



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE ENGENHARIA ELÉTRICA E COMPUTAÇÃO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

Atividades desenvolvidas IC 2021

Alunos: Silas João, Luiz Henrique.

Orientador: Edson Porto da Silva.

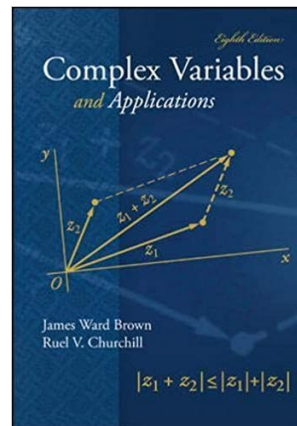
Atividades Realizadas - Números Complexos

Parte 1: Estudo dos conceitos básicos associados ao projeto.

Assuntos revisados:

1. Operações com números complexos
2. Representação cartesiana
3. Representação polar
4. Parte real
5. Parte imaginária

Metodologia: Utilização do livro texto como guia para revisão de números complexos, bem como a resolução de exercícios relacionadas aos assuntos citados, complementando com aulas encontradas na plataforma do YouTube.



Livro de referência.

Livro tomado como referência: Brown Churchill Complex Variables and Application 8th edition.

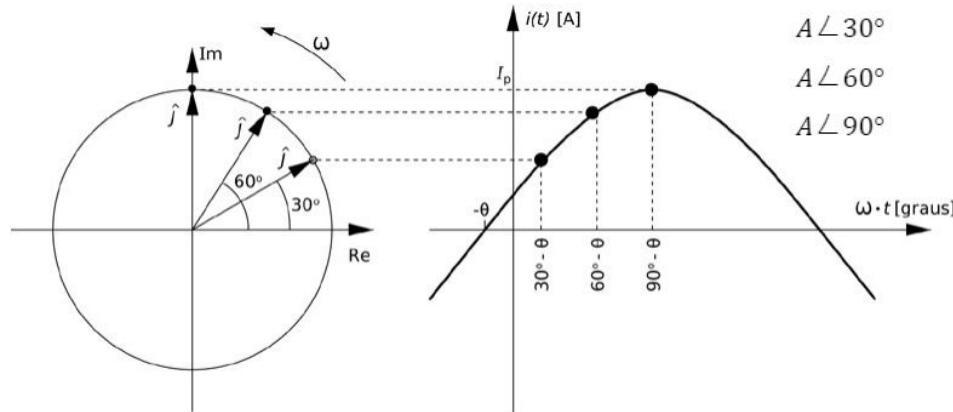
Atividades Realizadas - Fasores

Parte 1: Estudo dos conceitos básicos associados ao projeto.

Assuntos revisados:

1. Fasores: representação de ondas por meio de variáveis complexas.

Definição: Um fasor é um número complexo que representa uma função cosenoidal onde a fase, frequência angular e amplitude são invariantes no tempo.



$$A \angle 30^\circ$$

$$A \angle 60^\circ$$

$$A \angle 90^\circ$$

$$\text{Fasor: } f(t) = A \cos(\omega t + \theta)$$

$$f(t) = \text{Re}\{A \cos(\omega t + \theta) + j A \sin(\omega t + \theta)\}$$

utilizando a Fórmula de Euler, temos: $e^{j\phi} = \cos\phi + j \sin\phi$

$$\text{Logo: } f(t) = \text{Re}\{A e^{j(\omega t + \theta)}\} = \text{Re}\{A e^{j\theta} e^{j\omega t}\}$$

$$\Rightarrow A e^{j\theta} = A \angle \theta$$

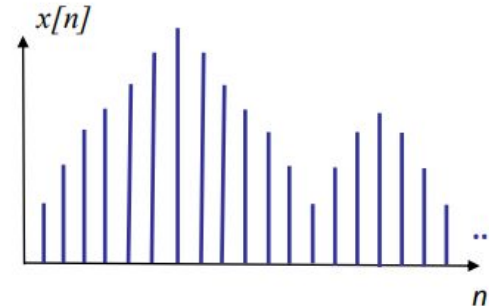
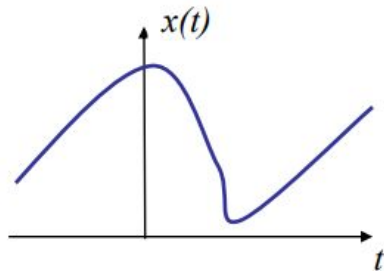
Atividades Realizadas - Sinais e Sistemas

Parte 1: Estudo dos conceitos básicos associados ao projeto.

Um sinal é um conjunto de dados ou informações que são variantes no tempo, podendo ser classificado como:

1. Sinais de tempo contínuo
2. Sinais de tempo discreto

Os sinal de tempo contínuo é um sinal $x(t)$ que está definido para todo instante t podendo assumir qualquer valor real. Já para sinais discretos no tempo podem ser definidos como uma função $x(t)$ definidas apenas para uma determinado conjunto de valores, geralmente sinais de tempo contínuo são amplamente utilizados em sinais analógicos, já para sinais digitais e comumente adotado sinais de tempo discreto.



Atividades Realizadas - Sinais e Sistemas

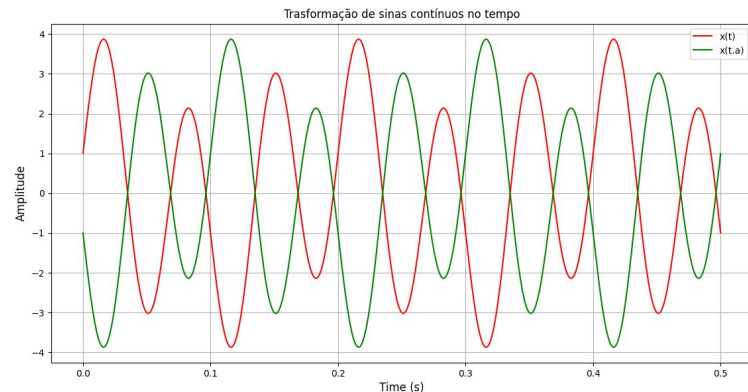
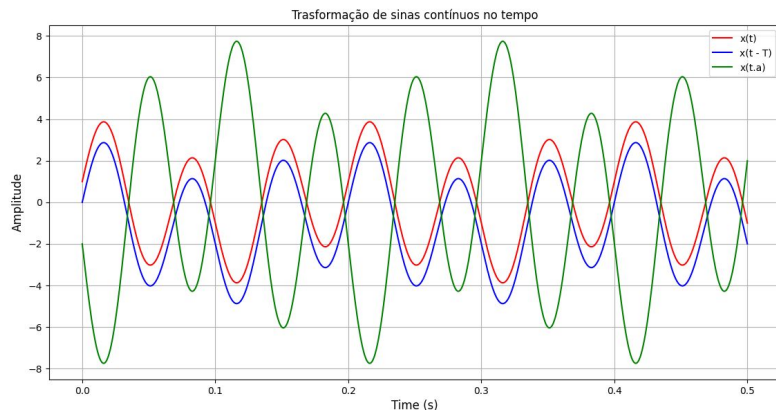
Parte 1: Estudo dos conceitos básicos associados ao projeto.

Outros temas também abordados no tratamento de sinais está ao que se refere a transformação de sinais tais como:

- Transformações de translação temporal.
- Inversão de tempo e mudança de escala de tempo.

Tais transformações podem ser utilizadas para a construção de sinais com estruturas mais complexas que os sinais obtidos por padrão, onde a transformação no sinal $x(t)$ pode ser dado realizando uma mudança no argumento da função, podendo assim realizar deslocamentos no tempo, mudanças na escala do sinal e dentre outros tratamentos.

- O deslocamento temporal é uma aplicação bastante importante e muito utilizada no processamento de sinais.

