nós do tipo *wavelength crossconnect (WXC) interconectados* por enlaces de fibras. A rede deve prover caminhos ópticos para atender as requisições entre pares de nós, cada qual utilizando um comprimento de onda diferente em um determinado enlace. Os caminhos ópticos podem ser interpretados como vias de grande largura de banda por onde trafegam dados a altas velocidades. Os caminhos ópticos são formados alocando-se um comprimento de onda em cada enlace no caminho entre dois nós, e claramente não se pode ter dois caminhos ópticos utilizando o mesmo comprimento de onda em um dado enlace.

Cada enlace suporta um determinado número de comprimentos de onda trafegando na fibra óptica. O número total de comprimentos de onda suportados por cada enlace depende majoritariamente de restrições tecnológicas dos componentes, tais como largura de banda de amplificadores ópticos ou características de filtros

ópticos, e cresce à medida que a tecnologia se desenvolve. Atualmente, pode-se falar em algumas dezenas de comprimentos de onda trafegando na mesma fibra.

WDM é conceitualmente semelhante a multiplexação por divisão de frequência (FDM) na qual a informação de múltiplos sinais de diferentes comprimentos de onda, são combinados e transmitidos simultaneamente em cima da mesma fibra óptica como mostrado em figura 1.9.

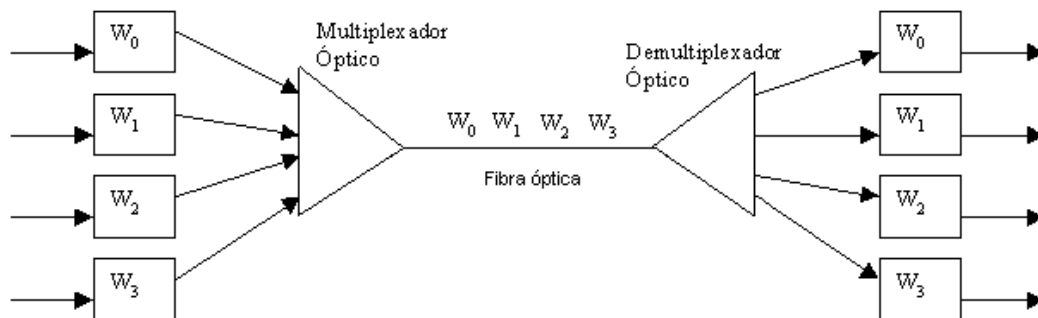


Figura 1.9- WDM

A principal característica dessa categoria de rede fotônica é o tratamento adicional do sinal a nível óptico, constituindo uma “camada óptica” ou “camada fotônica”. Investimentos realizados no tratamento do sinal a nível óptico nessa camada reduz substancialmente o custo em equipamentos nas camadas superiores, tais como SONET/SDH ou ATM.

Desse modo, pode-se trabalhar com o conceito de topologia virtual: cada caminho óptico provido pela camada fotônica é visto pelas camadas superiores como um enlace totalmente independente, e que pode carregar dados em formatos distintos dos outros caminhos ópticos.

A figura 1.10 mostra a representação de uma rede fotônica genérica, onde os diferentes tipos de reta interligando os nós representam comprimentos de onda diferentes. Exemplificando, o tráfego originado no nó A e destinado ao nó B passa pelo nó C sem a necessidade de reversão do domínio óptico para o elétrico, economizando-se desta forma equipamentos de camadas superiores para o roteamento deste tráfego.

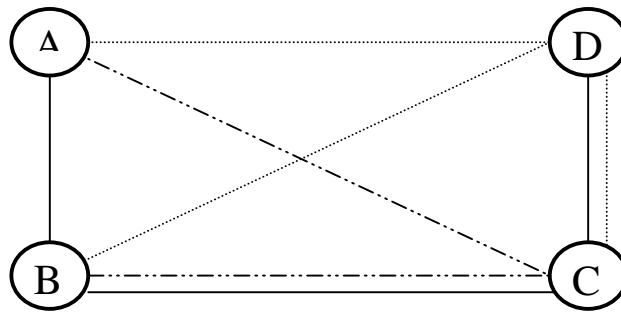


Figura 1.10 - Representação de uma rede óptica de terceira geração.

Em adição à propriedade de roteamento provido pela camada fotônica, as redes com roteamento por comprimento de onda apresentam as seguintes características:

Transparência: Refere-se à capacidade dos caminhos ópticos de transportar dados em uma variedade de taxas, protocolos e formatos, suportando deste modo várias camadas superiores operando ao mesmo tempo. Alguns caminhos ópticos podem carregar o tráfego SONET/SDH enquanto outros podem carregar células ATM diretamente ou ainda canais de vídeo multiplexados por subportadoras.

Reuso de Comprimento de Onda: Apesar de limitados em número, os comprimentos de onda podem ser reutilizados espacialmente na rede, desde que não haja colisão, ou seja, dois caminhos ópticos distintos utilizando o mesmo comprimento de onda em um mesmo enlace. Essa reutilização aumenta enormemente a capacidade da rede, uma vez que o número de caminhos ópticos que a rede pode prover passa a ser muito maior que o número de comprimentos de onda disponíveis, contribuindo desta forma para tornar as redes deste tipo escaláveis.

Confiabilidade: Em caso de falhas em um ou mais enlaces, os caminhos ópticos podem ser re-roteados automaticamente por rotas alternativas, impedindo que a comunicação cesse, tornando a rede bem mais confiável. Além disso, a maioria dos componentes utilizados, tais como os multiplexadores e demultiplexadores, são passivos, oferecendo um maior grau de confiabilidade, já que não há a preocupação de alimentá-los remotamente.

Chaveamento (*Circuit Switching*): Existe a flexibilidade necessária para ativar ou desativar caminhos ópticos fornecidos pela camada fotônica de acordo com as necessidades impostas pela demanda. Trata-se de uma filosofia análoga ao estabelecimento ou terminação de circuitos em uma rede por comutação de circuitos, exceto pelo fato que a frequência de estabelecimento ou terminação tende a ser muito menor no caso da rede fotônica do que no caso da rede telefônica, por exemplo, dada a enorme diferença de largura de banda alocada. Não há comutação de pacotes na camada óptica, sendo essa uma atribuição das camadas superiores, tais como a ATM.

Uma questão interessante de ser discutida é a variedade de tráfegos provenientes das camadas clientes que a rede fotônica pode suportar. O tráfego pode vir tanto da rede síncrona de transporte (padrão SONET/SDH), que já conta com seus próprios mecanismos de proteção, ou diretamente da rede ATM, que precisa de garantias de qualidade de serviço para algumas de suas classes de tráfego. A rede pode ainda atender a transmissão de canais de vídeo multiplexados por subportadoras ou ainda tráfego IP, conforme pode ser visualizado na figura 1.11. Logo, para uma mesma rede, diferentes caminhos ópticos podem ter diferentes requisitos de proteção e de qualidade de serviço, com possíveis implicações tanto sobre a topologia física quanto para a topologia de caminhos físicos.

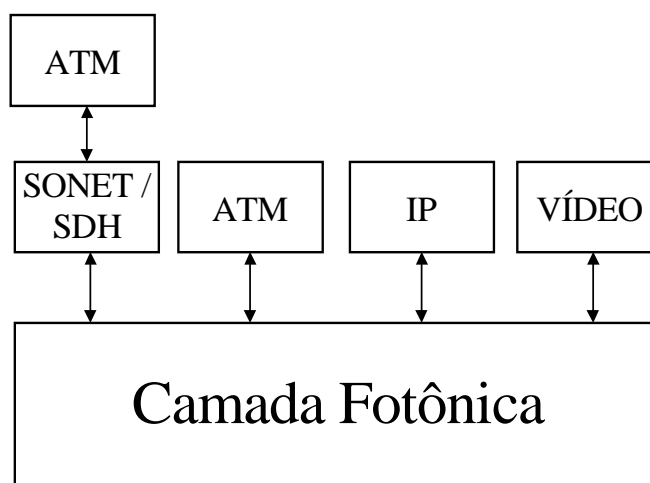


Figura 1.11 - Clientes eventuais da camada fotônica.

O desenvolvimento da camada fotônica de transporte depende da disponibilidade de novos elementos de rede tais como filtros ópticos, acopladores, amplificadores ópticos, roteadores, conversores de comprimento de onda; e do desempenho destes elementos. A evolução destas tecnologia será de fundamental importância para moldar as soluções arquitetônicas a serem adotadas pelas futuras redes.

Capítulo 2

Experiências para o laboratório de Comunicação Óptica

Neste capítulo serão apresentadas as experiências para o laboratório de comunicações ópticas testadas no Kit *Master Builder Trainer – Model S300B*. Nesse kit, os circuitos são divididos em seções identificadas pelas letras de “A” até “M” e impressos em dois painéis. As seções se interconectam por meio das chaves *DIP*, e os pontos de teste são dispostos em locais estratégicos para possibilitar a aquisição das medidas de tensões e a visualização das suas formas de ondas no osciloscópio. O kit *Master Builder Trainer* é mostrado na figura 2.1.

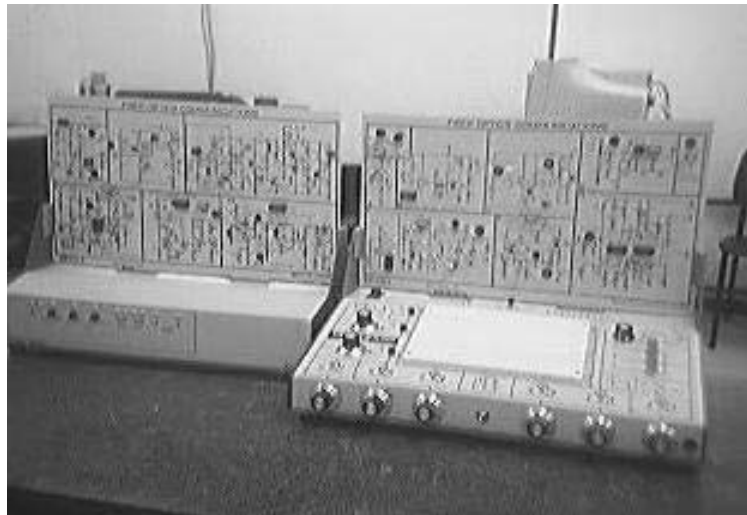


Figura 2.1- *Master Builder Trainer*

A figura 2.2 mostra o *Master Builder Trainer* conectado aos equipamentos de medição como osciloscópio, multímetro digital e gerador de função, essa conexão deverá obedecer aos procedimentos experimentais de cada experiência. Foram desenvolvidas dez experiências que serão mostradas a seguir.



Figura 2.2- *Master Builder Trainer* ligado aos equipamentos de medição

2.1- Experiência 01: Transmissor NRZ de 1 Mbps

A EXPERIÊNCIA:

Nesse experimento o aluno usará circuitos com inversores e circuitos a transistor para uma transmissão NRZ básica com transmissão de dados a uma taxa de 1Mbps.

OBJETIVO:

Após a conclusão desta experiência, o estudante será capaz de:

- 1- Descrever como os pulsos de dados são convertidos em pulsos de luz para transmissão por cabos de fibra óptica.
- 2- Testar e avaliar transmissores optoeletrônicos digitais, quando deparar com os diagramas de circuito
- 3- Medir a potência de saída do transmissor digital usando um instrumento óptico denominado de fotômetro.

INTRODUÇÃO:

Num sistema digital típico, o formato de código utilizado é o NRZ. Nesse formato, uma seqüência de 1s é codificado como nível alto contínuo. Somente quando há mudança do estado para um '0' o nível do sinal cai para zero. Na codificação RZ (*return to zero*) a primeira metade do ciclo do relógio é nível alto para '1' e nível baixo para '0'. Na segunda metade é baixo em qualquer caso.

A figura 2.1.1 mostra a forma de onda para um fluxo de dados binários NRZ e RZ. Note que entre a e b o pulso RZ se repete a uma taxa alta. A mais alta taxa de bit no sistema RZ ocorre quando há uma seqüência de 1s.

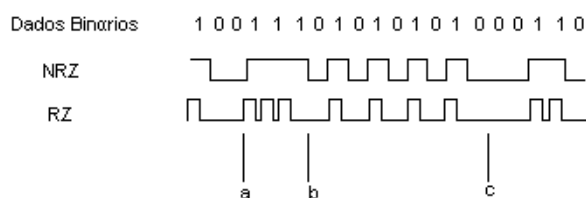


Figura 2.1.1- fluxo de dados binários

A maior taxa de bit para o sistema NRZ ocorre quando há uma seqüência aleatória de um e zero, como pode ser observado na figura 2.1.1 de b a c. Note que a maior taxa de bit do sistema NRZ é a metade da maior taxa de bit do RZ. Ou seja, o sistema RZ necessita de duas vezes a largura de banda do sistema NRZ para transmitir a mesma taxa de dados.

Para minimizar a perda de sincronismo no receptor quando a codificação NRZ é usada e uma longa seqüência de 1s é transmitida, é necessário utilizar um sistema alternativo. Além da perda de sincronismo do receptor o acoplamento AC do receptor pode resultar em perda de dados. Uma alternativa ao NRZ é usar o RZ. Com RZ, os dados não são perdidos com o acoplamento AC desde que somente uma seqüência de 0s resulta no sinal de nível constante. Entretanto este nível é o próprio zero. Tanto na codificação NRZ como na RZ, para qualquer seqüência contínua de 1s ou 0s, o receptor pode travar. Um método alternativo para a codificação é portanto sugerido.

Outro código chamado Manchester, resolve o problema do receptor travar. No código Manchester a polaridade investe a cada período de bit, independentemente dos dados. A figura 2.1.2 mostra isso. A grande quantidade de transição de nível possibilita que o receptor gere um sinal de *clock* junto com os dados. Mesmo quando só estão sendo recebidos 1s ou 0s, o receptor obtêm uma cadeia de pulsos, a partir da qual pode gerar o *clock*

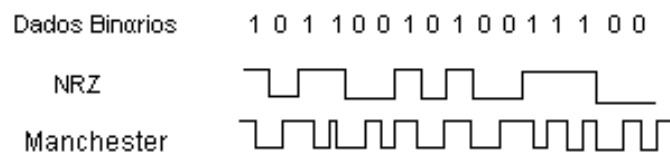


Figura 2.1.2 código Manchester

Poderia parecer que o sistema RZ é um bom esquema de codificação. Entretanto muitos receptores incluem controle automático de ganho (CAG). Durante uma longa seqüência de zeros, o CAG aumentaria o ganho do receptor indefinidamente. Então, quando 1s comesçassem a aparecer, o receptor poderá saturar. Um bom esquema de codificação para essas aplicações é a codificação bipolar de pulso, mostrada na figura 2.1.3. O transmissor opera em um nível quiescente. A potência de saída do receptor aumenta por um breve intervalo de tempo quando ocorre um 0 e é desligada por um breve intervalo de tempo quando ocorre 1.

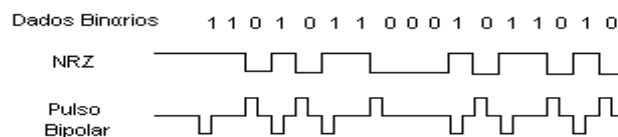


Figura 2.1.3 codificação bipolar de pulsos

EXPERIÊNCIA:

Neste experimento o estudante irá testar um transmissor de pulso NRZ de alta frequência. O circuito do transmissor básico poderá ser usado num enlace de dados microprocessado . A figura 2.1.4 mostra o circuito experimental.

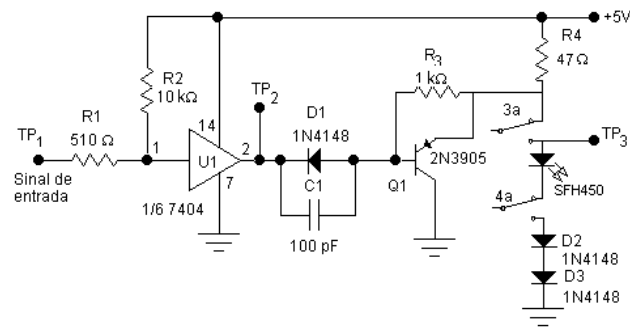


Figura 2.1.4 Circuito experimental

MATERIAIS NECESSÁRIO:

- | | |
|--|----------|
| 1) Módulo <i>Master Builder</i> | S300B |
| 2) Pannel de inserção da fibra óptica. | SIP375-1 |
| 3) Kit de conexões jumpeadas | S300-9 |
| 4) Fotômetro | S374 |
| 5) Osciloscópio, de dois canais | |
| 6) Multímetro digital | |
| 7) Gerador de função | |

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL:

- CONDIÇÕES:

O IRED (diodo infravermelho) está ligado quando Q_1 é ON. D_2 e D_3 são usados para garantir que o LED esteja desligado. D_1 evita a polarização inversa de Q_1 e a possível danificação da conexão base-emissor . O valor do resistor R_4 é determinado por:

$$R_4 = \frac{V_{cc} - 3.0V}{I_f}$$

Onde:

V_{CC} é a tensão da fonte de alimentação

I_f é a corrente desejada para o LED

Para $+10 V_{DC}$ e $I_f = 0,05 A$ $R_4 = 140\Omega$, o valor nominal de 150Ω pode ser usado.

Para $+5V V_{DC}$, $R_4 = 40\Omega$.

A fonte de $+5V_{DC}$ torna o transmissor compatível com outros circuitos TTL, portanto, ela é usada nessa experiência.