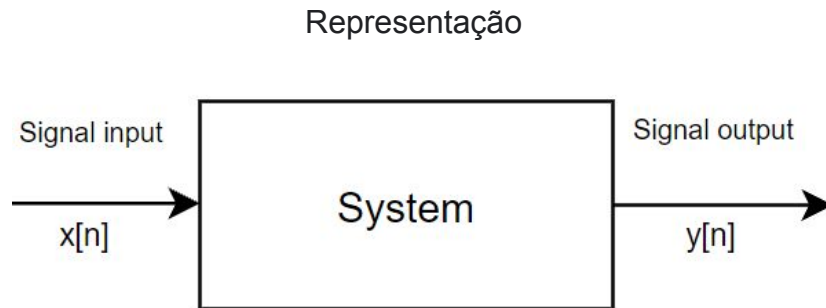


Atividades Realizadas - Sinais e Sistemas

Parte 1: Estudo dos conceitos básicos associados ao projeto.

Conceitos de sistemas - Representação e propriedades.

- Um sistema pode ser considerado um dispositivo que tem a capacidade de processar um ou mais sinais de entrada e fornecer um ou mais sinais de saída, sendo eles chamados de resposta ao impulso.



Atividades Realizadas - Sinais e Sistemas

Parte 1: Estudo dos conceitos básicos associados ao projeto.

Conceitos de sistemas - Representação e propriedades.

- Algumas propriedades para os sistemas são:
 1. Sistemas com memória : Quando a saída depende do histórico do sinal de entrada.
 2. Sistemas sem memória : Quando a saída ainda permanece com as mesmas características do sinal de entrada.
 3. Sistema causal : Quando a entrada causa a saída (a saída não pode acontecer antes do impulso).
 4. Sistema não causal : A resposta pode acontecer antes da chegada do impulso.

Atividades Realizadas - Sinais e Sistemas

Parte 1: Estudo dos conceitos básicos associados ao projeto.

Conceitos de sistemas - Representação e propriedades.

- Propriedades de estabilidade dos sistemas:
 1. Sistema assintoticamente estável: Quando a resposta do sistema converge para zero.
 2. Sistema instável: Quando a resposta ao impulso divergir.
 3. Sistema marginalmente estável: Quando a saída não diverge e não volta ao zero permanecendo constante.

Sistemas invariantes e variantes no tempo.

- Quando a saída produz o mesmo resultado em um instante t_0 em que foi coletado o impulso, dizemos que o sistema é invariante no tempo.
- Quando a saída muda para um instante t_0 dizemos que o sistema é variante no tempo.

Atividades Realizadas - Sinais e Sistemas

Parte 1: Estudo dos conceitos básicos associados ao projeto.

- Convolução

Definição: A convolução nada mais é que uma operação matemática no domínio do tempo que permite obter a saída a partir da operação com a entrada e a resposta de impulso do sistema, sendo aplicado apenas quando o sistema é linear e invariante no tempo. Também se utilizando do princípio da superposição.

$$(1) \quad y[k] = x[k] * h[k] = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x[n] \cdot h[k-n]$$

Para o tempo contínuo a equação se torna:

$$(2) \quad y(t) = \int_{-\infty}^{\infty} h(\tau) x(t-\tau) d\tau$$

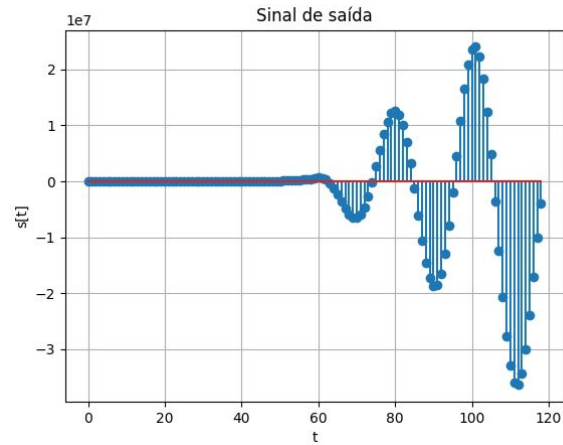
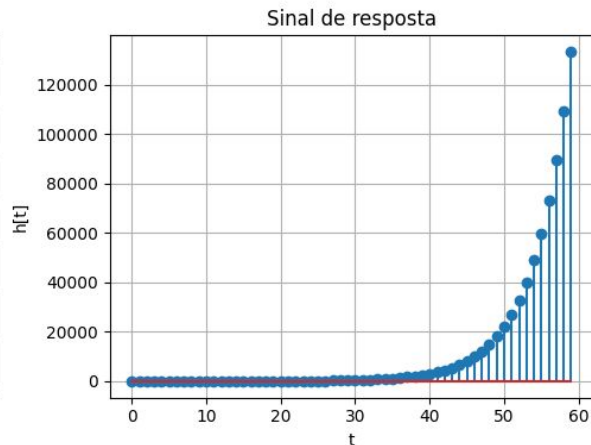
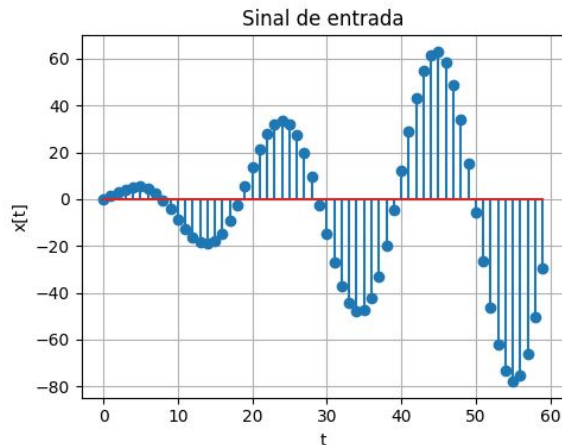
Atividades Realizadas - Sinais e Sistemas

Parte 1: Estudo dos conceitos básicos associados ao projeto.

- Convolução

Implementação de uma aplicação de convolução discreta a um sistema linear e invariante no tempo, dado um sinal de entrada $x[n]$ é um sinal de resposta ao sinal de entrada $h[n]$ determinando a saída desejada do sistema, utilizando a função `np.convolve(a, v, mode = 'full')` que realiza a implementação da equação (1).

$$x[t] * h[t] = s[t]$$

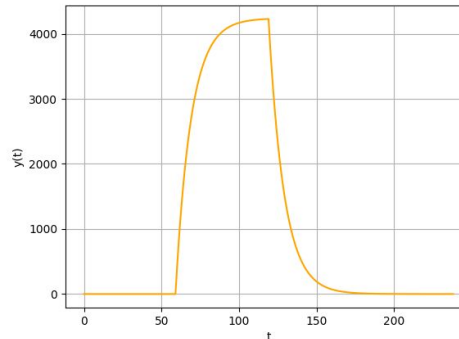
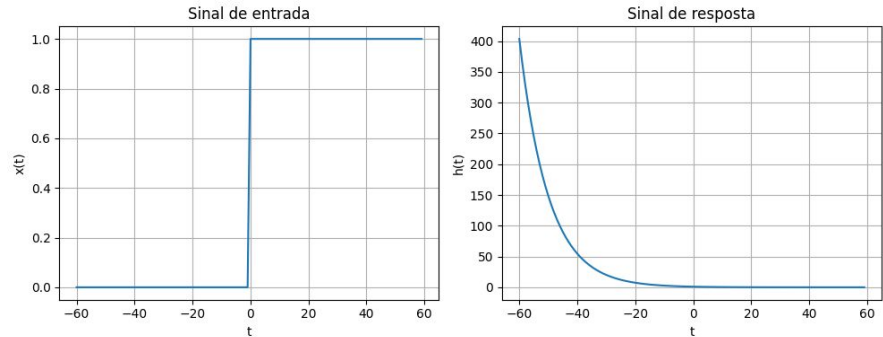
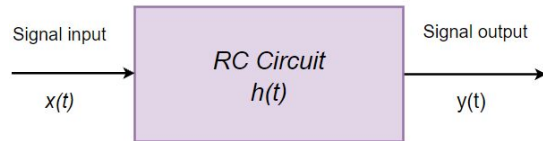


Atividades Realizadas - Sinais e Sistemas

Parte 1: Estudo dos conceitos básicos associados ao projeto.