-PROCEDIMENTO:

- 1) Insira o painel SIP375-1 no *Master Builder*. Ajuste a fonte de $\pm 15V_{DC}$ para $+10V_{DC}$. Feche as chaves DIP SWa-3 Swa-4, ligue a fonte de alimentação, refira-se a seção B do painel para os experimentos seguintes.
- 2) Calcule a corrente do IRED, I_f , medindo a queda de tensão no resistor R_4 de 47Ω sem sinal de entrada.
- 3) Sem sinal de entrada, meça e registre a tensão para terra nos pontos de teste mostrados no circuito.
- 4) Conecte o gerador de função em TP_1 . Ajuste o gerador para produzir uma onda quadrada de $2V_{pp}$ 1kHz. Meça a queda de tensão em R_4 novamente e calcule a corrente do LED.
- 5) Ajuste o gerador de função para produzir pulsos positivos de 3 a $4V_{pp}$ e com largura de 2 a $3 \mu s$. Ligue o gerador ao terminal de entrada de dados do transmissor TP_1 . Observe esta entrada no canal 1 do osciloscópio enquanto o sinal de TP_3 é observado no canal 2. A saída segue a entrada?
- 6) Um zero na entrada faz a saída cair?

2.2- Experiência 02: Receptor para Comunicação de Dados

A EXPERIÊNCIA:

Existem muitos fatores que governam o desempenho dos receptores ópticos para comunicação de dados. Esta experiência mostrará ao estudante alguns importantes conceitos e fatores como sensibilidade, corrente de escuro, comprimento de onda de operação, velocidade e largura de banda e faixa dinâmica. Um receptor digital óptico será analisado.

OBJETIVOS:

Após concluída esta experiência, o estudante será capaz de:

- 1- Discutir sobre os blocos constituintes e características dos receptores ópticos que determinam seu desempenho.
- 2- Testar e avaliar o receptor digital para comunicação de dados, quando dispuser de instrumentos de teste, esquemas e informação técnica dos fabricantes.
- 3- Determinar, por meio de medições elétricas, a largura de banda do receptor em experiências.
- 4- Avaliar o desempenho global de um enlace de comunicação digital e calcular sua largura de banda (baseada na fonte de luz e detector de luz).

INTRODUÇÃO:

O receptor óptico básico é constituído de três blocos, a saber:

- 1) Detetor que é usado para converter o sinal óptico em um sinal elétrico.
- 2) Estágios de amplificação para aumentar o nível do sinal para um valor adequado.
- 3) Um circuito de demodulação para reproduzir o sinal original.

Antes de iniciarmos as medições lembraremos de alguns importantes conceitos e fatores vistos na disciplina comunicações ópticas, como sensibilidade, detector de luz, corrente de escuro, velocidade e largura de banda e faixa dinâmica.

A sensibilidade do receptor é uma medida de quão bem ele responde e reproduz sinais, a qual esta associada a características sistemicas, tais como probabilidade de erro e taxa de erro de bit no caso de sistemas digitais. Há dois

fatores importantes a considerar: a intensidade do sinal e o ruído. A medida mais comum de sensibilidade do receptor é a razão sinal ruído, expressa em dB.

Sistemas de comunicações ópticas de alta qualidade apresentam relação sinal ruído de 40 a 50 dB, embora razões menores sejam adequadas em muitas aplicações.

A sensibilidade depende do detetor de luz e do circuito eletrônico que o acompanha. A corrente do sensor é geralmente estabelecida nas especificações dos fabricantes como saída em nA para uma dada intensidade de luz. Fotodetectores também possuem respostas a comprimentos de onda específicos, que devem ser levados em conta quando se projeta um sistema. Por exemplo, o detector a fotodiodo utilizado no receptor desta experiência tem seu pico de fotosensibilidade em 850 nm. Se for utilizado para detectar luz de comprimento de onda diferente, seja maior ou menor que este, apresentará menor sensibilidade.

Um transdutor óptico de entrada normalmente utilizado é o fotodiodo PN. O fotodiodo PN opera reversamente polarizado. A polarização reversa faz portadores (lacunas ou elétrons, dependendo do dispositivos) serem varridos para fora da junção PN, resultando em uma região de depleção. A energia da luz que incide na região de depleção libera elétrons e lacunas, dando origem a corrente elétrica. Esta corrente deve ser amplificada para gerar níveis de tensão compatíveis com dispositivos lógicos. Embora o fotodiodo tenha sensibilidade relativamente baixa, seu tempo de resposta é curto (da ordem de 10 a 50 ns).

Outros tipos de fotodiodo são comumente encontrados em sistemas ópticos comerciais de alta velocidade e alta qualidade. Estes são o diodo PIN, fotodiodo de avalanche (APD).

Dispositivos semicondutores baseados em silício possuem um limite superior para o comprimento de onda em que podem operar. Este limite é aproximadamente 1100nm. Muitos sistemas ópticos operam na região superior do infravermelho, em 1300 e 1551 nm. Nesses sistemas, utilizam-se outros materiais semicondutores, tais como InGaAs e InGaAsP.

Finalmente, a velocidade e a sensibilidade do receptor podem sofrer redução se o acoplamento entre a fibra óptica e o receptor permitir que a luz escape ou se a superfície do detector não interceptar toda a luz que vem da fibra.

Elétrons em movimento geram ruído, deste modo o fotodetector é uma fonte de ruído. O ruído do fotodetector é medido pela corrente de escuro, que circula embora o fotodetector esteja sem incidência de luz. Depende da temperatura, do tipo de detector e da tensão de polarização. Essa corrente também está presente mesmo quando o detector está ativo. Portanto, essa corrente de escuro representa e determina o mínimo sinal detectável. O fabricante normalmente fornece esse valor em nA para um determinado valor de tensão e temperatura.

A taxa de sinalização é medida em Mbps ou Gbps. Em muitos sistemas os fatores limitantes da taxa de transmissão são os tempos de subida e descida do detector. O estudante aprenderá numa seção posterior que algumas características da fibra óptica também limitam a taxa de transmissão. Esses fatores são chamados dispersões cromática e modal.

Um determinado receptor utilizando fotodiodo com tempo de subida de 10 ns e tempo de descida de 10 ns, ignorando os efeitos das capacitâncias parasitas e das resistências, a resposta de 10 ns efetivamente reduz à metade a máxima taxa de transmissão. Quanto menores os tempos de subida e de descida, maiores a largura de banda e a máxima taxa de bits.

Em geral a saída de corrente dos fotodetectores não é uma função linear da potência da luz de entrada, exceto em pequenas intensidade de luz. É nesses baixos níveis de intensidade de luz que o ruído predominará sobre o sinal desejado. Operar o sistema em uma potência muito elevada, dentro da região não linear, resulta em distorção do sinal e em um aumento da taxa de erro de bits. Portanto a faixa dinâmica do dispositivo também deve ser considerada quando se projeta um sistema.

EXPERIÊNCIA:

Neste experimento o transmissor e o receptor são ligados com cabos de fibra ópticas e o sistema é testado usando um sinal de onda quadrado para medir a transmissão e recepção no decorrer do tempo. O aluno pode se referir a figura 2.2.1 durante a experiência.

- 7) O tempo de subida é uma função da largura de banda, e a largura de banda (BW) pode ser determinada pela equação $BW=0,35/T$, onde BW é dado em MHz e o tempo de subida T em μs . Qual é a largura de banda do sistema? Nota: O maior tempo de subida, T_r , determinará a largura de banda do sistema
- 8) Para reproduzir a onda quadrada com fidelidade um sistema deve possuir uma largura de banda 10 vezes maior que a frequência fundamental a ser reproduzida. Qual é, então a maior frequência da onda quadrada que este sistema é capaz de reproduzir com boa fidelidade?
- 9) Há algum limite inferior para a largura de banda desse sistema?
- 10) Mude o sinal de entrada para 1MHz. O sistema reproduz o sinal com fidelidade?
- 11) Determine a corrente no resistor de carga do fotodiodo R_1 .
- 12) Quanto é a potência dissipada no fotodiodo?
- 13) O sinal de saída tem amplitude suficiente para acionar um dispositivo TTL?

2.3- Experiência 03: Fibra Óptica

A EXPERIÊNCIA:

Essa experiência tem como objetivo introduzir os princípios básicos da fibra óptica e dos emissores e detectores de luz usados em sistemas de comunicação por fibras ópticas. Um cabo de fibra óptica é utilizado para ligar o transmissor de luz ao receptor de luz. As propriedades dos cabos de fibra óptica usados e a largura de banda do sistema óptico são investigadas. Alguns dispositivos emissores e sensores de luz representativos serão discutidos.

OBJETIVOS:

Após concluída esta experiência, o estudante será capaz de:

1-Explicar os princípios básicos da óptica e que tornam possível a transmissão de sinais através de um cabo de fibra óptica

2-Entender e descrever as vantagens e problemas inerentes ao uso da fibra óptica.

3-Entender e explicar termos como ângulo de aceitação, mono e multimodo, largura de banda, dispersões modal e cromática, atenuação e fibras de índice degrau e gradual

4-Descrever algumas causas de perda (atenuação) nos cabos de fibra óptica

5-Entender como usar um medidor de potência óptica e explicar os fatores limitantes da largura de banda em sistemas de comunicações ópticas.

INTRODUÇÃO:

Nessa experiência serão analisadas as vantagens da fibra óptica em relação ao condutor metálico, os princípios físicos associados a transmissão de sinais em fibra óptica, os tipos de cabos de fibra óptica, os modos de transmissão, os acopladores de luz, atenuação, largura de banda, dispersão, fontes de luz, modulação e detector de luz.

Cabo de fibra óptica de plástico, tais como SH4001 e EH40001 usados nessa experiência, tem um alto nível de atenuação. Portanto comprimentos muito curtos (50 cm, 1 e 3m) devem ser usados como cabos experimentais para medir a atenuação.

A atenuação é uma das características de maior importância para o projeto de um sistema óptico. Ela representa a perda de potência óptica ao longo da fibra é expressa em dB/Km e pode ser calculada pela seguinte relação.

$$\alpha_{\text{dB/Km}} = \frac{10}{L_{\text{Km}}} \log \left(\frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{in}}} \right)$$

Onde:

α é o coeficiente de atenuação.

L é o comprimento da fibra.

P_{in} é a potência do sinal injetado na fibra

P_{out} é a potência na saída da fibra.

Nesse experimento a atenuação é medida, considerando duas fibras com mesma características mas comprimentos diferentes, representadas por P1 e P2 e é calculada pela seguinte expressão:

$$dB = \frac{10 \log(P_2/P_1)}{L_2 - L_1}$$

Quando a potência de saída é medida como uma tensão de saída do amplificador do detector, a perda por unidade de comprimento é expressa por:

$$dB = \frac{20 \log(V_2/V_1)}{L_2 - L_1}$$

Onde:

L2 e L1 são os comprimentos dos cabos

P1 e P2 são as potências de saída de cada cabo

Perdas típicas para 1mm de cabo de fibra óptica estão em um intervalo de 0.1 a 1 dB/Km. Quando as atenuações de cabos de fibras ópticas são comparadas, outras perdas como as do emissor, detector e dos acoplamentos devem ser mantidas constantes.

Para testar a fibra, a fonte de luz, o detector e amplificador, a melhor forma de onda usada é a quadrada. Com essa forma de onda podemos observar as componentes de alta e baixa frequência. A quantidade de potência requerida depende da perda no cabo, do tipo de detector e do ganho do receptor. A potência de um trem de pulsos depende do seu ciclo de trabalho. O ciclo de trabalho é determinado pela razão do período do pulso (t1- é a largura do pulso) e o tempo, T, entre os instantes de subida de dois pulsos consecutivos. A figura 2.3.1 mostra os intervalos de tempo que determinam o ciclo de trabalho e o pico de potência.

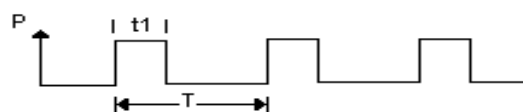


Figura 2.3.1- Ciclo de trabalho

Desde que t_1 é fração do período, T , o ciclo de trabalho é usualmente expresso como uma porcentagem. Um ciclo de trabalho de 20% indica que os pulsos estão presentes durante 20% do tempo. Um ciclo de trabalho de 50% representa períodos divididos igualmente. Nesse caso a potência média é metade da potência de pico. A potência média, P_a , do ciclo do pulso é igual ao pico de potência multiplicada pelo ciclo de trabalho. Se o pico de potência for 20 mW e o ciclo de trabalho for 20%, a potência média é:

$$P_a = P_p \times \text{ciclo de trabalho} = 0.020 \text{ W} \times 0.2 = 4 \text{ mW}$$

Uma consideração importante na transferência de potência é o uso de componentes compatíveis para operar no mesmo comprimento de onda. Um emissor infravermelho, alimentando um cabo de fibra óptica projetado para operar num comprimento de onda vermelho visível, causará uma perda na potência transferida.

No teste a seguir, diferentes comprimentos de cabos são comparados e perdas são computadas. Nos testes os cabos a serem avaliados são: ESKA SH e EH. As perdas publicadas são mostras na tabela 2.3.1.

Tabela 2.3.1- Perdas nos cabos SH4001 e EH4001

Modelo	Perdas
SH4001	250-400 dB/Km até 660nm
EH4001	160 dB/Km até 650 nm

No primeiro teste, um cabo EH4001 de 3m de comprimento é comparado com o mesmo cabo de 50cm de comprimento. No segundo teste, um cabo SH4001 de 1m de comprimento é comparado com o mesmo cabo de 3m de comprimento. Note que a luz emitida opera na vermelho visível e os cabos apresentam sua perda mínima nesse mesmo intervalo. O fotodetector tem uma resposta espectral que é máxima no infravermelho, mas tem resposta no vermelho visível adequada para que estas medições sejam feitas.

EXPERIÊNCIA:

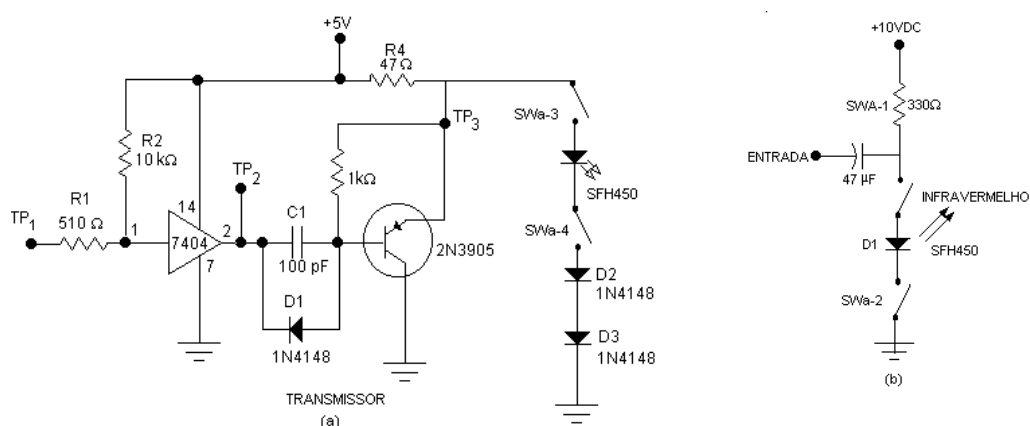
Durante essa experiência, o aluno poderá avaliar fibras ópticas de diferentes comprimentos e atenuações.

MATERIAIS NECESSÁRIOS:

1) Modulo <i>Master Builder</i>	S300B
2) Pannel de inserção da fibra óptica.	SIP375-1
3) Cabos de fibra óptica 50cm	EH4001
4) Cabo de fibra óptica 1m	SH4001
5) Cabos de fibra óptica 3m	SH4001
6) Fotômetro	S375
7) Osciloscópio, de dois canais	
8) Multímetro digital	
9) Gerador de função	

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL:

- 1) Com a fonte desligada, insira o painel SIP375-1 no *Master Builder*. Ligue a fonte. Refira-se a seção B do painel SIP375-1. Usando o multímetro digital ajuste a fonte de $+15V_{DC}$ para $+10V_{DC}$. Refira-se a figura 2.3.2 para os diagramas apropriados.



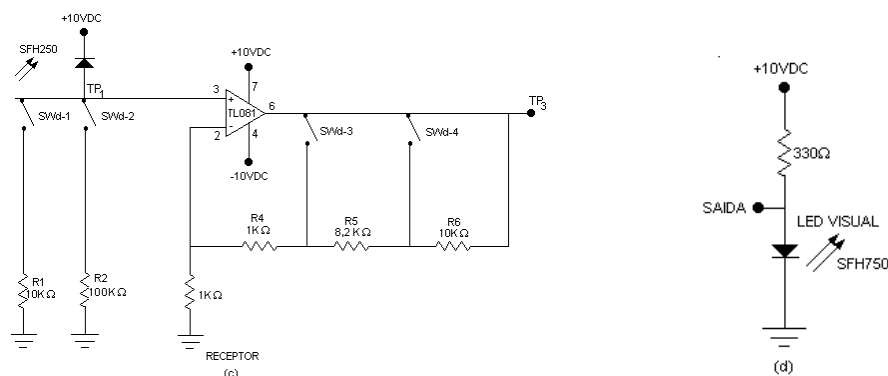


Figura 2.3.2- Circuito experimental

- 2) Ligue o cabo ESKA EH4001 de 50 cm de comprimento entre o LED infravermelho e o fotodiodo. Figura 3.1a e b mostrado no circuito.
- 3) Feche as chaves Swa-3, Swa-4 e SWd-1 e SWd-3. O amplificador fornece um ganho de tensão de aproximadamente 2. Feche as chaves Swa-1 e 2. Abra as chaves Swa-3 e 4. Usando o multímetro digital leia na saída do receptor a tensão TP3.
- 4) Repita os passos 1 a 3 para os cabos SH4001 de 1 e 3 m de comprimento.
- 5) Usando o fotômetro meça a potência óptica de saída para cada cabo. EH4001de 50 cm, EH4001de 3 m, SH4001de 1 m, SH4001de 3 m
- 6) Calcule as perdas por quilômetro para os cabos ESKA EH4001 e SH4001.
- 7) Qual dos cabos, EH4001 ou SH4001, exibe menor perda na região do infravermelho?
- 8) Nos passos a seguir, uma onda quadrada é transmitida através do cabo de fibra óptica SH4001 de 3m, e os efeitos na forma de onda recebida são observado conforme é variado o resistor de carga do circuito do fotodiodo. Esse experimento vai confirmar que quando a sensibilidade aumenta, a largura de banda diminui.