- Convolução

Aplicação de convolução em um sistema não discreto, dessa vez podendo ser implementado com a função **`scipy.signal.convolve`**(*in1*, *in2*, *method* = 'auto'), possuindo uma vantagem visto que adicionando a função como método 'auto' podemos escolher automaticamente o método direto ou de Fourier com base em uma estimativa que é mais rápida.



Atividades Realizadas - Comunicações Ópticas

Parte 2: Estudo dos conceitos avançados associados ao projeto.

- Características do laser
- Geração e Transmissão de sinais ópticos
- Receptores e detecção de sinais ópticos.

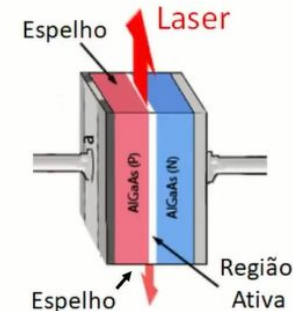
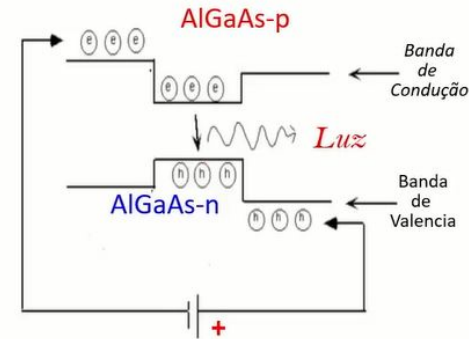
Atividades Realizadas - Comunicações Ópticas

Parte 2: Estudo dos conceitos avançados associados ao projeto.

- Características do laser semiconductor

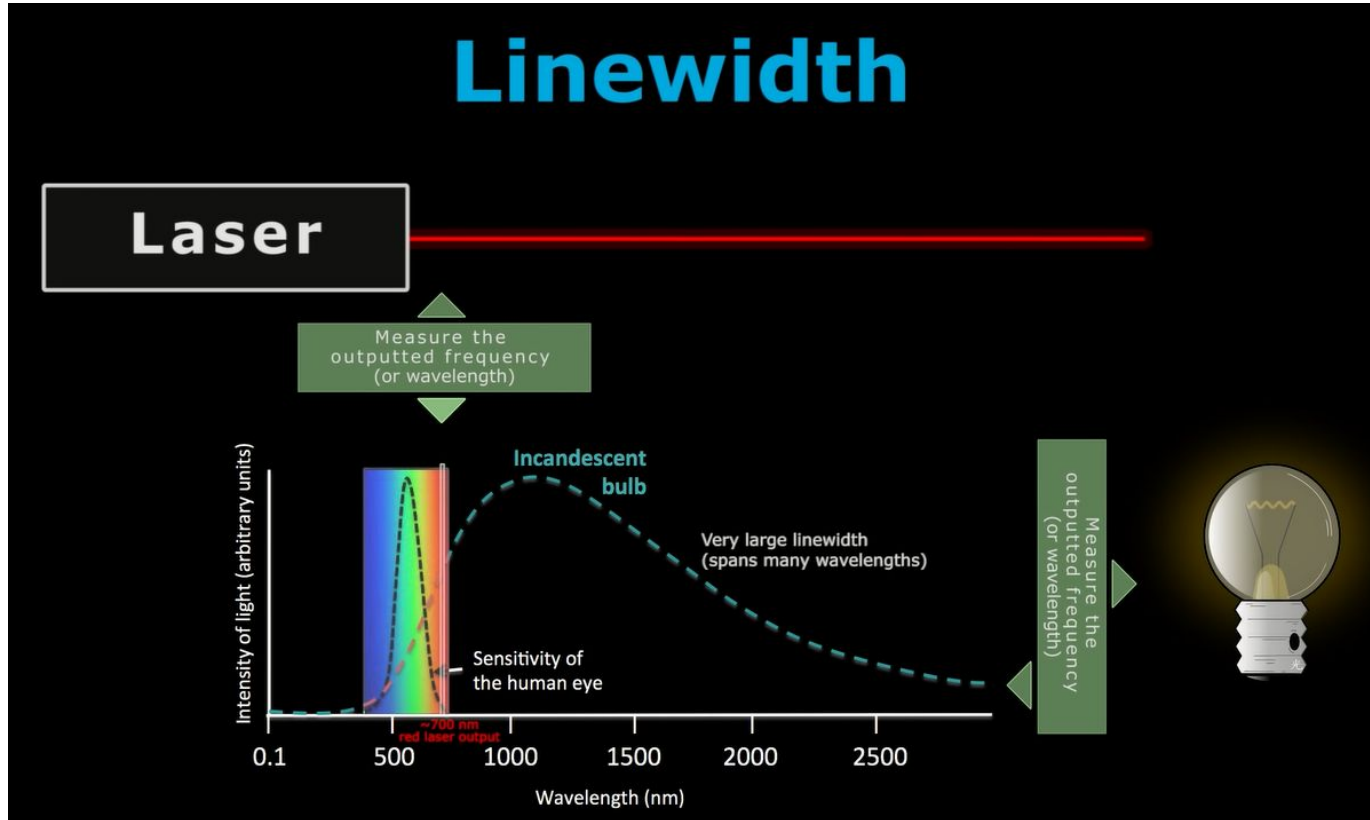
A maioria dos lasers atuais utilizam quatro tipos de materiais: Arsenieto de Gálio, seleneto de zinco, nitreto de gálio e fosfeto de índio. Para operação utilização na transmissão em fibras óticas a longa distâncias utiliza-se lasers baseados no fosfeto de índio, pois operam na faixa de 1.53 a 1.57 μm para banda C, que operam no infravermelho.

Laser de Semi-Condutor



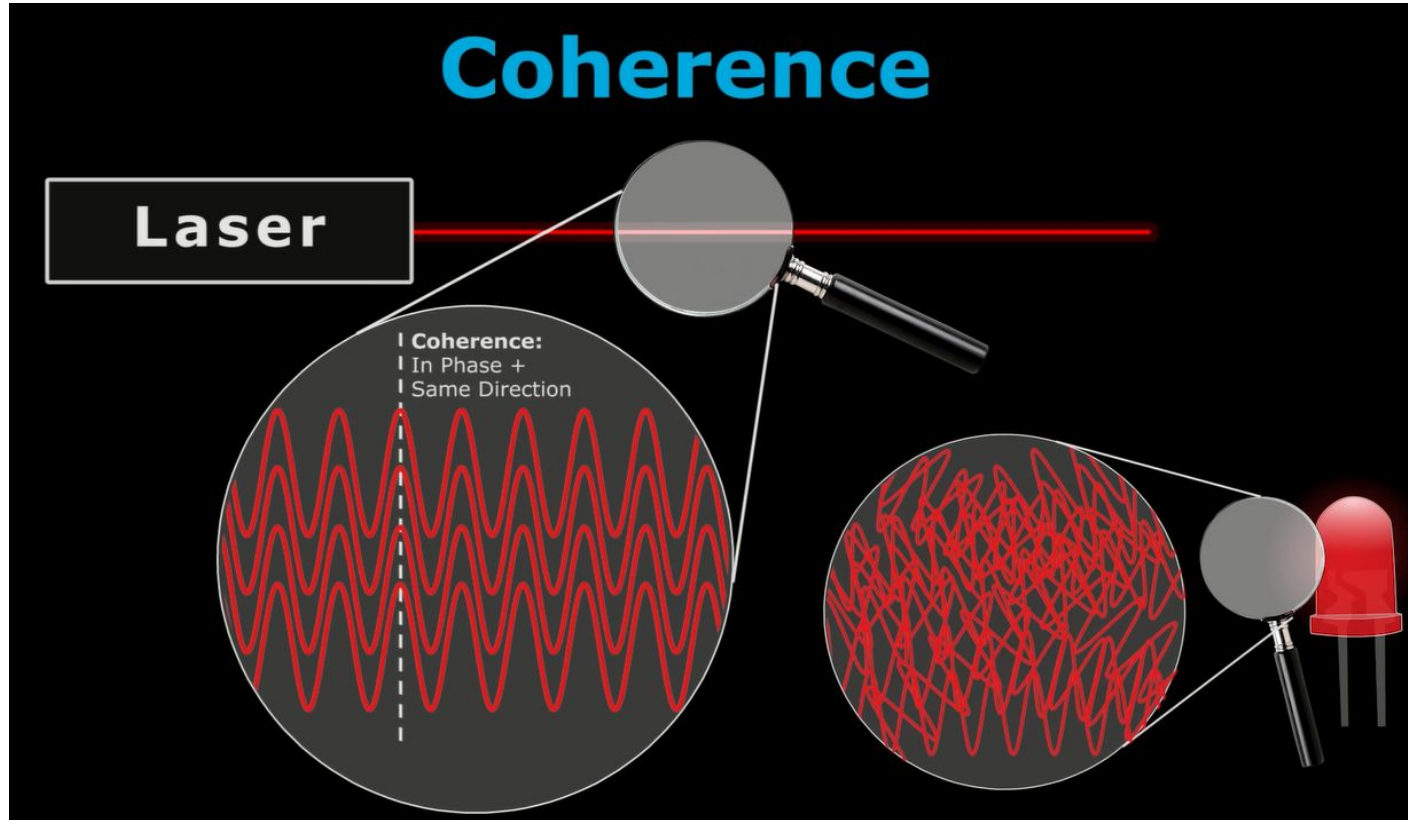
Atividades Realizadas - Comunicações Ópticas

Parte 2: Estudo dos conceitos avançados associados ao projeto.



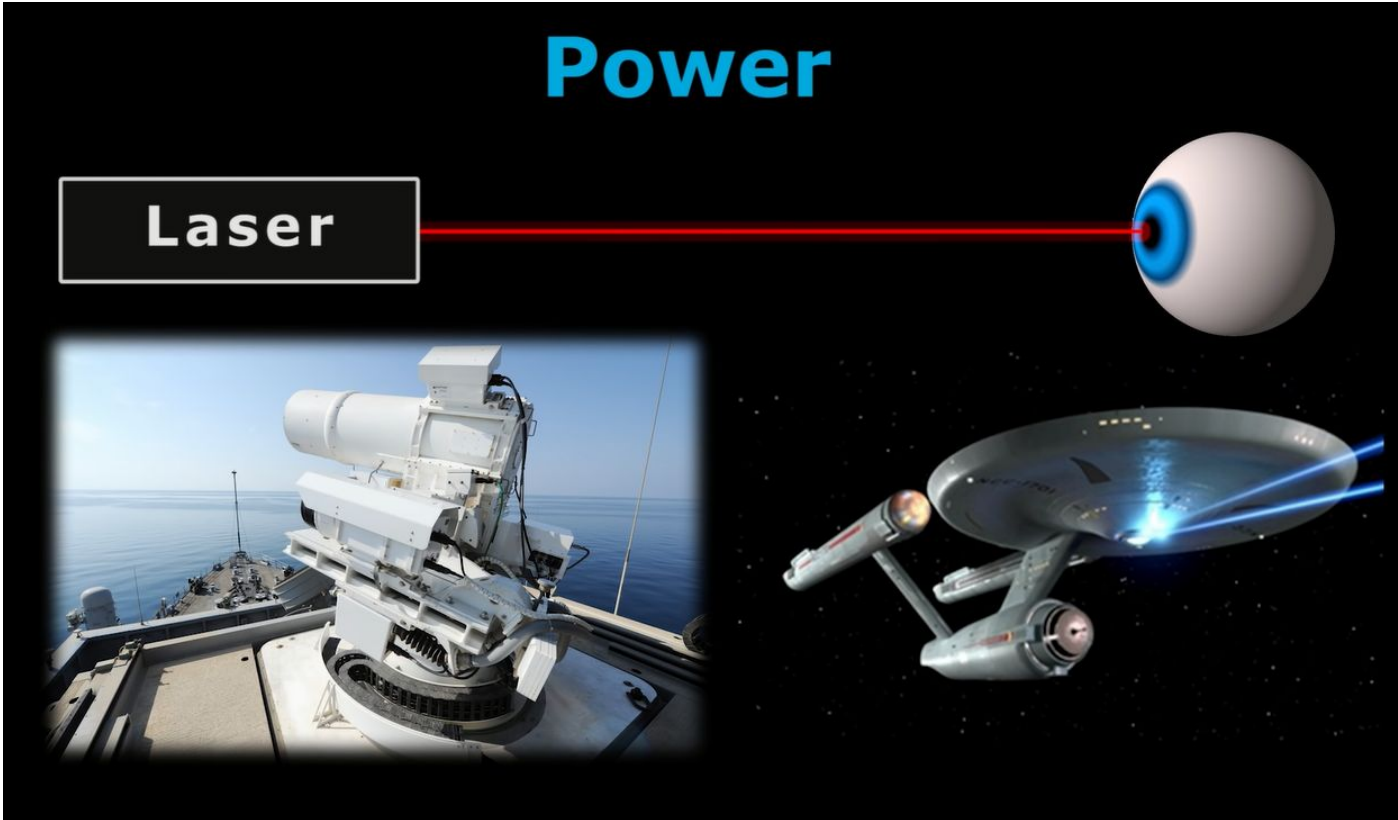
Atividades Realizadas - Comunicações Ópticas

Parte 2: Estudo dos conceitos avançados associados ao projeto.



Atividades Realizadas - Comunicações Ópticas

Parte 2: Estudo dos conceitos avançados associados ao projeto.



Atividades Realizadas - Comunicações Ópticas

Parte 2: Estudo dos conceitos avançados associados ao projeto.

Uma das maiores vantagens dos sistemas de comunicações ópticas é a sua velocidade de transmissão, distribuição do sinal, imune contra interferências magnéticas além de ter uma maior área de cobertura. Uma das primeiras tecnologias desenvolvidas foi o sistema de comunicações lightwave.

Lightwave System



Assumindo um sistema de comunicações ópticas genérico encontramos os seguintes componentes:

1. Transmissor óptico
2. Canal de comunicação
3. Receptor óptico

Atividades Realizadas - Comunicações Ópticas

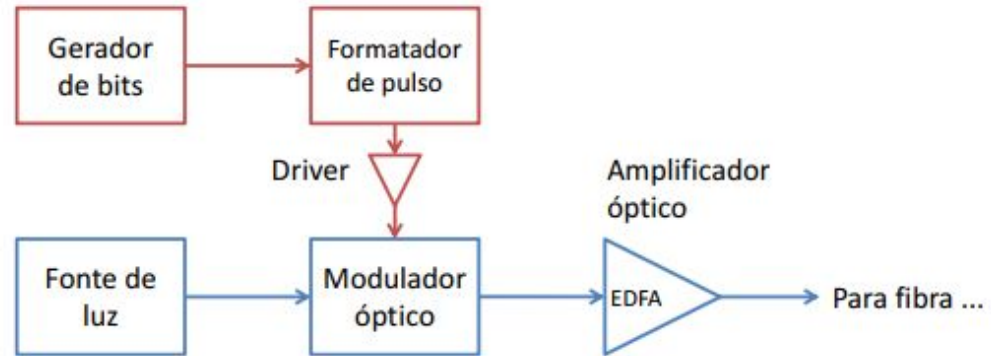
Parte 2: Estudo dos conceitos avançados associados ao projeto.

- Transmissores ópticos

O objetivo dos transmissores ópticos é simplesmente converter um sinal elétrico em uma forma óptica (converter um bit-stream num trem de pulsos elétricos que, por sua vez, será utilizado na modulação de uma portadora óptica laser) além de também lançar o sinal óptico resultante na fibra óptica, atuando em conjunto com um canal de comunicação.