- 9) No receptor use o resistor R_2 de 100 k Ω como carga. Ligue o gerador de função para uma saída de 1kHz onda quadrada na entrada TP₁. Aumente a saída até que um trem de pulso seja observado em TP₃ do transmissor. Também haverá uma saída no TP₃ do receptor. Reduza o ganho do receptor se ele oscilar ou apresentar sobrecarga. Observe a onda quadrada a medida que a frequência aumenta. A subida do pulso começará a apresentar um aspecto curvo a medida que a resposta em frequência *rolls off*. Em qual intervalo de frequência que isso ocorre?
- 10) O *rolls off* é causado pelo cabo?
- 11) Substitua o cabo SH4001 de 3m pelo cabo EH4001 de 3m e repita os testes. A frequência de *roll off* é afetada?
- 12) Se o resistor de carga do fotodiodo for reduzido para 10K Ω , o que você espera que aconteça com a largura de banda?
- 13) Qual seria o efeito sobre a resposta em frequência se a comprimento da fibra SH4001 fosse de 1Km?

2.4- Experiência 04: Balanço de potência e largura de banda de componentes ópticos.

A EXPERIÊNCIA:

A potência óptica dos transmissores de luz e o uso de detectores altamente sensíveis podem ser completamente equiparados pelas perdas dos componentes que fazem parte de um sistema de transmissão de dados. Se este for o caso, o enlace não deverá ser usado para comunicação de dados. Este experimento abrange as técnicas usadas nos cálculos das perdas de potência e ganhos em um enlace de comunicação. As limitações na largura de banda de um enlace de fibra são exploradas, assim como o funcionamento e contribuições de perdas de alguns dispositivos optoeletrônicos, como conectores e *splices* de fibra óptica.

OBJETIVO:

Após concluída esta experiência, o estudante será capaz de:

1) Explicar a importância de calcular o balanço de potência e a margem de operação de uma conexão óptica e os efeitos da responsividade da emissão de luz e o tempo de resposta do detector

2) Identificar a contribuição dos componentes da conexão para a perda total.

3) Discutir o assunto conectores e atenuação e os vários fatores que causam isso.

4) Realizar amostras do balanço de potência para conexão de comunicação óptica hipotética.

5) Calcular teoricamente a máxima taxa de bit de uma conexão de fibra óptica baseados na fonte de luz, detectores e características da fibra.

INTRODUÇÃO:

Nessa experiência serão analisados o balanço da potência e as perdas, o cálculo da amostra do balanço de potência, responsividade, ruído, largura de banda e tempo de resposta, taxa de bit de erro, relação sinal ruído e perdas nos conectores.

EXPERIÊNCIA :

Essa experiência fornece as medidas da responsividade do ganho do fotodiodo e a largura de banda do receptor. A medida da potência requer o uso do fotômetro.

MATERIAIS NECESSÁRIO:

- | | |
|--|----------|
| 1) Modulo <i>Master Builder</i> ou | S300B |
| 2) Painel de inserção da fibra óptica. | SIP375-1 |
| 3) Fotômetro | S375 |
| 4) Osciloscópio, de dois canais | |
| 5) Multímetro digital | |
| 6) Gerador de função | |

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL:

- 1) Com a fonte desligada, insira o painel SIP375-1 no *Master Builder*. Usando o multímetro digital ajuste a fonte de $+15V_{DC}$ para $+10V_{DC}$. Refira-se a seção A e D do SIP375-1 e a figura 2.3.2 com seus apropriados diagramas.
- 2) Feche as chaves Swd-4. O emissor de luz é o LED. O detector no receptor é o fotodiodo com uma carga de $10\text{ k}\Omega$. Feche a chave Swd-1 e abra a SWd-2
- 3) Conecte um cabo de fibra SH4001 de 1m entre o emissor e o fotodetector.
- 4) Insira uma onda senoidal de 1kHz, $0.2 V_{pp}$, através do capacitor de $47\mu\text{F}$. Use o osciloscópio para medir o nível da função gerada na saída e na saída no receptor TP₃.
- 5) Ajuste o nível do sinal de entrada até que a saída no receptor seja igual a $0.5 V_{pp}$ e registre V_{in} .
- 6) Meça a tensão DC de entrada, V_{in} , no amplificador TP₁
- 7) Meça a corrente, I_R , através do resistor de $10\text{ k}\Omega$.
- 8) Procure a razão de responsividade para o fotodiodo SFH250.
- 9) Calcule o nível de potência óptica para o cabo da fibra.
- 10) Nos itens acima é determinado um método indireto para a medição da potência da luz que é radiada pelo fotodiodo. O método direto requer o uso do fotômetro. Se o fotômetro estiver disponível, conecte o cabo da fibra entre o emissor e o fotômetro. Registre a potência de saída em dBm.
- 11) Mantenha a saída do receptor em $0.5V_{pp}$, com resistor em $100\text{ k}\Omega$ e uma frequência inicial de 1 kHz determine a frequência (-3 dB subida), pelo incremento de frequência do gerador até a saída do receptor ser $0.707 \times 0.5 V_{pp}$. Qual a frequência em que isso ocorre?
- 12) Cheque a largura da resposta em frequência, quando usamos uma carga de $10\text{ k}\Omega$. Se necessário aumente o sinal gerado.
- 13) Ligue o cabo da fibra EH4001 de 50 cm entre o emissor e o fotômetro. Registre o valor da P_o

14) Mude o cabo par EH4001 de 3m e meça o valor do ganho da P_o .

2.5- Experiência 05: Modulando um LED ou IRED

A EXPERIÊNCIA:

Nessa experiência serão discutidas as características do LED operando no espectro da luz visível e do infravermelho, assim como o diodo LASER. Circuitos de modulação e demodulação também serão analisados.

OBJETIVO:

Após realizada essa experiência, o aluno será capaz de:

- 1.Descrever vários métodos de modular um LED ou IRED.
- 2.Sugerir aplicações para os princípios envolvidos nos circuitos
- 3.Testar e avaliar circuitos para modulação de LED.
- 4.Ler e compreender artigos técnicos que descrevam aplicações dos dispositivos emissores de luz

INTRODUÇÃO:

As aplicações do LED em calculadoras, jogos, relógios e painéis o tornam importante. Em muitas aplicações o LED substituiu a lâmpada de tungstênio. O LED usado como mostrador (DISPLAY) de luz é brilhante, colorido e compacto, possuindo baixo consumo de potência sendo assim muito econômico.

Alguns LEDs são projetados para uso em sistemas de transmissão digital e analógica. Estes diodos possuem quatro características principais:

1. Potência de saída
2. Comprimento de onda
3. Velocidade de operação
4. Padrão de emissão.

Dois tipos de LEDs muito usados na comunicação com fibra óptica são os LEDs emissor de superfície e os LEDs emissor de borda. No primeiro, a área emissora está restrita a uma pequena região ativa dentro do componente. Como a potência acoplada depende de vários fatores como: reflexão interna total, meio entre a área emissora e a extremidade da fibra, padrão de emissão, LED emissor de superfície pode acoplar a uma fibra óptica somente 1% da potência interna gerada, que corresponde a -23dBm de potência injetada (valor típico para componentes disponíveis no mercado).

O LED emissor de borda tem geometria semelhante a um diodo LASER convencional, de modo que o fluxo de saída do dispositivo é menos divergente, aumentando a radiação na face emissora. Em consequência disso, esse dispositivo alcança uma alta eficiência no acoplamento a fibras monomodo quando comparado com os LEDs emissores de superfície.

MODULAÇÃO AC

A corrente DC que percorre o LED quando usado como modulador de luz, serve como portadora de informação. Esta corrente pode ser aumentada ou reduzida em amplitude por um sinal linear ou pulsado. Esta operação é análoga a modulação em amplitude em transmissão de rádio. A figura 2.5.1 mostra um circuito básico para acoplar um sinal AC em um circuito DC que produz a luz.

O resistor R polariza a corrente através do LED. Tipicamente esta corrente varia entre 10 e 50 mA. A tensão de operação do LED é de aproximadamente 1,2 a 1,6V. O sinal AC é acoplado capacitivamente ao diodo.

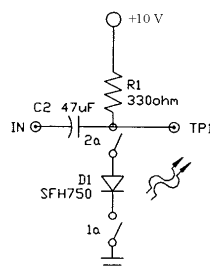


Figura:2.5.1- Circuito básico para acoplar um sinal AC em um circuito DC que produz a luz.

O valor do capacitor depende da frequência AC do sinal e da corrente que passa através do diodo.

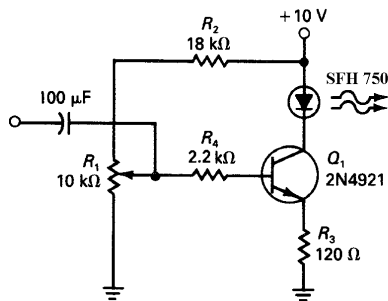


Figura: 2.5.2- Amplificador de excitação do LED

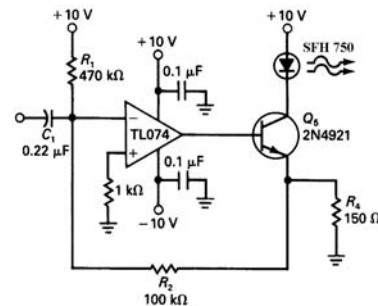


Figura:2.5.3-Pré-amplificador e excitador de LED

A figura 2.5.2 mostra como um transistor pode ser adicionado ao circuito para melhorar o modulador. O LED serve como carga para o transistor. Os resistores R_1 , R_2 , e R_3 determinam a polarização do transistor e a corrente de coletor (I_c). Uma variação em R_1 pode ser feita para alterar a corrente no LED.

A figura 2.5.3 mostra o uso de um pré-amplificador operacional. Para os componentes mostrados, a tensão no emissor de Q_1 é 4,5V e na base 5,2 V, V_{BE} 0,5 V e I_c aproximadamente 30 mA. Este circuito pode ser usado para dar um ganho adicional ao sinal modulante.

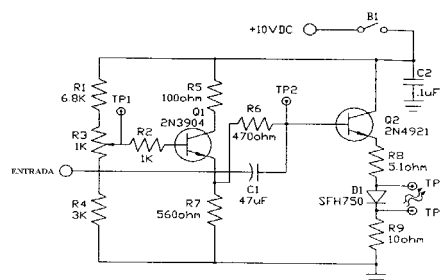


Figura: 2.5.4- Circuito modulador do LED

O circuito mostrado na figura 2.5.4 provê corrente direta variável e uma maneira adicional de modulação. Este circuito possui inúmeras aplicações em modulação da portadora e em transmissão de pulsos. O transistor Q_2 estabelece a corrente no LED.

O transistor Q_1 é um amplificador e controla a corrente de base de Q_2 . A modulação pode ser feita por um sinal AC ou um sinal pulsado.

LEDs e IREDs típicos possuem potências de saída na ordem de 2,5 a 10 mW e operam com correntes de polarização direta na ordem de 10 a 50 mA.

A potência recebida é determinada pelo comprimento das fibras as quais os LEDs estão acoplados.

Diodos Laser de alta potência, com emissão na ordem de 820 a 975 nm, podem ter picos de potência de saída entre 10 a 75 mW, níveis de potência elevados quando comparados aos dos LEDs padrão, que emitem na faixa de 2,5 a 10 mW.

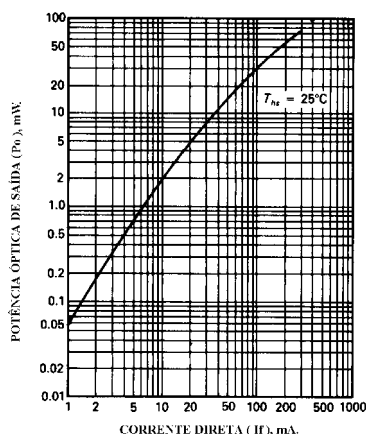


Figura 2.5.5 Potência Óptica X Corrente.

A figura 2.5.5 é um gráfico da característica Potência Óptica versus corrente do diodo Laser Hitachi. Para uma corrente de 50 mA, o Laser emite uma potência de 15 mW.

EXPERIÊNCIA:

O experimento testa a relação de polarização DC de um LED e os comandos dos LED usados nos amplificadores a transistor. Medidas poderão ser feitas e validadas.

MATERIAL NECESSÁRIO:

- | | |
|--|----------|
| 1) Módulo <i>Master Builder</i> | S300B |
| 2) Painel de inserção da fibra óptica. | SIP375-1 |

- 3) Multímetro digital
- 4) Osciloscópio, de dois canais
- 5) Gerador de função

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL:

- 1) Insira o painel SIP375-1 no *Master Builder*. Usando o multímetro digital ajuste a fonte de $\pm 15V_{DC}$ para $+10V_{DC}$. Refira-se a seção A do painel para os experimentos seguintes.
- 2) Meça a queda de tensão em R_1 e determine: I_f e V_{R1}
- 3) Qual é o valor da tensão nos diodos?
- 4) Ajuste o gerador de função para uma senoide de 1kHz. Conecte o gerador de função no ponto ON da seção A. Conecte o osciloscópio no ponto TP_1 . Ajuste em 50mV/Div e estabilize o sinal.
- 5) Qual o valor do pico de tensão no LED?
- 6) Determine a resistência direta no LED.
- 7) Insira o painel SIP375-2 no *Master Builder*. Refira-se a seção I do painel para os experimentos seguintes. Ligue a chave SWb-1. Assegure que a tensão de alimentação de $\pm 15 V_{DC}$ seja ajustada para $10 V_{DC}$.
- 8) Conecte o multímetro digital em R_9 abaixo de TP_4 , e ajuste o controle DC R_3 , até que se leia no multímetro digital $0.3V_{DC}$.
- 9) Meça a tensão no LED
- 10) Ajuste o gerador de função para 500Hz. Alimente com esse sinal a entrada da seção I. Observe a forma de onda em TP_3 . Aumente a tensão do sinal até que a forma de onda comece a distorcer. Anote o valor do pico de tensão no LED. Anote o valor do pico de tensão no resistor R_9 (10Ω)
- 11) Determine os valores de : I_C , I_{mod} , I_{diff} , I_f em mA
- 12) Determine se um grande sinal de tensão é necessário quando a corrente I_f do LED é aumentada. Ajuste I_f para 40mA

2.6- Experiência 06: Sistema de Transmissão AM

A EXPERIÊNCIA:

Nesta experiência será estudado a Modulação em Amplitude (AM) de um diodo emissor de luz. Também está incluído o método de demodulação de um sinal AM.

OBJETIVO:

Após completo este estudo e determinado os dados, o estudante será capaz de:

1. Sugerir aplicações para transmissão de sinal AM em sistemas de comunicação óptica.
2. Testar e avaliar circuitos semelhantes aos apresentados neste experimento.
3. Ler e compreender artigos técnicos que descrevem o uso de dispositivos LED.

INTRODUÇÃO:

Num sistema de rádio com amplitude modulada, um sinal de áudio é usado para modular uma onda de rádio frequência (RF) operando em frequências maiores que a frequência de áudio. A onda de RF serve como portadora, e o sinal de áudio proporciona a informação. Em sistemas optoeletrônicos, as ondas de luz servem como portadoras. A luz pode ser produzida por corrente contínua ou alternada. A informação pode ser transportada por um sinal de áudio, vídeo ou pulso.

A seção de áudio de um transmissor, em um sistema de comunicação, consiste de um transdutor de entrada, pré-amplificador, e um driver de áudio alimentando um modulador. A seção da portadora inicia com um oscilador, ligado a um amplificador de RF, e a saída para a antena, é obtida através de um amplificador de potência de RF. A corrente da portadora, que produz ondas eletromagnéticas, é variada (modulada) pelo amplificador de potência de áudio no estágio de saída de potência de RF. O receptor, no sistema, apanha o campo magnético através da antena e o converte em pequenas tensões. Estas tensões são processadas no

estágio misturador e amplificador FI. O áudio original é separado da portadora no circuito detetor, e a tensão de áudio é amplificada e então convertida, de volta para som, pelo auto-falante.

A figura 2.6.1 mostra o diagrama do circuito para um sistema de comunicação óptica em AM. O transmissor (fig.2.6.1a) contém um circuito de controle do nível da portadora e um modulador de luz. O receptor de entrada (fig.2.6.1b), contém um fotodiodo e dois estágios de amplificação.