Para que isso seja feito o mesmo deve ser modulado por uma portadora óptica, utiliza-se geralmente lasers semicondutores ou diodos emissores de luz que são comumente usados como fontes ópticas, gerando a portadora óptica.

Componentes do transmissor óptico



Fonte: Aula 02 comunicações ópticas.

Atividades Realizadas - Comunicações Ópticas

Parte 2: Estudo dos conceitos avançados associados ao projeto.

- Transmissores, modulador óptico.

Antes que a fonte de luz possa ser lançada para o canal de comunicação, as informações que precisam ser transmitidas devem ser impostas a um modulador. O modulador usa os dados na forma de um sinal elétrico para modular o portador óptico.

Transmissores, configurações de moduladores ópticos externos.

1. Directly-modulated lasers (DML):
 - Modulação direta de lasers, baixo custo e baixas taxas (ruído de fase).
2. Externally-Modulated lasers (EML):
 - Laser e modulador são integrados, baixo custo, Eletroabsorção, Baixa razão de extinção (~10 dB)
 - Alta perda de inserção (~10 dB).
3. Mach-Zehnder Modulators (MZMs):
 - Laser e modulador são componentes separados, Alto custo, Alta razão de extinção (~20 dB),
 - Baixa perda de inserção (~5 dB), princípio da Interferência controlada pela modulação da fase.

Atividades Realizadas - Comunicações Ópticas

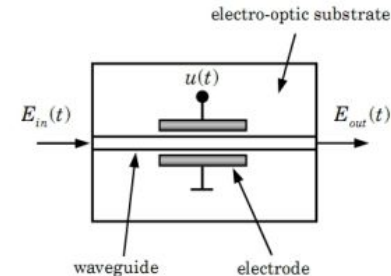
Parte 2: Estudo dos conceitos avançados associados ao projeto.

- Modulador de fase (PM) e implementação Mach-Zehnder Modulators (MZMs).

A modulação de fase se baseia na alteração da fase do sinal de entrada da portadora, os tipos de moduladores de fase usados com frequência são moduladores de cristal líquido.

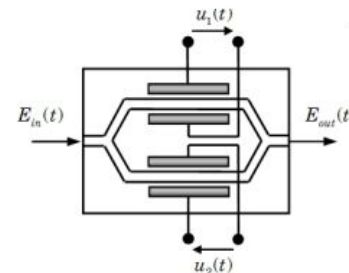
Modos de operação:

- **Push-Push:** $u_1(t) = u_2(t) = u(t)$
Mach-Zehnder implementado como modulador de fase.
- **Push-Pull:** $u_1(t) = -u_2(t) = u(t)/2$
Modulação de amplitude com alteração na fase do sinal óptico podendo ocorrer interferência construtiva ou destrutiva
- Potência de saída varia em relação a tensão aplicada aos eletrodos.



$$\varphi_{PM}(t) = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot \Delta n_{eff}(t) \cdot l_{el} \sim u(t)$$

$$E_{out}(t) = E_{in}(t) \cdot e^{j\varphi_{PM}(t)} = E_{in}(t) \cdot e^{j\frac{u(t)}{V_\pi}\pi}$$

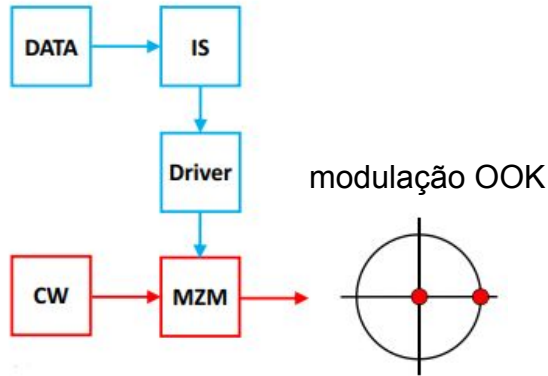


$$E_{out}(t) = \frac{E_{in}(t)}{2} e^{j\varphi_1(t)} + \frac{E_{in}(t)}{2} e^{j\varphi_2(t)} = E_{in}(t) \cdot \cos\left(\frac{u(t)}{2V_\pi}\pi\right)$$
$$\frac{P_{out}(t)}{P_{in}(t)} = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \cdot \cos\left(\frac{u(t)}{V_\pi}\pi\right)$$

Atividades Realizadas - Comunicações Ópticas

Parte 2: Estudo dos conceitos avançados associados ao projeto.

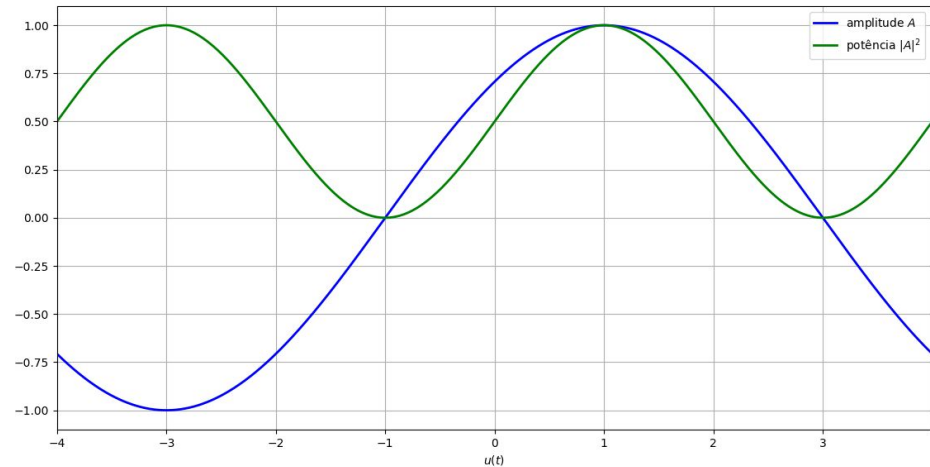
- Implementação Mach-Zehnder Modulators (MZMs).



Parâmetros para o MZM:

- Tensão V_{pi} ;
- V_b , sinal de polarização;
- Amplitude da portadora;
- saída: Amplitude da portadora modulada.

Simulação do modulador MZM



Transmitindo informação na intensidade (potência) da portadora óptica

Atividades Realizadas - Comunicações Ópticas

Parte 2: Estudo dos conceitos avançados associados ao projeto.

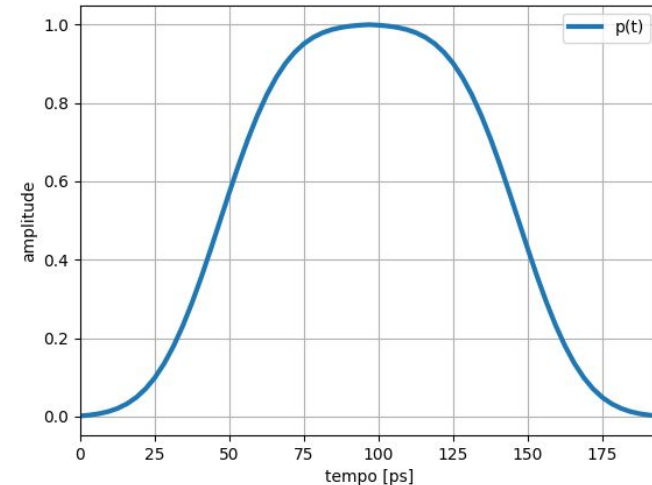
- Geração de um sinal óptico.

- **Intervalo de sinalização (T_s)** onde o transmissor envia periodicamente informações para o receptor.
- **Taxa de transmissão de símbolos ($1/T_s$)**, quantos símbolos da modularização estão sendo enviados em um determinado intervalo de tempo.

Aplicação: Geração de sinais binários OOK a partir de um pulso NRZ típico, modulação e transmissão do sinal.