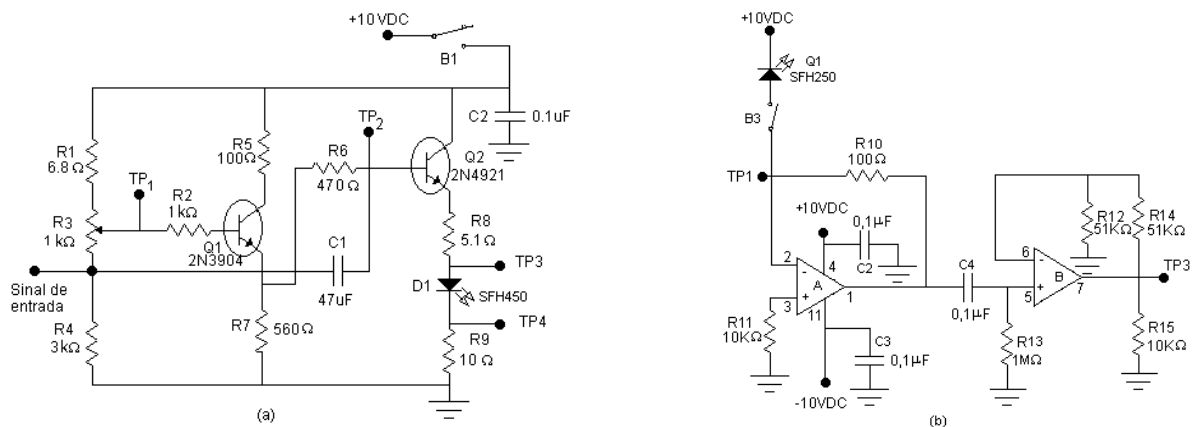


Figura: 2.6.1 Sistema de Comunicação Óptica: (a) Transmissor, (b) Receptor.

A saída do transmissor é acoplada ao receptor por meio de um cabo de fibra óptica com uma única fibra. O ganho do amplificador A varia com a variação da luz no fotodiodo. Quando ocorre luminosidade incidente (a resistência do fotodiodo é diminuída), aumenta-se o ganho deste estágio. O amplificador B proporciona um ganho adicional. O emissor possui comprimento de onda de pico em 660 nm na região (vermelho) e o fotodetetor possui um pico de resposta no infravermelho em 820 nm. Os cabos de fibra óptica são projetados para operar na faixa que vai do visível ao Infravermelho.

O sistema pode ser usado para instrumentação analógica de alta linearidade, transmissão de FM, transmissão de áudio, conversão tensão para frequência, e multiplexação de dados. Além disto, os cabos ópticos tornam os sinais imunes à RFI e EMI.

EXPERIÊNCIA:

Nos seguintes procedimentos experimentais, um transmissor óptico e receptor podem ser conectados pela fibra. As medidas podem ser usadas para determinar as características de operação de um sistema AM.

MATERIAL NECESSÁRIO:

- | | |
|--|----------|
| 1) Modulo <i>Master Builder</i> | S300B |
| 2) Painel de inserção da fibra óptica. | SIP375-2 |
| 3) Cabo de fibra óptica de 50cm | EH4001 |
| 4) Multímetro digital | |
| 5) Osciloscópio, de dois canais | |
| 6) Gerador de função | |

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL:

- 1) Ligue o *Master Builder*. Usando o multímetro digital ajuste a fonte de $\pm 15V_{DC}$ para $+10V_{DC}$. Desligue.
- 2) Insira o painel SIP375-2 no *Master Builder*. Refira-se a seção H e L do painel para os experimentos seguintes.
- 3) Ligue o *Master Builder*. Conecte a fibra de 50 cm entre as seção H e a seção L do fotodiodo. Feche as chaves SWb-1 e 3
- 4) Conecte o gerador de função no terminal de entrada do transmissor. Ajuste o gerador para uma onda senoidal de 1kHz. Conecte um canal do osciloscópios no ponto TP₃ do transmissor, e o outro canal no ponto TP₃ da seção L. Aumente aos poucos o sinal de tensão (amplitude) até que a saída da seção L (TP₃) seja de $2V_{pp}$. Reduza a amplitude se distorções aparecerem.
- 5) Anote a tensão pico a pico na saída no transmissor TP₃.
- 6) Meça a amplitude dos sinais de entrada e saída do receptor e calcule o ganho de tensão.
- 7) Determine a resposta em frequência total do sistema de transmissão e recepção.
- 8) Qual é o propósito principal de Q₂ no transmissor?

- 9) Qual é o valor de V_{in} em TP_2 ?
- 10) Qual é o valor de V_o em TP_3 ?
- 11) Quanto de ganho é proporcionado por Q_2 ?
- 12) Dos dados técnicos disponíveis, determine o comprimento de onda de radiação do LED.
- 13) Qual é o comprimento de onda de operação do fototransistor?
- 14) Alimente o sistema com uma onda quadrada. Qual é a máxima frequência na qual o sistema operará sem muitas distorções na onda?

2.7- Experiência 07: Sistema de transmissão FM

A EXPERIÊNCIA:

Essa experiência aborda técnicas básicas de modulação de frequência de uma portadora, tanto quanto a demodulação da portadora no receptor. Um circuito integrado controlado por tensão é avaliado, e seu desvio de frequência e outras características são medidas.

OBJETIVO:

Após a compreensão desse experimento, o estudante estará apto à:

1. Descrever a operação de um oscilador FM, ou modulador de luz.
2. Sugerir aplicações para transmissão de FM.
3. Testar e avaliar um transmissor e receptor básico de FM que estão nos terminais de um cabo de fibra óptica.
4. Ler e compreender artigos técnicos que descrevem a operação de sistemas de comunicações ópticas com modulação FM.

INTRODUÇÃO:

Modulação em frequência de uma onda portadora tem aplicações nos sistemas telefônicos, instrumentação, sistemas de transferência de informação e muitos outros. Modulação em frequência (FM) é usada em multiplexação por divisão de frequência (FDM) de voz na telefonia.

Na modulação em frequência a amplitude da onda modulante determina o grau de desvio em frequência da onda modulada em relação a onda não modulada. A magnitude da mudança de frequência, determinada pela amplitude do sinal modulante, é chamada de desvio de frequência ou deslocamento de frequência.

Na radiodifusão comercial um máximo desvio de frequência de ± 75 KHz é permitido, e um adicional de 25 KHz é alocado em cada lado como uma banda de reserva ou proteção entre as estações. Cada estação de FM, por consequência, tem uma largura de banda alocada de 200 kHz, da qual 50 kHz não pode ser usada. Essa banda de segurança é necessária para reduzir possíveis interferências entre as estações, devido as características da largura de banda dos estágios de FI dos receptores.

O sinal modulante em FM causa uma mudança na frequência da portadora enquanto que em um rádio AM ocorre uma mudança na amplitude da mesma.

A razão do desvio da frequência está relacionada à frequência da onda modulante. Se o sinal modulante é de 100 Hz quando a portadora é de 50 kHz, a portadora irá desviar sua frequência na razão de 100 Hz. Os dois fatores importantes a serem considerados são: Desvio de frequência, o qual está relacionado à amplitude da onda modulante, e a razão do desvio, a qual está relacionada à frequência da onda modulante. A figura 2. 7.1 mostra os efeitos de um sinal de onda senoidal modulante numa portadora.

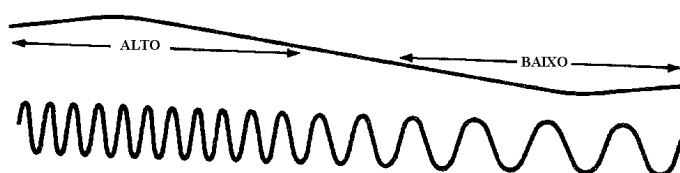
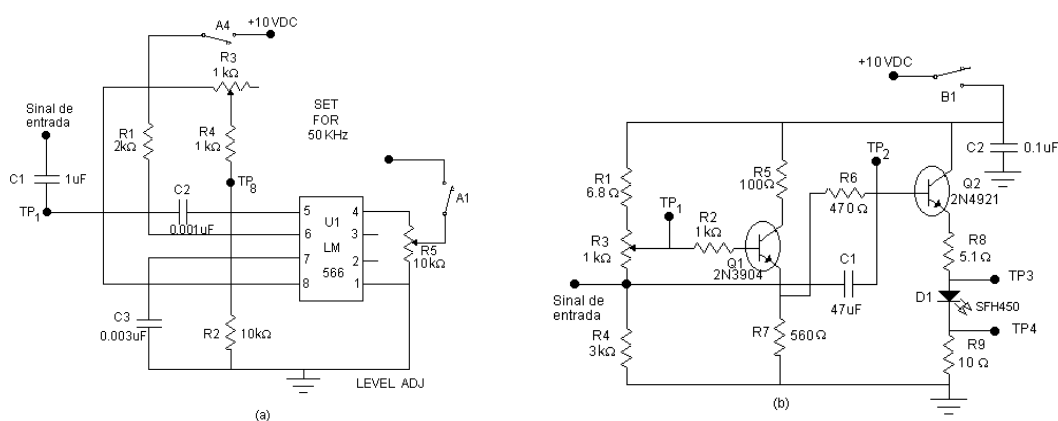


Figura: 2.7.1 Modulação em Frequência de uma Portadora.

Com o aumento da amplitude da tensão modulante, a frequência da portadora aumenta. E quando a tensão modulante diminui, a frequência da portadora diminui. Um sinal AM produz uma banda superior e uma banda inferior, enquanto que um sinal FM produz múltiplas bandas laterais superiores e inferiores. Por exemplo, um sinal de 3 KHz modulando uma portadora de 100 MHz produzirá múltiplas bandas laterais a cada 3 KHz. De 5 a 7 bandas devem aparecer em cada

Modulação em frequência pode ocorrer na banda padrão de radiodifusão FM, isto é, de 88 a 108 MHz, ou em frequências maiores ou menores. No experimento do laboratório um oscilador controlado por tensão operando na faixa de 50 a 80 KHz é modulado em frequência. A figura 2.7.2 mostra um diagrama de um circuito de um transmissor óptico de FM que pode ser usado em sistemas de comunicações por fibra ópticas. O transmissor têm 2 seções principais - o oscilador FM e o circuito de polarização do LED. O oscilador da portadora é um dispositivo controlado por tensão (V_{CO}) com um terminal e uma saída de onda quadrada. Uma mudança na tensão dos pinos 5 ou 6 mudará a frequência oscilante.


$$f_0 = \frac{2(V_{cc} - V_c)}{R_3 R_4 C_3 V_{cc}}$$

65

Os sinais de saída do oscilador são ambos uma onda quadrada (pino 3) e uma onda triangular (pino 4). Outros componentes disponíveis semelhantes também produzem ondas senoidais. A tabela 2.7.1 mostra a relação entre a frequência de saída e mudanças na tensão DC no pino 5 (TP₈). As mudanças na tensão são feitas através da variação de R₃.

Tabela: 2.7.1 Frequência de saída versus tensão de controle

+ V _c	F ₀ (KHz)
8,0	74,00
8,1	70,36
8,2	66,96
8,3	62,84
8,4	59,27
8,5	55,77
8,6	52,12
8,7	48,42
8,8	44,70
8,9	41,11
9,0	37,36
9,1	33,38
9,2	29,40
9,3	25,77
9,4	22,00

Tabela: 2.7.2 Corrente do LED versus Tensão de Polarização.

VR ₃	I _F (mA)
0.89	42
0.95	41
1.00	40
1.05	37
1.10	34
1.15	29
1.20	20
1.25	1
1.30	0

A segunda seção do transmissor é o circuito de polarização do LED. O potenciômetro R₃ determina a corrente DC através do LED. A tabela 2.7.2 mostra a relação entre o nível de tensão dada através de R₃ e a corrente I_f do LED.

Uma mudança na tensão de 0,1V produz uma mudança na frequência de aproximadamente 3 a 4 KHz. Com o aumento de V_c, a frequência diminui. Um aumento ou diminuição na tensão de controle pode ser conseguido pela mudança no valor de R₃ ou por superposição de uma tensão AC sobre o nível DC. Se um sinal AC é baixo em frequência, os desvios da frequência de saída podem ser observados num osciloscópio. O nível de tensão do sinal AC determina o desvio na frequência, e a frequência do sinal modulante determina a razão de desvio e o índice de modulação.

Se VR₃ for ajustada em +1,8 V_{DC}, a corrente LED será da ordem de 15 mA. Se existir um sinal triangular de tensão no potenciômetro R₅ e este for somado à tensão no LED, a corrente do LED irá variar na frequência do oscilador de FM. A

corrente LED estará modulada em frequência. A tensão modulada através de R_9 indica as mudanças na corrente I_f .

A posição do potenciômetro R_5 determina o nível da corrente de polarização do LED. Se a tensão AC no potenciômetro é muito alta, a corrente do LED será distorcida. O transistor Q_1 é um amplificador, enquanto Q_2 determina o fluxo de corrente do LED.

EXPERIÊNCIA:

Nessa experiência, o estudante observará e avaliará o efeito da modulação de um LED com o aumento da frequência do sinal AC (portadora), e de modulação em frequência da portadora com um sinal de baixa frequência

MATERIAL NECESSÁRIO:

- | | |
|--|----------|
| 1) Modulo <i>Master Builder</i> | S300B |
| 2) Painel de inserção da fibra óptica. | SIP375-2 |
| 3) Multímetro digital | |
| 4) Osciloscópio, de dois canais | |
| 5) Gerador de função | |

PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

- 1) Insira o painel SIP375-2 no *Master Builder*. Usando o multímetro digital ajuste a fonte de $\pm 15V_{DC}$ para $+10V_{DC}$. Refira-se as seções H e I do painel para os experimentos seguintes. Feche as chaves Swa-4 e SWb-1. Ligue a fonte.
- 2) Observe a corrente da portadora sem a modulação do LM566. Conecte o multímetro digital em TP_3 . Varie R_3 até que a tensão em TP_3 seja aproximadamente igual a $1.8 V_{DC}$. Meça a tensão em TP_4 e calcule a corrente I_f através do LED.
- 3) Conecte o osciloscópio em TP_4 e ajuste R_5 na seção H para $0.3 V_{pp}$. Feche as chaves Swa-1 e registre a forma de onda presente e meça a tensão pico-a-pico em TP_3 .

- 4) Meça e anote o intervalo de frequência do oscilador como um resultado das mudanças na tensão de controle do pino 5 (R_3). Conecte um contador de frequência e/ou osciloscópio em TP₄ e um multímetro digital em TP₈ (pino 5 do LM566 ou TP₂). Ajuste R_3 até que a frequência em TP₄, seja de 55 KHz. Dos valores de R_3 e R_4 (estimados), C_3 , e a tensão no pino 5 (V_c), calcule a frequência F_o .
- 5) O que é afetado quando R_3 é variado ?
- 6) Suponha que uma tensão AC foi adicionada à tensão DC no pino 5. Poderia a tensão variar em torno da tensão DC ?
- 7) Dos valores DC (mostrados na tabela 7.1), qual deve ser a variação na frequência para uma mudança de 0,1 V_{DC} na tensão de controle?

2.8- Experiência 08: Demodulação de Portadora FM.

A EXPERIÊNCIA:

A demodulação FM e os sistemas de recepção são uma continuação da experiência 07 que estuda a modulação em frequência. Nessa experiência o aluno, poderá avaliar um receptor FM que é capaz de modular a luz e demodular a frequência .

OBJETIVO:

Após completar a experiência e avaliar os dados, o aluno será capaz de:

- 1-Descrever a operação de um receptor FM de luz.
- 2-Sugerir aplicações para os princípios de FM.
- 3-Passar seu conhecimento de um receptor FM de luz às pessoas da área técnica.
- 4-Ler e entender artigos técnicos que descrevem variações no uso de enlaces com modulação FM.

INTRODUÇÃO:

Um demodulador FM contém circuitos que permitem a conversão de frequência em tensão. A figura 2.8.1 mostra um diagrama em blocos de um receptor de FM típico .

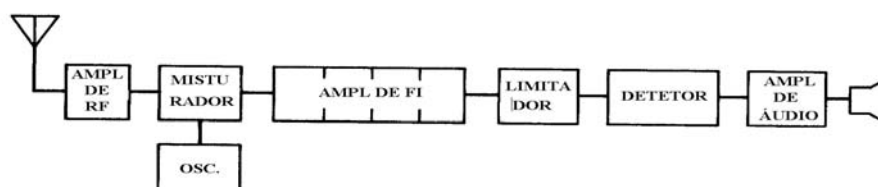


Figura: 2.8.1 Diagrama em Blocos do Receptor de FM.

Um receptor de luz modulada em FM incorpora conceitos similares de projeto, porém com diferentes tipos de circuitos. A figura 2.8.2 mostra um receptor de FM. Sua descrição é dada a seguir:

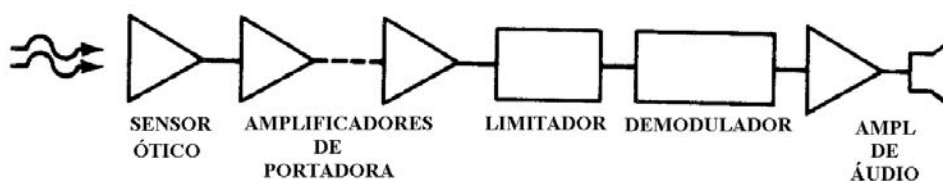
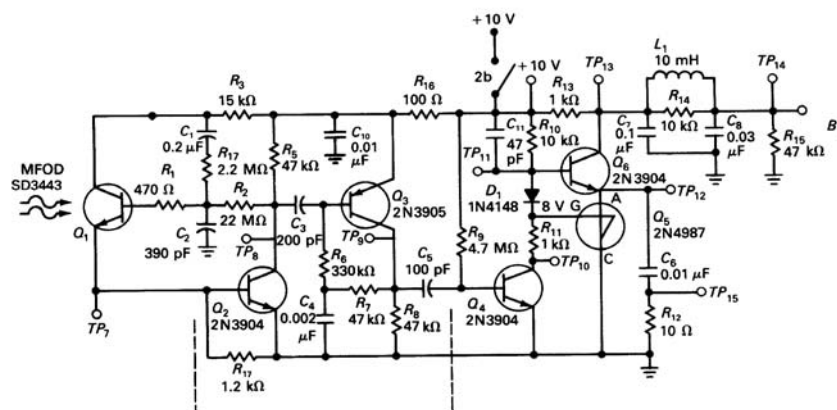


Figura:2.8.2 Receptor de FM.

O fotodetector recebendo a energia da luz, vinda da fibra converte a luz radiante em corrente elétrica. O uso de um fotodiodo ou fototransistor determinará o número de estágios de amplificação necessárias. Neste circuito experimental, dois estágios de ganho aumentam a tensão da portadora a uma amplitude tal que esta tensão satura o amplificador limitador. Quando isto acontece, as porções superior e inferior da portadora ficam grampeadas (os picos das ondas são suavizados). Qualquer ruído adicionado aos picos da portadora são removidos, e a forma de onda de saída parece uma onda quadrada. Desde que a informação está na frequência da portadora, o grarnpeamento não afeta a qualidade do sinal.

O demodulador é um conversor de frequência em tensão. A saída do demodulador é um sinal de áudio que pode ser amplificado por um amplificador de áudio.

A figura 2.8.3 mostra o diagrama de circuitos para a realização do projeto no laboratório. O receptor pode operar com frequências de 50 a 100 KHz. O filtro formado por C_7 , L_1 , C_8 e R_{14} rejeita a portadora na saída.



FOTODETETOR AMPLIFICADOR DEMODULADOR

Figura:2.8.3 Receptor de FM, 50 kHz.

O Sensor Q_1 é um fototransistor, cujo ganho é controlado pela realimentação de Q_2 . Os transistores Q_2 e Q_3 produzem dois estágios de ganho e Q_4 é o limitador. O transistor Q_5 é uma chave unilateral de silício (SUS), similar a um diodo zener, operando de 6 a 10 V. Durante a demodulação, a portadora na forma de uma onda quadrada (grampeada), provê 7V no ânodo e 8V na porta.

O transistor Q_6 possui uma onda quadrada em sua base e variações de pulso no emissor. As variações decorrem da carga e descarga do capacitor C_6 . A SUS grampeia a tensão de 7 a 7,5 V. Pulsos negativos de Q_4 ligam a SUS. A saída do coletor de Q_6 contém o sinal de áudio com uma portadora residual. Os Capacitores C_7 e C_8 e o indutor L_1 , fazem um filtro Pi (π) que elimina a portadora remanescente. Efeitos capacitivos no sensor e a filtragem na saída limitam a faixa de frequência de áudio a valores inferiores a 20 KHz. O tipo de sensor usado, será determinado em parte pela frequência de operação do LED e o ganho necessário no receptor.

EXPERIÊNCIA:

Nessa experiência, um receptor óptico de portadora FM será avaliado. Pode-se fazer medidas nas formas de ondas observadas. Um sistema completo de transmissão e recepção poderá ser testado.

MATERIAL NECESSÁRIO:

- | | |
|--|----------|
| 1) Modulo <i>Master Builder</i> | S300B |
| 2) Pannel de inserção da fibra óptica. | SIP375-2 |
| 3) Fibra óptica de 50cm | EH4001 |
| 4) Transmissor da experiência 07 | |
| 5) Multímetro digital | |
| 6) Osciloscópio, de dois canais | |
| 7) Gerador de função | |

PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS:

- 1) Refira-se ao circuito mostrado na figura 2.8.3. Insira o pannel SIP375-2 no *Master Builder*. Usando o multímetro digital ajuste a fonte de $\pm 15V_{DC}$ para $+10V_{DC}$. Entre o transmissor seções H e o receptor seções M use uma fibra ótica de 50 cm.
- 2) Ajuste o transmissor conectando um osciloscópio em TP₃ para observar a onda que modula a portadora do LED. Ajuste R₅ e R₃ no modulador até que uma onda triangular seja observada na saída do LED. O osciloscópio poderá permanecer conectado em TP₃.
- 3) Feche a chave SWb-2, usando o canal 2 do osciloscópio, observe a forma de onda da portadora e a tensão no receptor em TP₇, TP₈ e TP₉. Cuidadosamente ajuste R₅ na seção H e R₃ na seção I no transmissor, pois o fotodetector pode saturar devido o pequeno comprimento do cabo (fibras).
- 4) Verifique a tensão pico a pico nos seguintes ponto de teste: TP₇, TP₈ e TP₉.

- 5) Capacitâncias parasitas e o baixo tempo de subida do fotodetector na entrada do receptor afetam a forma de onda do sinal. Qual é o efeito na onda triangular?
- 6) Das medidas realizadas, calcule o ganho de: Q_2 , Q_3 e o ganho total.
- 7) Meça e anote V_o em TP_{10} , V_{in} em TP_9 e qual o ganho de tensão em Q_4 ?
- 8) Q_4 está atuando como limitador?
- 9) A frequência modulante ainda permanece a mesma da portadora no transmissor?
- 10) A SUS opera entre 6 e 10V. Qual a tensão de chaveamento em TP_{12} ?
- 11) Meça a tensão em TP_{11} .
- 12) A saída de Q_6 é conectada em um filtro pi de 50 kHz. Observe as formas de onda em TP_{13} e TP_{14} . A portadora é atenuada pelo filtro?
- 13) Use o osciloscópio e determine qual a frequência da portadora em TP_{13} ?
- 14) Ajuste o gerador de função diminuindo o sinal levemente e observe TP_{12} . Somente a portadora poderá estar presente. Aumente devagar a amplitude do gerador na saída. O que acontece com a onda quadrada em TP_{12} ?
- 15) Desvio de frequência de um sinal FM depende da amplitude do sinal modulante. O desvio da frequência da portadora aumenta com uma maior amplitude do sinal?
- 16) O capacitor C_6 (0,01 μF) e o resistor R_{12} (10 Ω) formam um diferenciador (sem sinal na entrada). Qual a forma de onda em TP_{15} ? Verifique o período entre os pulsos?
- 17) Module o transmissor usando uma frequência entre 3 e 10 Hz. Lentamente aumente a amplitude do gerador. Isto afeta a forma de onda em TP_{14} ?

2.9- Experiência 09: Modulação em Largura de Pulso

A EXPERIÊNCIA

Este experimento, abrange os métodos de modulação de largura de pulso de um sinal, a transmissão do sinal sobre uma fibra óptica, e a demodulação do sinal no

receptor. Um circuito monoestável - astável proporciona a frequência da portadora, que é modulada em largura de pulso.

OBJETIVO:

Depois de completada a experiência e obtido os resultados, o estudante será capaz de:

1. Descrever as técnicas usadas para produzir modulação em largura de pulso (PWM).
2. Sugerir aplicações para os princípios envolvidos no PWM.
3. Passar seu conhecimento de técnicas PWM para outras pessoas da área técnica.
4. Ler e compreender artigos técnicos que descrevem o uso de técnicas de PWM.

INTRODUÇÃO:

Modulação em largura de pulso, como AM e FM, pode ser usada para a transmissão de sinais analógicos. Em PWM, a amplitude e a frequência da portadora são mantidas constantes enquanto a largura do pulso varia. A portadora geralmente é uma onda quadrada (pulsos), e o sinal modulante varia a largura dos pulsos. Um modulador converte o sinal analógico em uma sequência de pulsos com diferentes larguras. A variação da largura de pulso contém a informação fornecida pelo sinal modulante.

Modulação em largura de pulso é também conhecida como modulação do tempo do pulso (PTM) e modulação da duração do pulso (PDM). O sinal modulante pode variar o início ou o fim dos pulsos da portadora ou ambos. Na modulação por posição de pulso, os pulsos modulados são deslocados no tempo de seu local original. A figura 2.9.1 mostra a aparência geral de muitas formas de modulação.

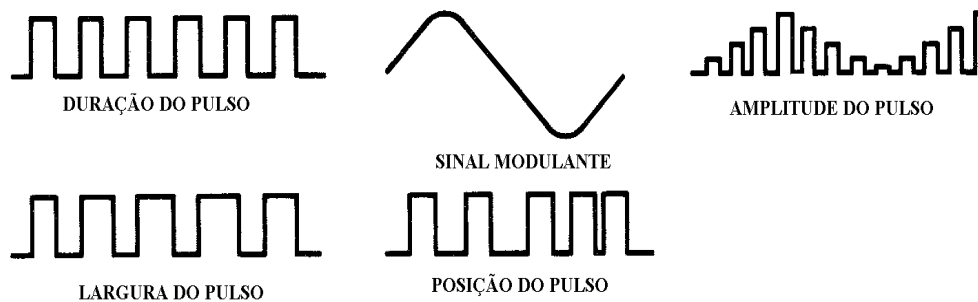


Figura. 2.9.1 Formas de Modulação.

A transmissão de pulsos modulados, comparadas à transmissão de sinais analógicos, reduz os níveis de ruído e distorção. Diferente de sinais analógicos, os pulsos são facilmente reproduzidos e podem ser transferidos através de estações repetidoras. Embora ruído ou interferência podem estar presentes, os pulsos da portadora transmitida, que podem estar deteriorados, podem ser usados para disparar um conjunto de pulsos semelhantes. A fonte de tensão analógica pode ser uma voz ou um instrumento transdutor.


O transmissor consiste de um oscilador (onda quadrada) e um gerador de pulso (Schmitt trigger ou oscilador monoestável). O sinal modulante varia a largura do pulso do gerador de pulso e a taxa de repetição é determinada pelo oscilador. Se a tensão de controle do oscilador é modulada, o oscilador torna-se um modulador de posição de pulso.

No circuito de laboratório, um temporizador duplo (LM556) é usado como o oscilador e gerador de pulso. A figura 2.9.2 mostra a disposição dos pinos para este circuito integrado. A figura 2.9.2a é usada como o gerador de pulso e a figura 2.9.2b, como o oscilador.

O período total é dado por: $T = t_1 + t_2 = 0,693 (R_6 + R_7) C_6$

A frequência de oscilação é dada por: $f_0 = \frac{1}{T} = \frac{1.44}{(R_6 + 2R_7)C_6}$

O ciclo útil, expresso em porcentagem, é dado por:

$$D (\text{in } \%) = \frac{T_1}{T_1 + T_2} \times 100$$


O oscilador deve ter uma frequência menor que a frequência do gerador de pulso: $f_0 = \frac{1}{T_1}$

Ambos osciladores são gatilhados (triggered) pelo pulso negativo. No LM556, a saída do oscilador astável (pino 9) é ligada à entrada do gatilhador (pino 6) do oscilador monoestável. Os componentes R_1 e C_1 determinam o período do gerador de pulso monoestável. Para os valores dos componentes mostrados, largura do pulso é aproximadamente $8 \mu\text{s}$. A saída do pulso modulado é observada no pino 5, e o sinal de entrada modulante é alimentado no pino 3. A figura 2.9.4 mostra as formas de onda do pulso modulado em largura produzido quando o circuito é modulado por uma onda senoidal.

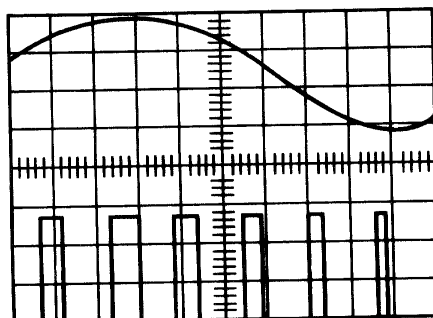


Figura 2.9.4 Diagrama de um sinal modulado em largura de pulso, usando um sinal de onda senoidal.

Durante a experiência no laboratório, um circuito PWM será modulado e os diagramas serão observados. A saída será usada para alimentar um LED.

EXPERIÊNCIA:

Na experiência, será medida e registrada a frequência do oscilador e gerador de pulso, o gerador de pulso será modulado para produzir modulação de

largura de pulso em um LED e o aluno modulará o oscilador estável para produzir modulação de posição de pulso.

MATERIAL NECESSÁRIO:

- | | |
|--|----------|
| 1) Modulo <i>Master Builder</i> | S300B |
| 2) Painel de inserção da fibra óptica. | SIP375-2 |
| 3) Fibra óptica de 50cm | EH4001 |
| 4) Multímetro digital | |
| 5) Osciloscópio, de dois canais | |
| 6) Gerador de função | |

PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAL:

- 1) Insira o painel SIP375-2 no *Master Builder*. Refira-se as seções I e K para os próximos passos.
- 2) Ajuste a fonte de $\pm 15V_{DC}$ para $+10V_{DC}$. Observe e registre a saída do oscilador em TP₃
- 3) Usando um osciloscópio, meça e registre: t_1 , t_2 , V_0 e calcule f_0
- 4) Veja e registre o pulso do sinal de saída pico a pico do gerador em TP₂.
- 5) Determine a largura do pulso e o ciclo útil.
- 6) Veja a modulação do pulso em TP₂. Use uma onda senoidal de 1 V_{pp} e de 500 Hz como o sinal modulante em TP₁. Registre a amplitude da forma de onda.
- 7) Refira-se às seções K e M para a experiência a seguir. Use a configuração correta do experimento anterior. Feche a chave SWb-1 (no circuito L). Conecte a fibra de 50 cm entre o emissor na seção H e o diodo receptor localizado entre as seções L e M.
- 8) Conecte a saída do gerador de função em TP1 na seção K. Assegure-se que a amplitude do gerador está no menor ajuste. Inicie com uma frequência de 1Hz. Conecte o canal 1 do osciloscópio em TP₂. Faça os ajustes de VOLT/DIV e TEMP/DIV para que três pulsos sejam mostrados na tela do osciloscópio.

- 9) Note a expansão e a redução da largura do pulso quando você aumenta a amplitude. Uma amplitude muito alta pode destravar o sinal. Aumente a frequência lentamente. O que ocorre com o sinal PWM?
- 10) Refira-se a seção M. Feche as chaves SWb-4. Remova a entrada do gerador de função da seção K. Meça TP_6 na seção M, ajuste R_2 e R_5 de forma combinada para tornar a forma de onda tão plana quanto possível. Este circuito rejeita as frequências acima e abaixo da frequência base.
- 11) Meça a amplitude da forma de onda, V_{pp} .
- 12) Observe os efeitos da supermodulação do oscilador. Ajuste o controle PWM, R_8 , para um sinal de entrada zero. Ajuste o resistor de polarização do LED R_3 , até que a tensão DC (menos qualquer componente AC) em TP_4 seja igual a $0,3V_{DC}$. Calcule a corrente I_f .
- 13) Aumente a modulação até que um sinal de $3V_{pp}$ apareça na saída TP_4 . Meça a tensão DC em TP_4 .
- 14) Calcule a corrente no LED quando o sinal está presente.
- 15) A corrente de saída aumenta durante a modulação?

2.10- Experiência 10: Receptor de PWM

A EXPERIÊNCIA:

O receptor PWM é usado em conjunto com o transmissor PWM. O receptor é composto pelo sensor fotodiodo, o filtro ativo, e o amplificador de áudio. O desempenho do receptor é avaliado durante a demodulação de um sinal.

OBJETIVO:

Após a finalização deste experimento e avaliação dos dados, o estudante estará apto a:

1. Avaliar receptores PWM.
2. Avaliar enlaces de transmissão PWM.
3. Projetar e medir um filtro NOTCH com estreita banda de passagem.

2. Gerador de pulso (saída em TP₂).
3. Sinal de entrada modulante (alimentado em TP₁).
4. Circuito polarizador da fonte óptica (LED).

E um receptor com:

1. Detector Fototransistor e amplificador A.
2. Filtro da portadora, amplificador B.
3. Amplificador de áudio C.

O transmissor e o receptor estão conectados por um cabo de fibra óptica. Quanto maior o comprimento do cabo (e perda no cabo), mais alto ganho é requerido no receptor e maior potência de polarização no LED.

No circuito receptor mostrado na figura 2.10.1, um fototransistor é usado. Devido ao lento tempo de subida, a saída será distorcida. A seguir, descreve-se a função dos componentes usados no receptor. O capacitor C₁ reduz a amplitude da frequência da portadora após a detecção por um fotosensor. O amplificador A provê um ganho que é controlado por R₁. O sinal amplificado é alimentado ao filtro NOTCH ativo, o qual é sintonizado à frequência da portadora através dos potenciômetros R₂ e R₅. Os dois controles são ajustados para um mínimo sinal de portadora na saída do amplificador B. O filtro provê alta atenuação (acima de 40 dB) na frequência sintonizada.

A saída do filtro NOTCH alimenta um filtro passa baixa, R₈-C₅, o qual atenua ainda mais a frequência da portadora. O amplificador C provê um ganho adicional para amplificação da tensão do sinal modulante de áudio. O capacitor C₇ também provê filtragem da portadora.

Os amplificadores são parte de um quad IC, TLO74 (semelhante ao LF347 ou MO3403), o qual possui um filtro de portadora tipo RC em cada uma das linhas de alimentação: Positiva (R₁₁-C₁₀) e negativa (R₁₂-C₉). Note que o oscilador e o gerador de pulso consomem de 30 a 40 mA, e picos podem facilmente circular nas linhas de terra e de alimentação.

Durante o experimento, um sistema de comunicações PWM será avaliado. Ele pode ser usado para transmitir sinais de tom, fala, ou outros dados. O sistema têm uma banda de passagem de baixa frequência maior que 10 KHZ.

EXPERIÊNCIA:

Nessa experiência, o estudante irá modular o transmissor que foi usado na experiência 9, usando uma onda senoidal de um gerador de função, e observar esse sinal em vários pontos de teste do sistema.