Modulação OOK, Função que mapeia o bitstream a símbolos (fasores) no plano complexo em que sequências de k bits são mapeadas num conjunto de M símbolos ($M=2^k$).

$$F : \{0, 1\}^k \rightarrow \{A_m, \theta_m\}_{m=1}^M$$
$$\{0, 1\} \rightarrow \{(0, 0), (A, 0)\}$$



Parâmetros importantes na simulação do transmissor:

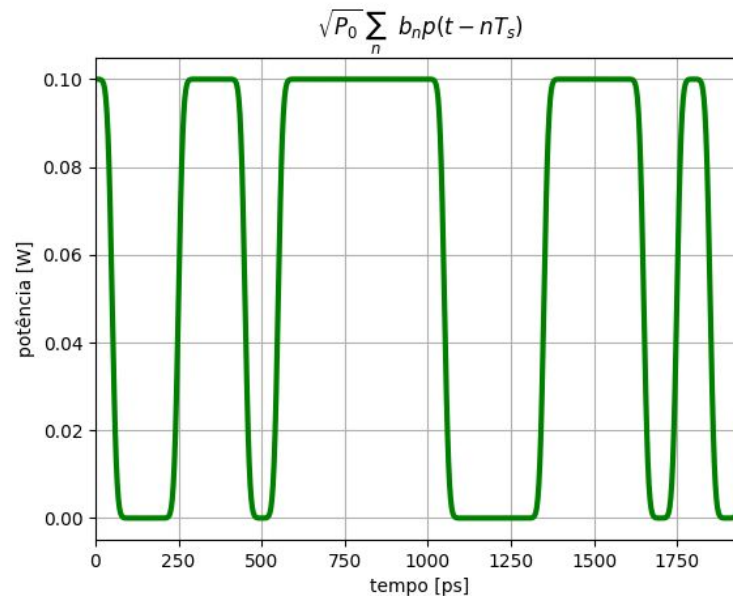
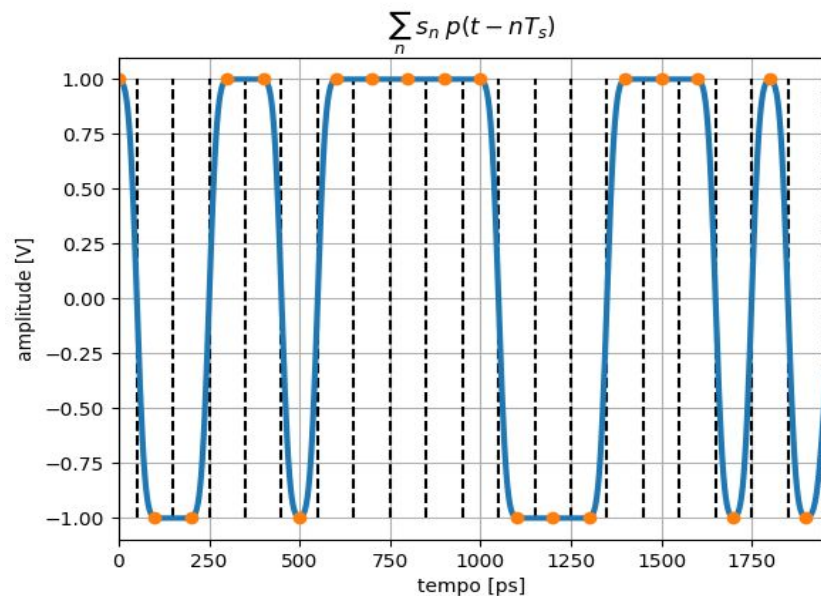
- Taxa de símbolos
- Período de símbolo
- Frequência de amostragem do sinal
- Período de amostragem

Atividades Realizadas - Comunicações Ópticas

Parte 2: Estudo dos conceitos avançados associados ao projeto.

Geração de um sinal óptico.

Sinal elétrico passa por um filtro digital (Filtro FIR) que realiza a formatação de pulso retangular, onde o mesmo é introduzido ao modulador MZM gerando um sinal adequado para ser transmitido para fibra óptica.



Atividades Realizadas - Comunicações Ópticas

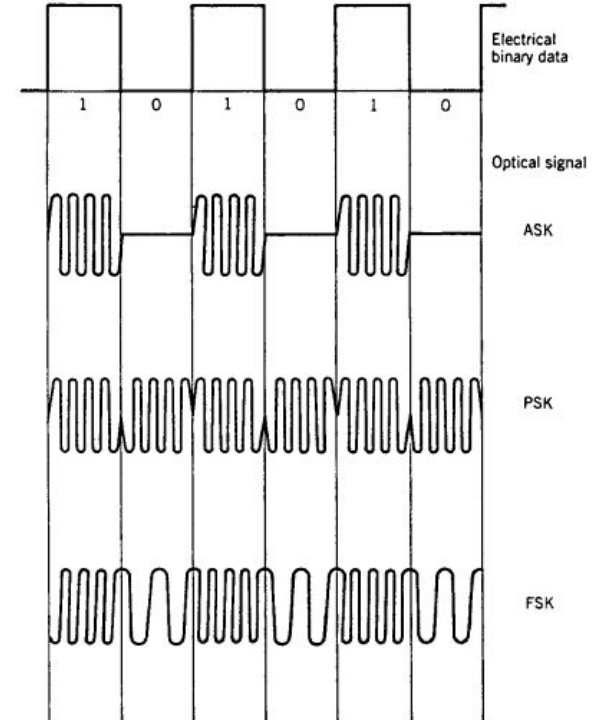
Parte 2: Estudo dos conceitos avançados associados ao projeto.

- Geração de sinais ópticos

A primeira etapa em qualquer sistema de ondas de luz é gerar um fluxo de bits digital no transmissor óptico na forma de um trem pulsos de modo que contenha todas as informações disponíveis nos respectivos sinal. Acontece que a conversão de um fluxo de bits de domínio elétrico para óptico pode ser executado em vários formatos diferentes. A escolha de um módulo apropriado de formatação depende de um grande número de fatores e pode ser crítico para projetar e operar o sistema com sucesso. O objetivo apresentar alguns formatos de modulação e discutir como eles podem ser usados na prática.

$$\mathbf{E}(t) = A \cos(\omega_c t + \varphi) \mathbf{e} = \text{Re}\{A e^{i\varphi} \exp(-i\omega_c t)\}$$

Representação Fasorial



Atividades Realizadas - Comunicações Ópticas

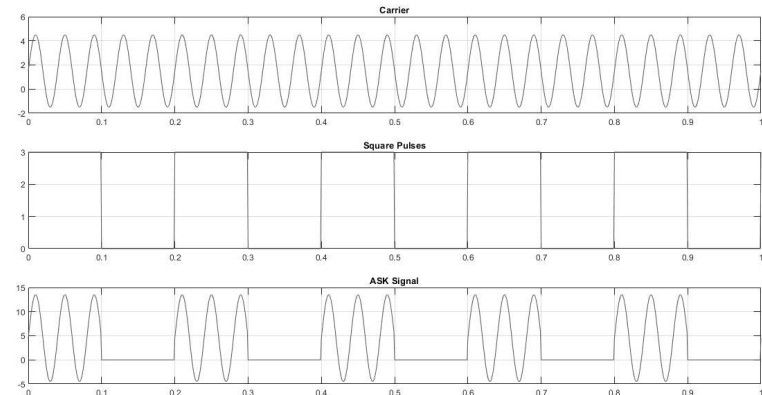
Parte 2: Estudo dos conceitos avançados associados ao projeto.