MATERIAL NECESSÁRIO:

- | | |
|---|----------|
| 1) Modulo <i>Master Builder</i> ou | S300B |
| 2) Pannel de inserção da fibra óptica. | SIP375-2 |
| 3) Fibra óptica de 50cm | EH4001 |
| 4) Circuito transmissor, experiência 09 | |
| 5) Multímetro digital | |
| 6) Osciloscópio, de dois canais | |
| 7) Gerador de função | |

PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAL:

- 1) Insira o painel SIP375-2 no *Master Builder*. Refira-se as seções I, K e M para essa experiência. Ajuste a fonte de $\pm 15V_{DC}$ para $+10V_{DC}$.
- 2) Feche as chaves do SWb-1 e Swa-2, 3 e 4. Conecte um cabo de fibra de 50 cm entre o emissor LED na seção H e o fotodiodo localizado entre as seções L e M. Ajuste o gerador de função com uma onda senoidal de 1 V_{PP} a 1 KHz, e alimente este sinal na entrada do transmissor na seção K.
- 3) Reveja a experiência 09 e ajuste o transmissor. A corrente DC do LED (emissor) deve estar entre 25 e 30 mA. Cheque a forma de onda da tensão em TP₃ do transmissor para ficar certo que um sinal está sendo transmitido.
- 4) Observe a forma de onda em TP₅ na seção M (receptor) e registre a amplitude do sinal. Esboce a forma de onda vista em TP₅.
- 5) Veja e registre o sinal de saída em TP₇ no painel M. Se a forma de onda observada conter a frequência da portadora, ajuste ambos R₂ e R₅ no painel M para rejeitar o sinal da portadora visto nessa saída. Se o sinal estiver oscilando, varie a saída do gerador de função para eliminar esta oscilação.

- 6) Qual é a banda de passagem do sistema entre os pontos de 3 dB para alta e baixa frequência (TP₄ do modulador do transmissor para TP₇ do receptor) ?
- 7) Cheque a sintonia do filtro NOTCH desconectando o cabo de fibra óptica. Alimente TP₅ no receptor com uma onda senoidal de 0.5 mV_{pp} e 1 KHz. Registre a saída do filtro em TP₆. Qual é o ganho do filtro ?

Capítulo 3

Simulador para Análise de enlaces ópticos

Neste capítulo serão apresentadas as modificações feitas nos componentes que constituem um enlace óptico, desenvolvidos nas referências bibliográficas [6] e [7] utilizando o software *Matlab-Simulink*, bem como mostraremos exemplos de aplicações utilizando os blocos modificados.

3.1- Visão geral do *Toolbox*

A figura 3.1 mostra a janela principal do software, esta janela contém os blocos já modificados que possibilita a simulação de todos os componentes utilizados em um enlace óptico.

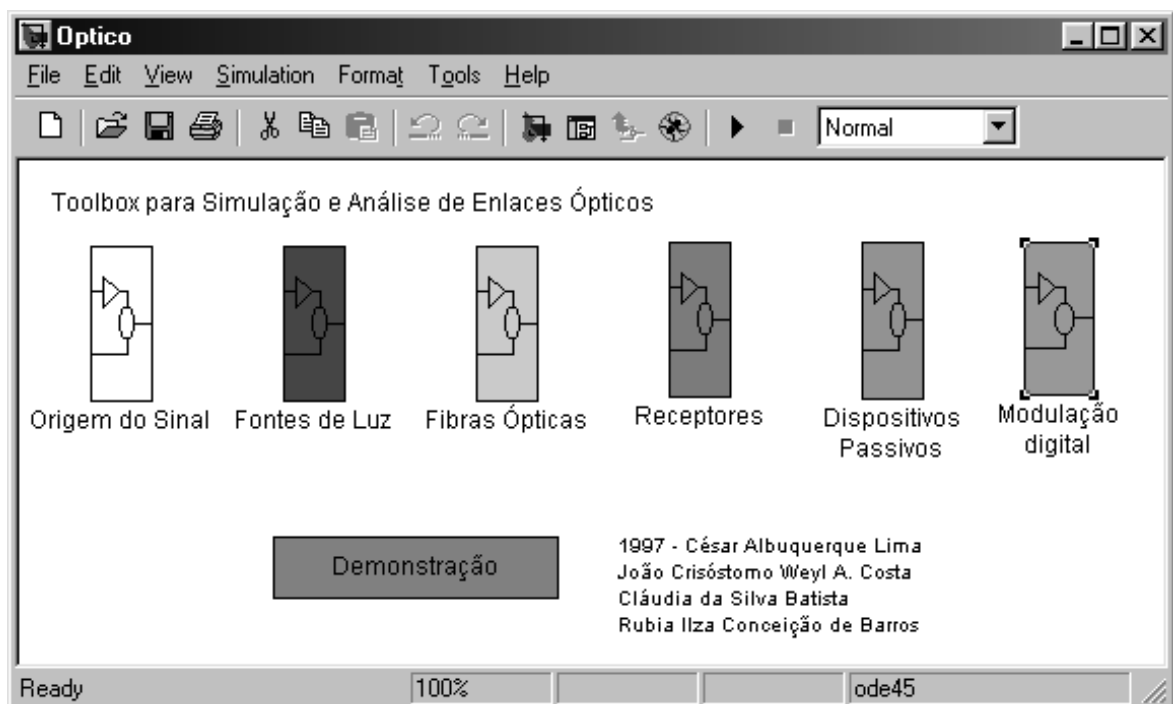


Figura 3.1 Janela principal do software

O primeiro bloco denominado de origem do sinal é mostrado na figura 3.2, nesse bloco não foi feita nenhuma modificação, pois o mesmo é retirado do próprio *toolbox* do *Matlab/Simulink*, e como pode ser observado possui geradores de sinais e de ruídos, osciloscópio, analisadores de espectro e outros componentes.

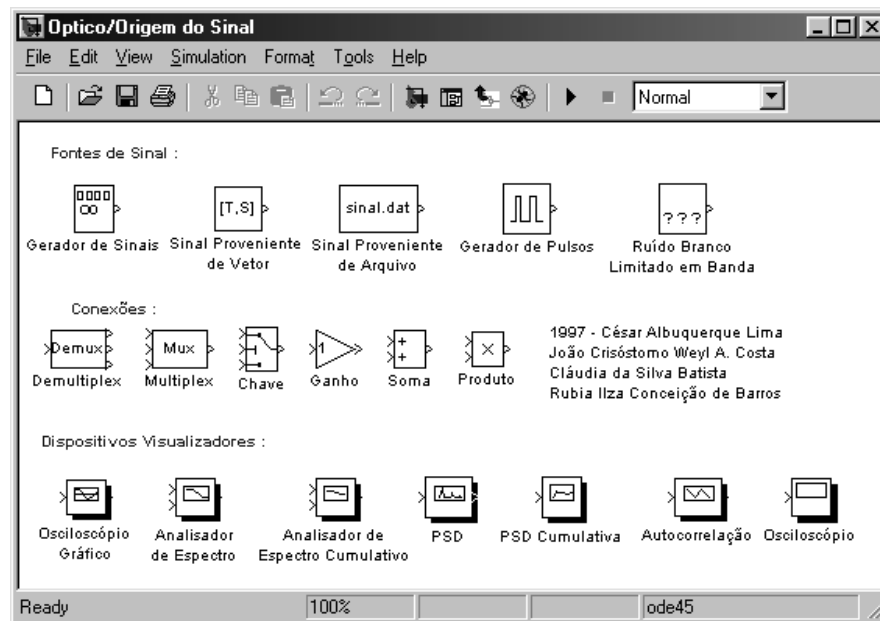


Figura 3.2 Bloco origem do sinal

O segundo bloco denominado de fonte de luz, incluem um módulo para LEDs e dois módulos para LASERs, sendo um representativo da eficiência de acoplamento e o outro da resposta em frequência do dispositivo, como pode ser observado na figura 3.3. O módulo de resposta em frequência é modelado diferentemente para o LASER multimodo do tipo FABRY-PEROT e monomodo do tipo DFB daí a presença de dois blocos distintos.

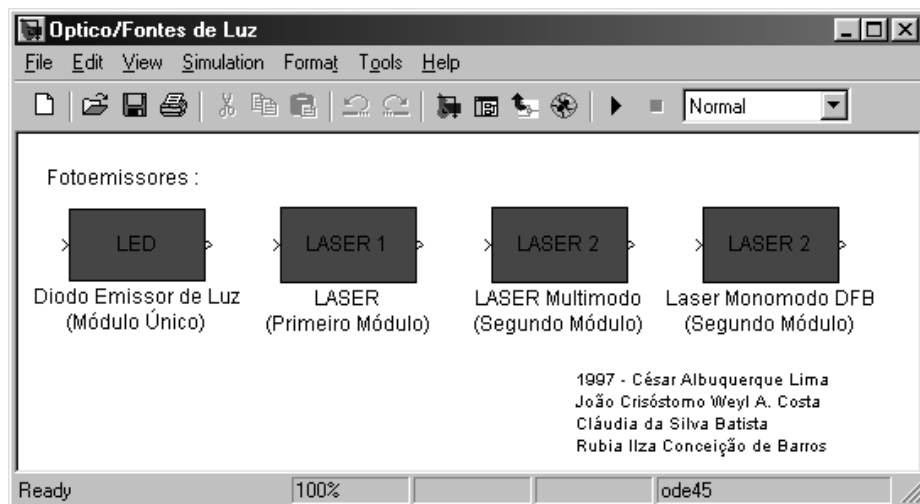
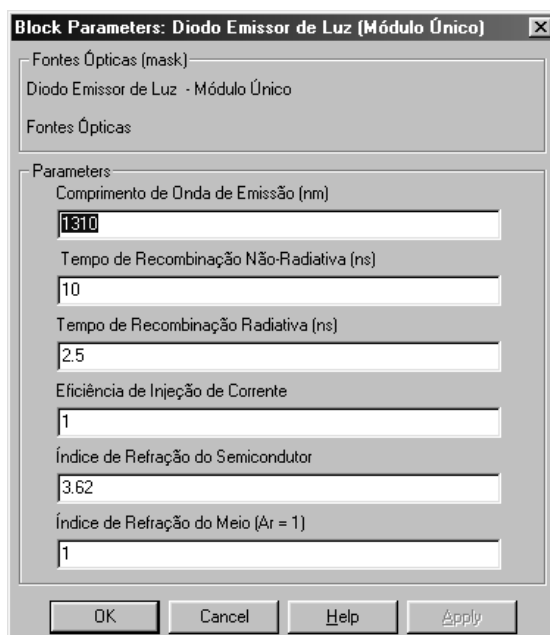
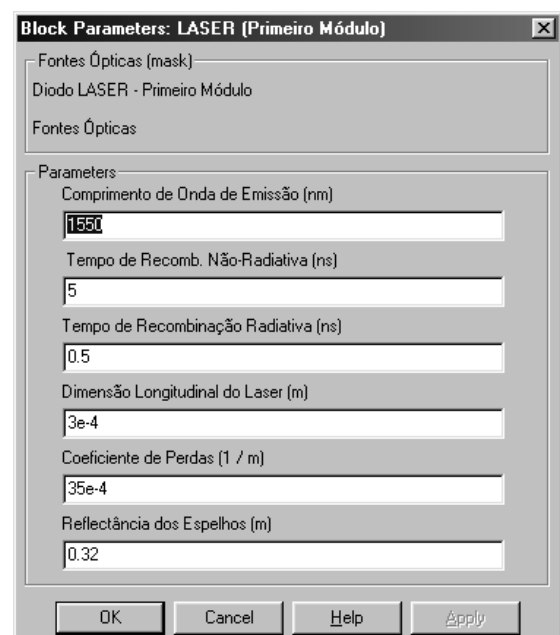


Figura 3.3 Bloco de fonte de luz

No segundo bloco a única modificação feita foi no bloco de LASER multimodo, onde foi excluído a corrente de pré-polarização que tem a mesma função da corrente injetada, o que levaria o usuário a cometer erros, se o mesmo atribuísse valores diferentes para esses parâmetros. A figura 3.4(a) mostra a janela de ajuste de parâmetros para o LED, a 3.4(b) mostra a janela de ajuste de parâmetros para o LASER, a 3.4(c) mostra a janela de ajuste de parâmetros para o LASER multimodo o qual sofreu a modificação e a 3.4(d) mostra a janela de ajuste de parâmetros para o LASER monomodo.



(a) LED



(b) LASER

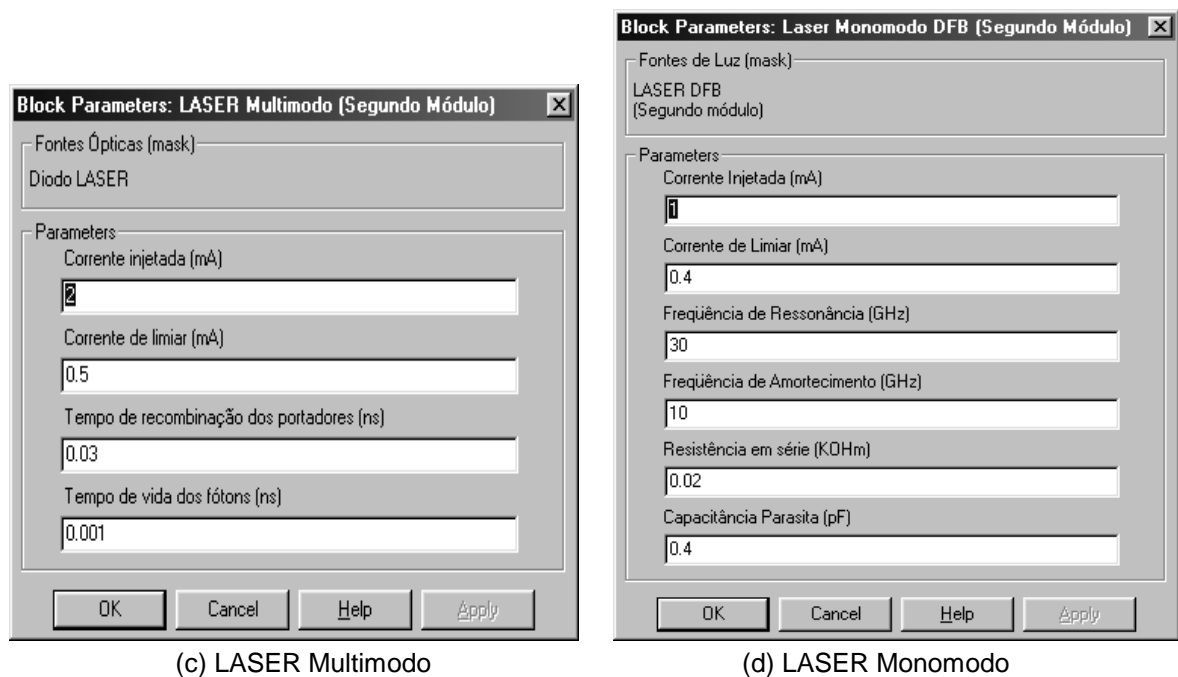


Figura 3.4. Janela de ajuste de parâmetros das fontes de luz

O terceiro bloco denominado de fibras ópticas é constituído de oito sub-blocos como mostrado na figura 3.5. O sub-bloco denominado de fibra 1 é responsável pela perda de acoplamento, o sub-bloco 2 é responsável pela dispersão e é composto de quatro blocos, o sub-bloco 3 é responsável pela atenuação e é composto de três blocos.

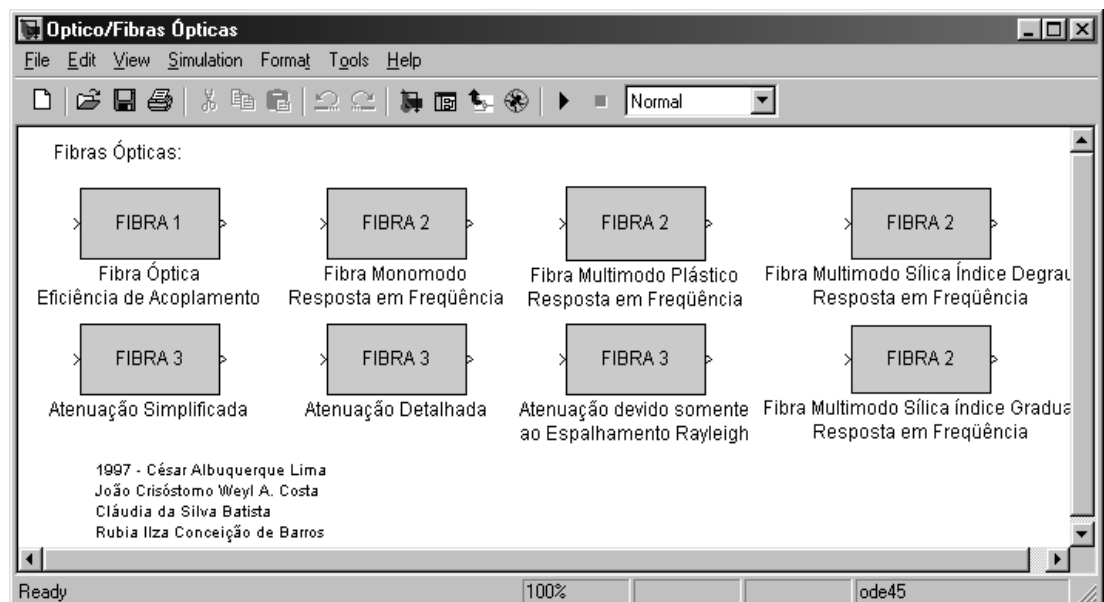


Figura 3.5 Bloco de Fibras Ópticas

A figura 3.6 (a) mostra a janela de ajuste de parâmetros da eficiência de acoplamento, a 3.6 (b) mostra a janela de ajuste de parâmetros da resposta em

freqüência das fibras monomodo, a 3.6 (c) mostra a janela de ajuste de parâmetros da resposta em freqüência das fibras multimodo de plástico, a 3.6 (d) mostra a janela de ajuste de parâmetros da resposta em freqüência das fibras multimodo de sílica com perfil de índice de refração degrau, a 3.6 (e) mostra a janela de ajuste de parâmetros da resposta em freqüência das fibras multimodo de sílica com perfil de índice de refração gradual, 3.6 (f) mostra a janela de ajuste de parâmetros da atenuação.

Block Parameters: Fibra Óptica Eficiência de Acoplamento

Fibras Ópticas (mask)
Fibra Óptica
Eficiência de Acoplamento

Parameters
Índice de Refração do Núcleo
1.462
Índice de Refração da Casca
1.441
Fator Geométrico da Fonte
0.94

OK Cancel Help Apply

(a) Eficiência de acoplamento

Block Parameters: Fibra Monomodo Resposta em Freqüência

Fibras Ópticas (mask)
Fibra Monomodo
Resposta em Freqüência

Parameters
Comprimento da Fibra (km)
10
Largura Espectral da Fonte (nm)
5
Fator de Dispersão Cromática (ps/nm.km)
3

OK Cancel Help Apply

(b) Resposta em freqüência da fibra monomodo

Block Parameters: Fibra Multimodo Plástico Resposta em F...

Fibras Ópticas (mask)
Fibra Multimodo de Plástico
Resposta em Freqüência

Parameters
Comprimento da Fibra (km)
10
Fator de Concatenação (0.7 a 1)
1
Banda Óptica Normalizada (MHz.km)
50

OK Cancel Help Apply

(c) Resposta em freqüência da fibra multimodo de plástico.

Block Parameters: Fibra Multimodo Sílica Índice Degrau R...

Fibras Ópticas (mask)
Fibra Multimodo de Sílica
Índice DEGRAU
Resposta em Freqüência

Parameters
Comprimento da Fibra (km)
10
Largura Espectral da Fonte (nm)
5
Fator de Dispersão Cromática (ps/nm.km)
3
Abertura Numérica
0.707
Fator de Concatenação (0.7 a 1)
0.7
Índice de refração do núcleo
1.441

OK Cancel Help Apply

(d) Resp. em freq. das fibras multimodo de sílica com perfil de índice ao degrau.

Block Parameters: Fibra Multimodo Sílica Índice Gradual R...

Fibras Ópticas (mask)
 Fibra Multimodo de Sílica
 Índice GRADUAL
 Resposta em Frequência

Parameters:

Comprimento da Fibra (km)

Fator de Concatenação (0.7 a 1)

Abertura Numérica

Índice de Refração do Núcleo

Fator de Dispersão Cromática (ps/nm.km)

Largura Espectral da Fonte (nm)

OK Cancel Help Apply

(e) Resp. em freq. das fibras multimodo de sílica com perfil de índice ao degrau.

Block Parameters: Atenuação Detalhada

Fibras Ópticas (mask)
 Atenuação da Fibra Óptica

Parameters:

Perda p/ Espalhamento Rayleigh (dB/km)

Perda devido à absorção (dB/km)

Perda devido ao guia de onda (dB/km)

Comprimento total da fibra (km)

Perda em cada emenda (dB)

Número total de emendas

OK Cancel Help Apply

(f) Atenuação

Figura 3.6. Janelas de ajustes dos parâmetros das fibras ópticas.

Quando é feito um enlace óptico utilizando o simulador de fibra óptica no sub-bloco denominado de fibra 2, podemos atribuir qualquer valor para o comprimento da fibra, esse mesmo parâmetro aparece no sub-bloco denominado de fibra 3 e é ele que irá indicar o comprimento real da fibra, ou seja, não importa se o usuário atribuir valores diferentes para a mesma fibra, pois o valor que irá prevalecer será o comprimento da fibra utilizado no sub-bloco denominado de fibra 3.

O quarto bloco denominado de receptores é mostrado na figura 3.7, este contém blocos para representar o comportamento dinâmico dos fotodetectores tanto do tipo PIN como APD, além dos receptores, que são fotodetectores associados a uma circuitaria eletrônica de filtragem. Nesse bloco não foi feita nenhuma modificação. A figura 3.8 (a) mostra a janela de ajuste dos parâmetros do Fotodetector PIN, a 3.8 (b) mostra a janela de ajuste dos parâmetros do Fotodetector APD, a 3.8 (c) mostra a janela de ajuste dos parâmetros do receptor utilizando Fotodetector PIN, a 3.8 (d) mostra a janela de ajuste dos parâmetros do receptor utilizando Fotodetector APD.

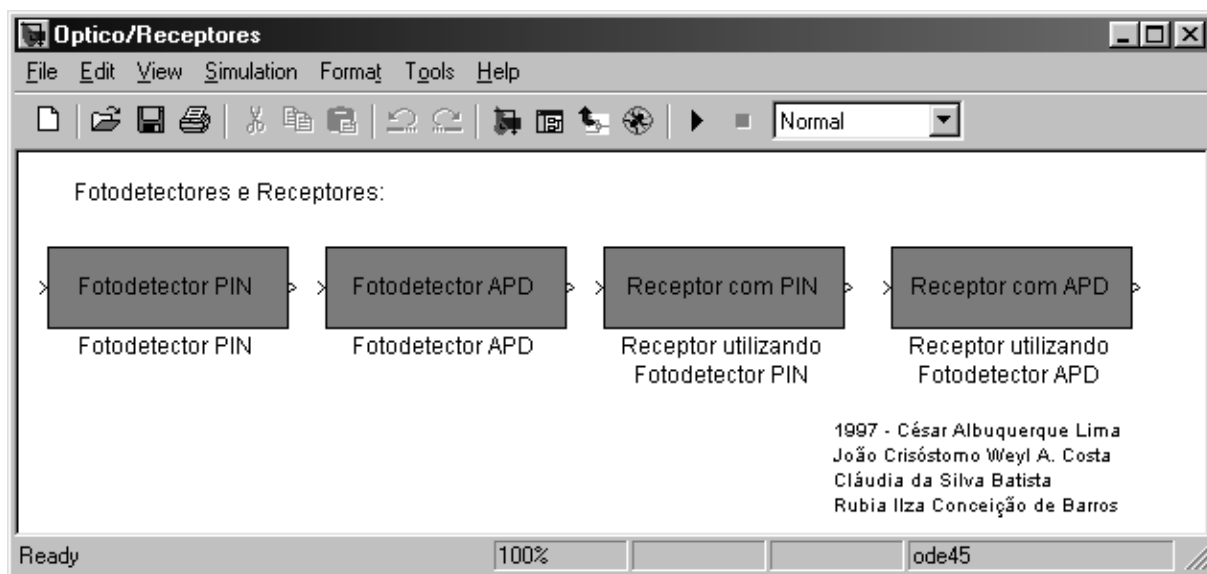


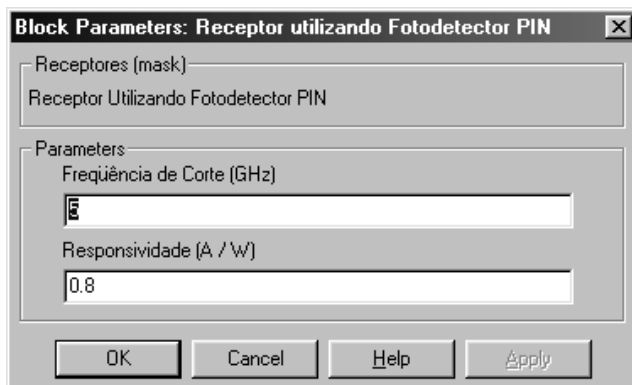
Figura 3.7. Bloco de receptores



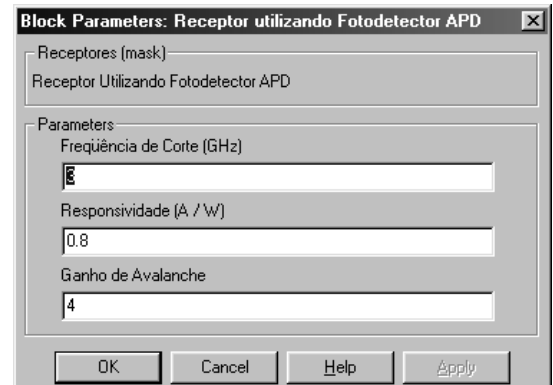
(a) Fotodetector PIN



(b) Fotodetector APD



(c) Receptor utilizando fotodetector PIN



(d) Receptor utilizando fotodetector APD

Figura 3.8. Janelas de ajustes dos parâmetros do receptor

O quinto bloco denominado de dispositivos passivos, contém blocos representativos dos principais componentes passivos utilizados em enlaces ópticos que são os acopladores direcionais e os conectores.

Os acopladores estão divididos em ideais e não ideais. No caso de acopladores ideais o usuário não tem parâmetros para ajustar, o que não ocorre com os acopladores não ideais. A figura 3.9 mostra o bloco de dispositivos passivos. A figura 3.10 (a) mostra a janela de ajuste dos parâmetros do acoplador não ideal de 9dB, 3.10 (b) mostra a janela de ajuste dos parâmetros do conector.

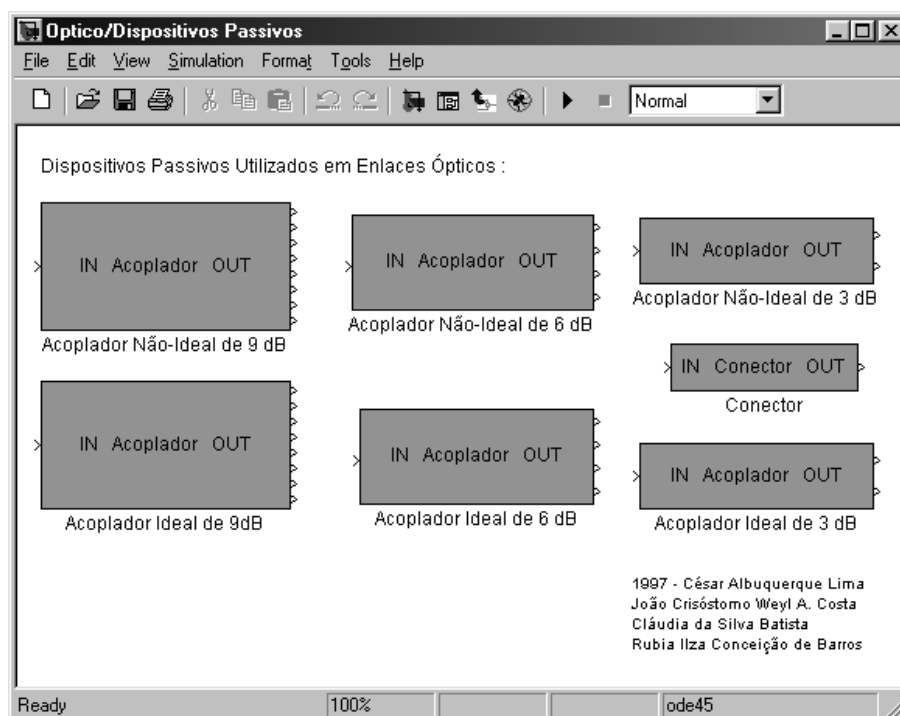
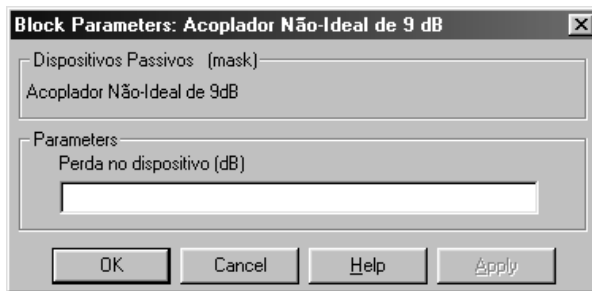


Figura 3.9 Bloco de dispositivos passivos



(a) Acoplador não ideal



(b) Conector

Figura 3.10. Janelas de ajustes dos parâmetros dos dispositivos passivos

O quinto bloco denominado de modulação digital foi adicionado nesse trabalho para que realizássemos testes de sistema de comunicação óptica, utilizando esses tipos de moduladores.

Este bloco contém os moduladores e os demoduladores digitais (ASK, PSK, FSK) como pode ser observado na figura 3.11.

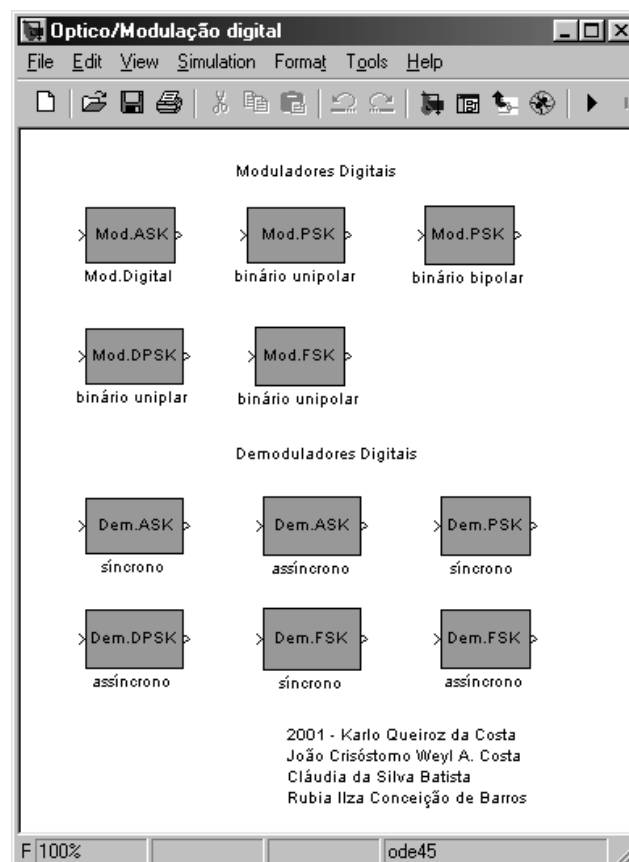


Figura 3.11. Blocos de moduladores e demoduladores

3.2. Exemplos de aplicação utilizando os blocos modificados

Nessa seção serão apresentados exemplos de aplicações utilizando os blocos modificados. Com esses blocos foi possível montar os esquemas mostrados nas figuras 3.12 e 3.14.

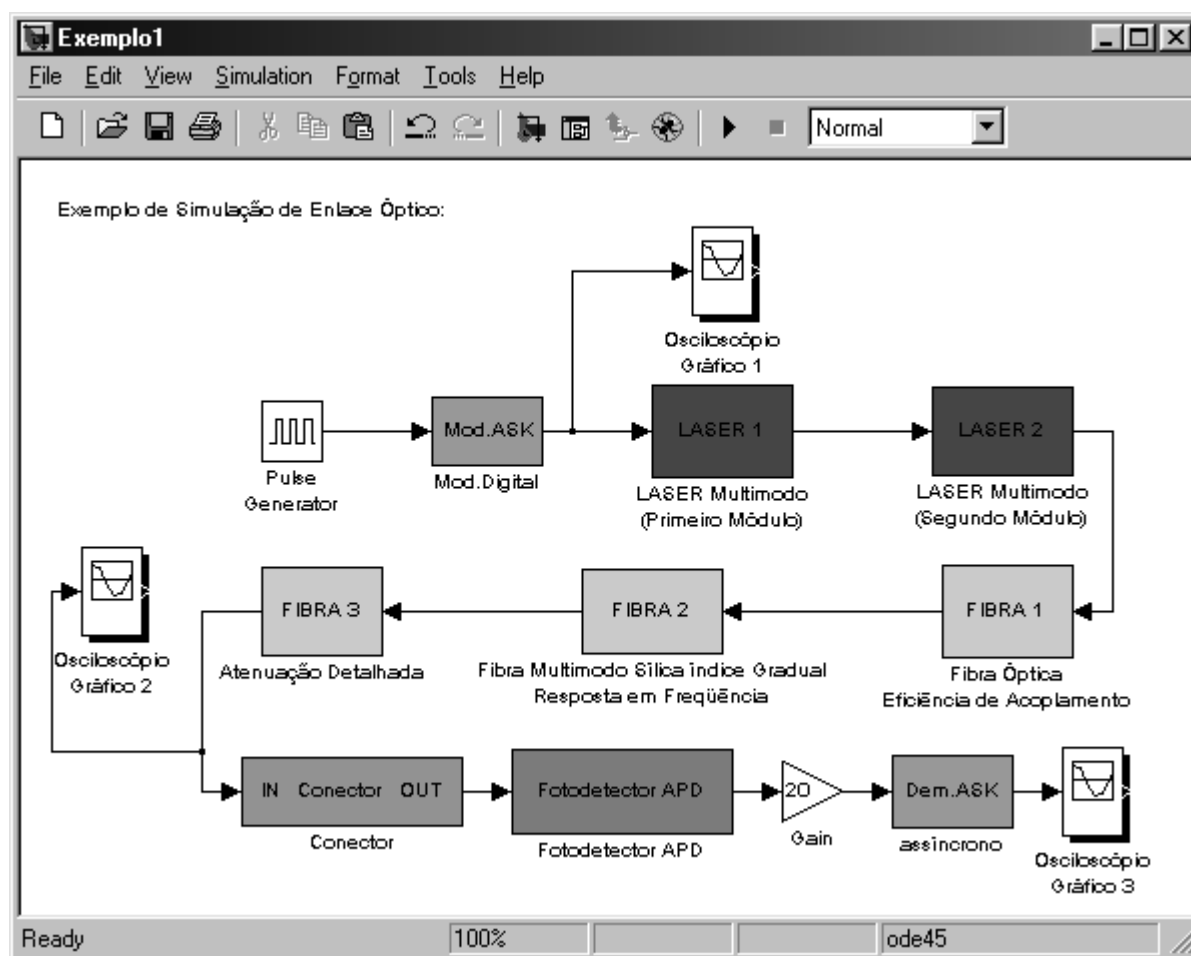


Figura 3.12. Estrutura de simulação de um enlace utilizando modulação ASK.