- Modulação em amplitude por chaveamento - ASK

ASK (Amplitude Shift-Keying), é a técnica de modulação mais simples entre as utilizadas para modular sinais discretos (digitais). Consiste na alteração da amplitude da onda portadora em função do sinal digital a ser transmitido. A modulação em amplitude translada o espectro de frequência baixa do sinal binário, para uma frequência alta como é a da onda portadora. O preço desta simplicidade é a excessiva largura de faixa da transmissão. A técnica de modulação ASK também representa perda de potência relativa a onda portadora.

$$E(t) = \text{Re}[A_0(t)e^{i\phi_0} \exp(-i\omega_0 t)]$$

$$A_0(t) = \sqrt{P_0} \sum_n b_n f_p(t - nT_b)$$



Atividades Realizadas - Comunicações Ópticas

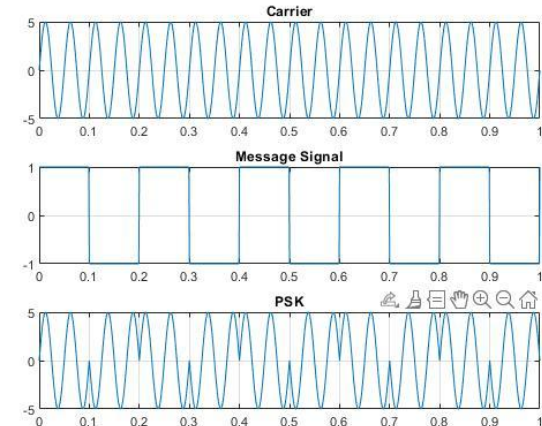
Parte 2: Estudo dos conceitos avançados associados ao projeto.

- Modulação por deslocamento de fase - PSK

A técnica de modulação conhecida por PSK (Phase Shift- Keying), é o processo pelo qual se altera a fase da onda portadora em função do sinal digital a ser transmitido. Para este processo são usados pulsos bipolares de altura $A/2$ e $-A/2$ no sinal senoidal da onda portadora em lugar de dois pulsos de altura 0 e A. Para este tipo de modulação deve se usar a detecção síncrona , já que esta tem como base o conhecimento preciso a respeito da fase da onda portadora recebida, bem como da sua frequência. Esta técnica de modulação devido ao fato mencionado, envolve circuitos de recepção (demodulação) mais sofisticados; em compensação oferece melhor desempenho que as técnicas ASK e FSK

$$E(t) = \text{Re}\{A_0 \exp[i\phi_0(t) - i\omega_0 t]\}$$

$$\phi_0(t) = \sum_n b_n \pi f_p (t - nT_b).$$



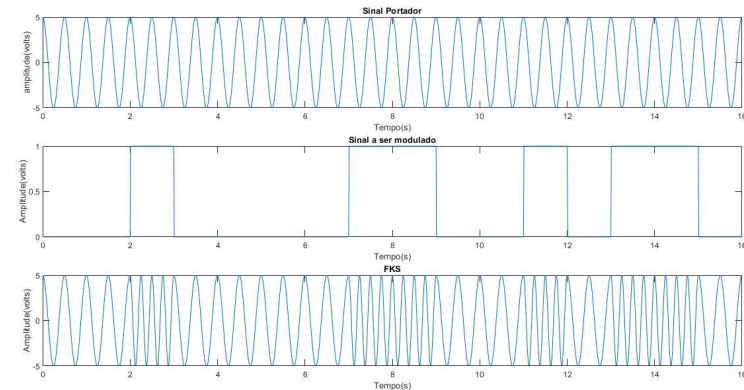
Atividades Realizadas - Comunicações Ópticas

Parte 2: Estudo dos conceitos avançados associados ao projeto.

- Modulação por chaveamento de frequência - FSK

O processo de modulação FSK (Frequency shift-keying), consiste em variar a frequência da onda portadora em função do sinal modulante, no presente caso, o sinal digital a ser transmitido. Este tipo de modulação pode ser considerado equivalente a modulação em FM para sinais analógicos. A amplitude da onda portadora modulada é mantida constante durante todo o processo da modulação; quando ocorrer a presença de um nível lógico "1" no sinal digital, a frequência da portadora é modificada para poder ser depois compreendida no processo de demodulação. A frequência resultante transmitida será a frequência da onda portadora f_p diminuída de uma frequência de desvio f_d . Matematicamente a onda resultante modulada será:

$$E(t) = \text{Re}\{A_0 \exp[i\phi_0 - i(\omega_0 \pm \Delta\omega)t]\}$$



Atividades Realizadas - Comunicações Ópticas

Parte 2: Estudo dos conceitos avançados associados ao projeto.

- Diagrama de Constelação

Um Diagrama de Constelação pode ajudar a definir a amplitude e a fase de um elemento de sinal, particularmente quando estivermos usando duas portadoras(uma em fase e a outra em quadratura).

Neste tipo de diagrama um tipo de elemento de sinal e representado como um ponto.

O bit(ou a combinação de bits) que ele é capaz de transportar normalmente é escrito próximo ao ponto.

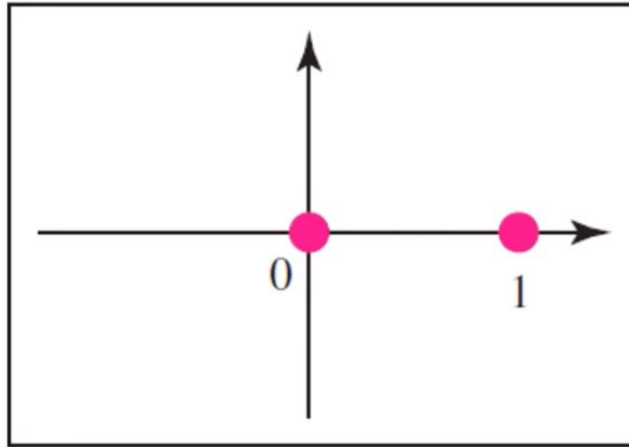
o Diagrama terá dois eixos: o eixo horizontal (X) —→ portadora em fase; o eixo vertical (Y) —→ portadora em quadratura.

Para cada ponto no diagrama, podemos deduzir quatro tipos de informação relacionadas com a amplitude e a fase.

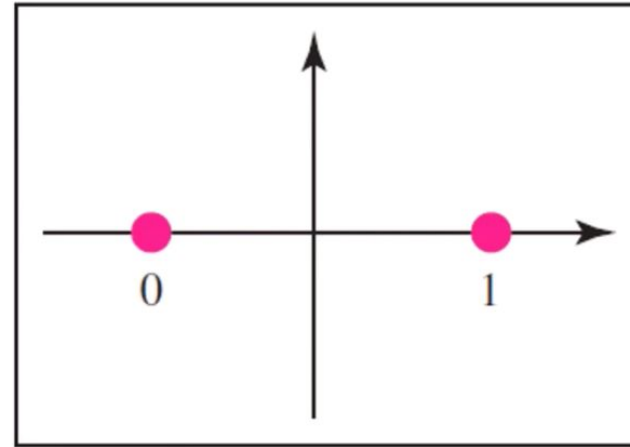
Todas as Informações de que precisamos podem ser facilmente encontradas em um diagrama de fases.

Atividades Realizadas - Comunicações Ópticas

Parte 2: Estudo dos conceitos avançados associados ao projeto.



ASK (OOK)



BPSK

Atividades Realizadas - Comunicações Ópticas

Parte 2: Estudo dos conceitos avançados associados ao projeto.

- Modulação QPSK

QPSK → **Modulação Por Chaveamento de Fase em Quadratura** (Quadrature Phase Shift-Keying)

A simplicidade do BPSK levou os projetistas a usarem 2 bits por vez para cada elemento de sinal, diminuindo, portanto, a taxa de transmissão e, eventualmente, a largura de banda necessária.