Os valores utilizados para os parâmetros dos blocos presentes no esquema da figura 3.12 estão mostrados na tabela 3.1.

Tabela 3.1. Parâmetros utilizados na simulação de um enlace utilizando modulação ASK

Parâmetros	Valores adotados
Modulador ASK	
Amplitude da portadora	1
Duração do bit	1 Tb em Segundo
Número de ciclos por bits (n)	6
Componente DC	0
Laser multimodo – Primeiro Módulo	
Comprimento de onda de emissão	1550 nm
Tempo de recombinação não radioativa	4 ns
Tempo de recombinação radioativa	0.2 ns
Dimensão longitudinal do Laser	$3 \cdot 10^{-4}$ m
Coeficiente de perdas	$35 \cdot 10^{-4}$ m ⁻¹
Reflectância dos espelhos	0.32
Laser multimodo – Segundo Módulo	
Corrente Injetada	2 mA
Corrente de Limiar	0.5 mA
Tempo de recombinação dos portadores	0.02 ns
Tempo de vida dos fótons	0.001 ns
Fibra óptica – Eficiência de acoplamento	
Índice de refração do núcleo	1.48
Índice de refração da casca	1.44
Fator geométrico da fonte	0.94
Fibra Multimodo Sílica índice gradual – Resposta em frequência	
Comprimento da fibra	2 km
Largura espectral da fonte	5 nm
Abertura numérica	0.342
Índice de refração do núcleo	1.48
Fator de concatenação	0.8
Fator de dispersão	1
Fibra óptica – Atenuação detalhada	
Perda por espalhamento Rayleigh	0.12 dB/km
Perda devido a absorção	0.15 dB/km
Perda devido ao guia de onda	0.1 dB/km
Comprimento total da fibra	2 km
Perda em cada emenda	0.8 dB
Número total de emenda	1
Conectores	
Perda na conexão	0.4 dB
Fotodetector APD	
Eficiência quântica do diodo	0.7
Resistência de polarização	300kΩ
Capacitância do diodo	1pF
Ganho de avalanche	6
Comprimento de onda de operação	1550 nm
Demodulador ASK (assíncrono)	
Duração do bit	1 Tb em segundo

Os resultados simulado estão mostrados na figura 3.13, onde

- O sinal do osciloscópio gráfico 1 é representado pela linha azul.
- O sinal do osciloscópio gráfico 2 é representado pela linha vermelho.
- O sinal do osciloscópio gráfico 3 é representado pela linha preta.

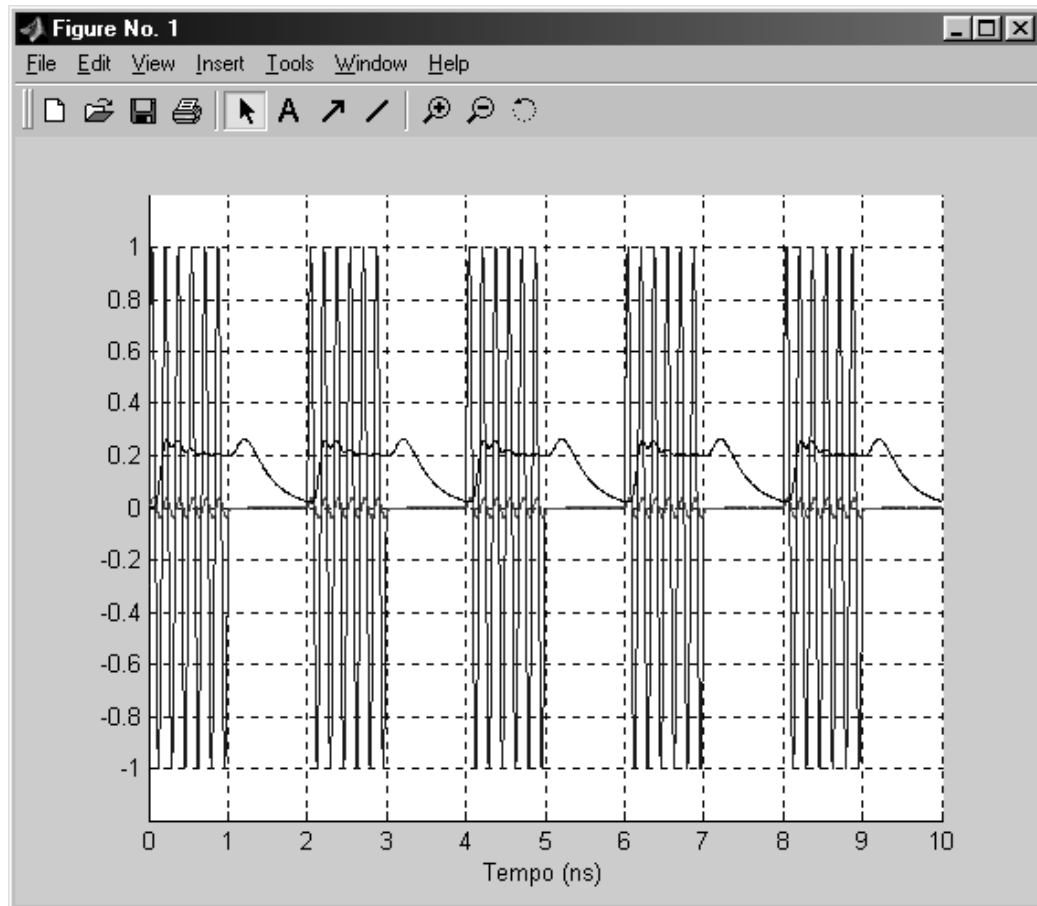


Figura 3.13. Resposta temporal do enlace utilizando modulador ASK

O exemplo 2 representa uma simulação de um enlace óptico e é mostrado na figura 3.14.

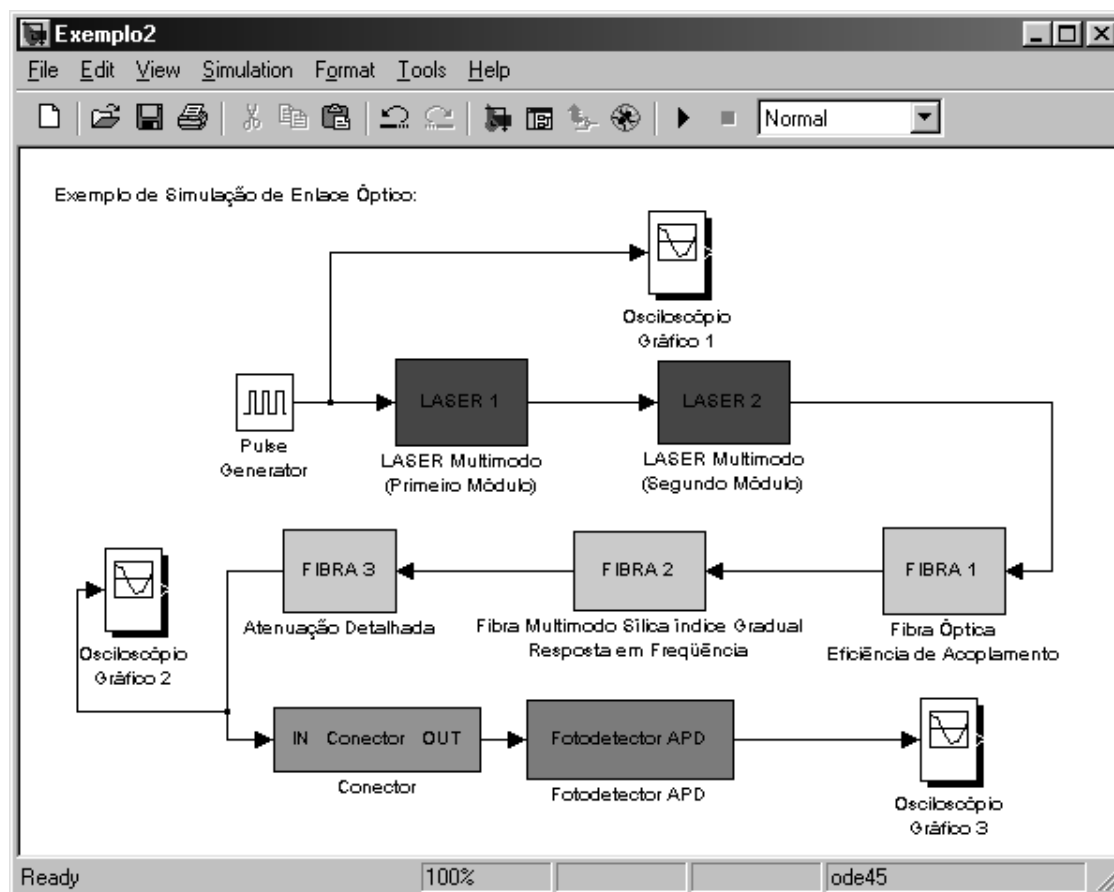


Figura 3.14 Estrutura de simulação de um enlace óptico

Os valores utilizados para os parâmetros dos blocos presentes no esquema da figura 3.14 estão mostrados na tabela 3.2.

Tabela 3.2. Parâmetros utilizados na simulação de um enlace óptico.

Parâmetros	Valores adotados
Laser multimodo – Primeiro Módulo	
Comprimento de onda de emissão	1550 nm
Tempo de recombinação não radioativa	4 ns
Tempo de recombinação radioativa	0.2 ns
Dimensão longitudinal do Laser	$3 \cdot 10^{-4}$ m
Coeficiente de perdas	$35 \cdot 10^{-4}$ m ⁻¹
Reflectância dos espelhos	0.32
Laser multimodo – Segundo Módulo	
Corrente Injetada	2 mA
Corrente de Limiar	0.5 mA
Tempo de recombinação dos portadores	0.02 ns
Tempo de vida dos fótons	0.001 ns
Fibra óptica – Eficiência de acoplamento	
Índice de refração do núcleo	1.48
Índice de refração da casca	1.44
Fator geométrico da fonte	0.94
Fibra Multimodo Sílica índice gradual – Resposta em frequência	
Comprimento da fibra	2 km
Largura espectral da fonte	5 nm
Abertura numérica	0.342
Índice de refração do núcleo	1.48
Fator de concatenação	0.8
Fator de dispersão	1
Fibra óptica – Atenuação detalhada	
Perda por espalhamento Rayleigh	0.12 dB/km
Perda devido a absorção	0.15 dB/km
Perda devido ao guia de onda	0.1 dB/km
Comprimento total da fibra	2 km
Perda em cada emenda	0.8 dB
Número total de emenda	1
Conectores	
Perda na conexão	0.4 dB
Fotodetector APD	
Eficiência quântica do diodo	0.7
Resistência de polarização	300kΩ
Capacitância do diodo	1pF
Ganho de avalanche	6
Comprimento de onda de operação	1550 nm

Os resultados simulado estão mostrados na figura 3.15, onde

- O sinal do osciloscópio gráfico 1 é representado pela linha azul.
- O sinal do osciloscópio gráfico 2 é representado pela linha vermelho.
- O sinal do osciloscópio gráfico 3 é representado pela linha preta.

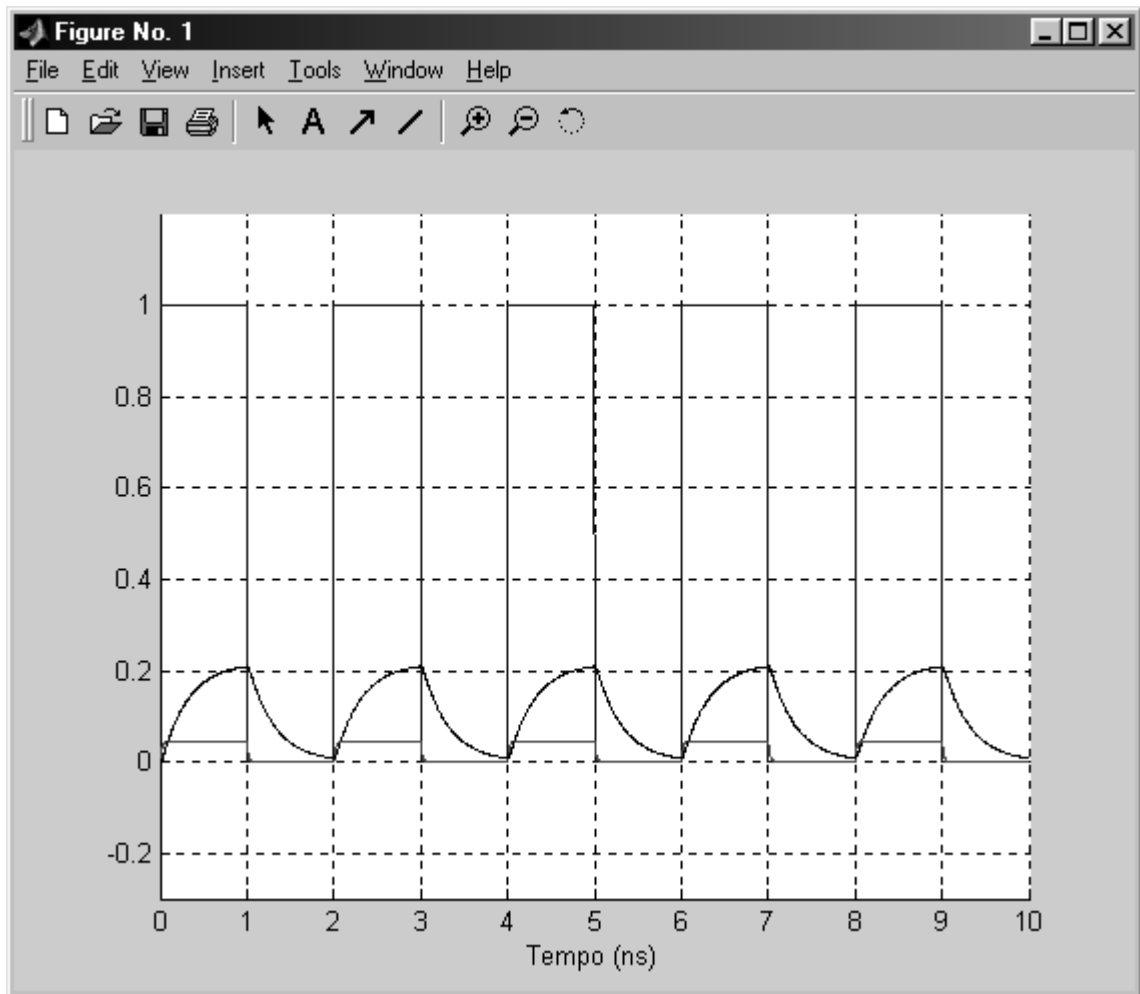


Figura 3.15 Resposta de um enlace óptico

Este trabalho apresentou um material didático com experiências para o laboratório de comunicações ópticas juntamente com o aperfeiçoamento de um software em Matlab para análise de sistemas ópticos, que será usado concomitantemente com a disciplina comunicação óptica.

Foi mostrado uma visão geral dos sistemas de comunicação óptico, onde fez-se um breve estudo dos componentes que formam um sistema de comunicação por fibra óptica, os mecanismos limitantes na transmissão pela fibras, as vantagens e desvantagens de se usar fibra óptica e a evolução das redes ópticas. Esse último tópico foi abordado, devido à necessidade, nos dias atuais de redes de alta velocidade.

As experiências para o laboratório de comunicação óptica foram desenvolvidas no Kit Master Builder Trainer – Model S300B, os conectores que fazem parte desse kit, provocavam perda no sinal recebido, pois não havia uma adequada captação do feixe de luz o que limitou a potência do sinal recebido, entretanto mesmo com essa limitação, o caráter experimental não foi comprometido.

Com relação ao ambiente computacional aperfeiçoado, o aluno poderá montar a topologia do sistema óptico de acordo com a sua conveniência, bastando para isso dispor os blocos de forma adequada, e assim podendo usufruir de todo o poder de simulação e análise proporcionado pelo Matlab .

Devido o laboratório possuir apenas um kit, surge um problema, pois o mesmo será usado por uma turma de no mínimo vinte alunos, dessa forma sugestão para esse problema, seria a produção de outros kits pelos alunos, com material adquirido pela Universidade, pois os mesmos além de ter seu próprio Kit para as experiências do laboratório de comunicação óptica, aprenderia a confeccionar placas de circuitos impressos, dando-lhe uma noção de como construir circuitos.

Referências Bibliográficas

- [1] ALLARD, F.C., *Fiber Optics HandBook for Engineers and Scientists*, Editora McGraw-Hill, New York, 1990.
- [2] KEISER, G., *Optical Fiber Communications*, Editora McGraw-Hill, New York, 1991.
- [3] FARIAS, R.G., "Comunicações Ópticas ", Vol.1, UFPA, 2002.
- [4] TISCHLER, M., *Fibre Optic Communications*, The Science Instruments Co., 1998
- [5] LIMA, C.A., "Desenvolvimento de ferramentas computacionais para projetos, simulação e análise de enlaces de telecomunicação por fibras ópticas", UFPA, CT, DEEC, TCC, 1997.
- [6] COSTA, K.Q., "Desenvolvimento de simulador para sistemas de comunicação utilizando Matlab-Simulink", UFPA, CT, DEEC, TCC, 2000.
- [7] COSTA, S.P., "Estudo de redes ópticas com acesso por divisão de comprimento de onda – WDMA", UFPA, CT, DEEC, TCC, 1998.