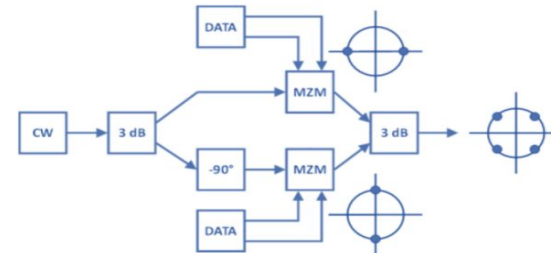
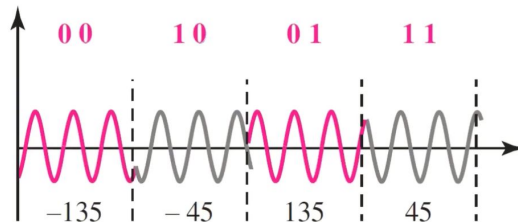
O método é denominado PSK por quadratura ou QPSK, pois utiliza duas modulações BPSK separadas:

1ª - em fase

2ª - fora de fase ou em quadratura

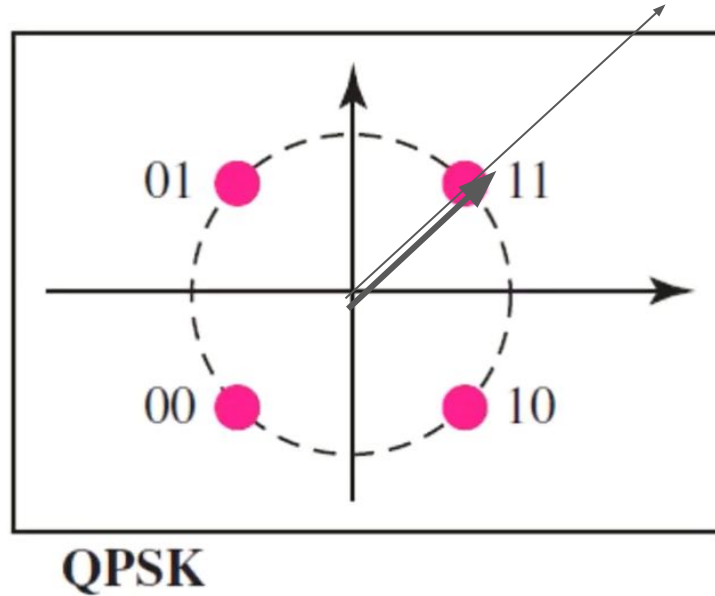
Logo existirão quatro tipos de elementos de sinal no sinal de saída e, portanto, podemos enviar 2 bits por elemento de sinal. Como resultado disto o sinal de saída terá uma das quatro possíveis fases:

- 45°
- -45° ou 315°
- 135°
- -135° ou 225°



Atividades Realizadas - Comunicações Ópticas

Parte 2: Estudo dos conceitos avançados associados ao projeto.

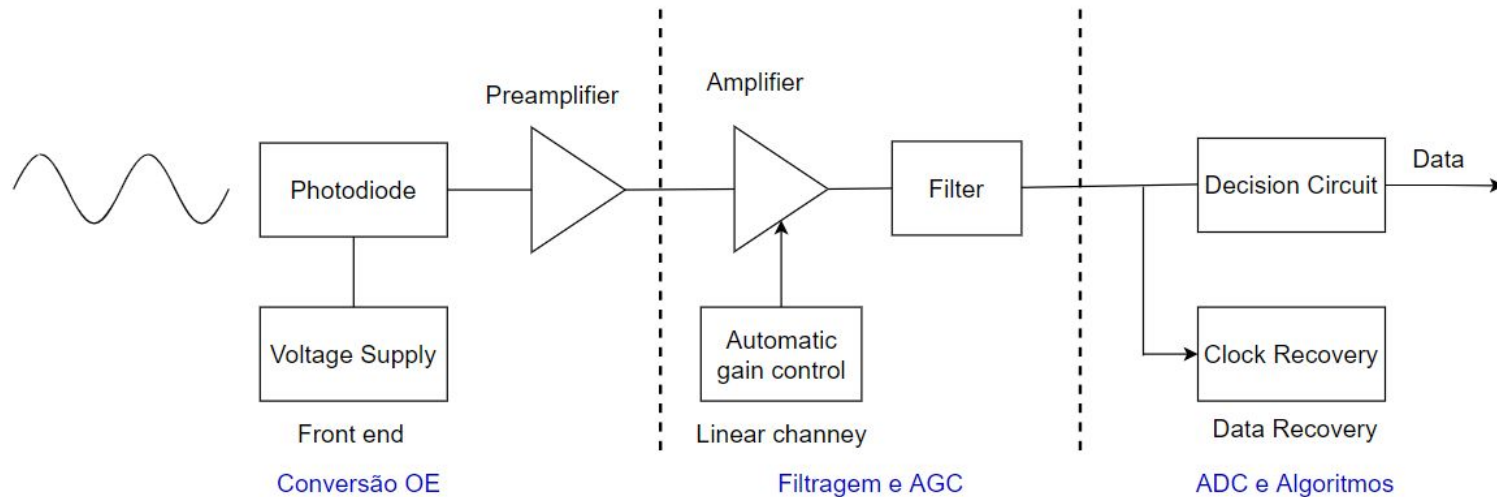


Atividades Realizadas - Comunicações Ópticas

Parte 2: Estudo dos conceitos avançados associados ao projeto.

- **Detecção de sinais ópticos e ruído, receptor óptico**

Basic structure of an optical receiver



Atividades Realizadas - Comunicações Ópticas

Parte 2: Estudo dos conceitos avançados associados ao projeto.

- **Deteção de sinais ópticos e ruído, Photodetector**

Requisitos para um fotodetector

- **Alta sensibilidade:** e necessário para a deteção de sinais ópticos de baixa potência;
- **Resposta rápida:** banda de resposta para o receptor deve ser aproximadamente igual ao transmissor;
- **Baixo ruído:** durante a transmissão o sinal se degrada por conta do ruído;
- **Baixo custo;**
- **Uso de semicondutores.**

Um dos mais utilizados nesse tipo de aplicação são os fotodiodos pin, sendo bastante úteis como fotodetectores.

Atividades Realizadas - Comunicações Ópticas

Parte 2: Estudo dos conceitos avançados associados ao projeto.

- Detecção de sinais ópticos e ruído, fonte de ruído

Em comunicações ópticas devemos caracterizar todas as fontes de ruído presentes na comunicação, se tratando de receptores duas fontes de ruído são bastante importantes:

- Ruído de disparo gerado no processo de fotodetecção.

$I(t) = I_p(t) + i_s(t)$ onde o termo $i_s(t)$ representa um processo aleatório conhecido como ruído de disparo.

De modo geral o ruído será dado por : $\sigma_s^2 = 2q(\bar{I}_p + I_d)B$. (Potência do ruído de disparo)

Atividades Realizadas - Comunicações Ópticas

Parte 2: Estudo dos conceitos avançados associados ao projeto.

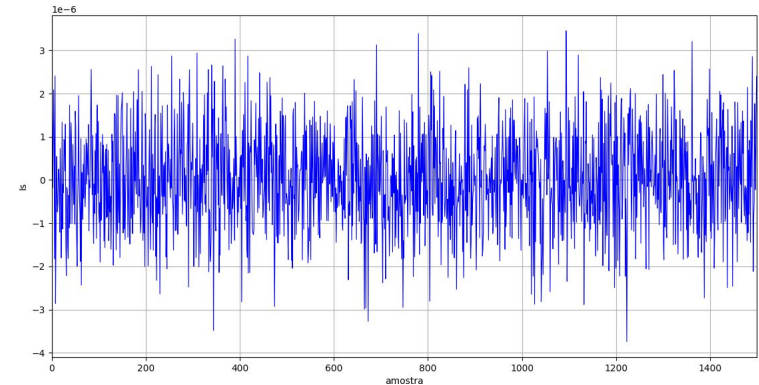
- Detecção de sinais ópticos e ruído, fonte de ruído

Para a visualização definimos os parâmetros para simulação do ruído que será recebido na recepção.

- Potência óptica média;
- Responsividade;
- Corrente de escuro : (*dark current*) gerada pelo fotodiodo;
- Banda do receptor em Hz;
- Número de amostras do ruído.

Após definidos os parâmetros deve-se calcular a variância média, onde a forma de onda resultante será também adicionado ao nosso sinal durante a recepção

Ruído de disparo



Atividades Realizadas - Comunicações Ópticas

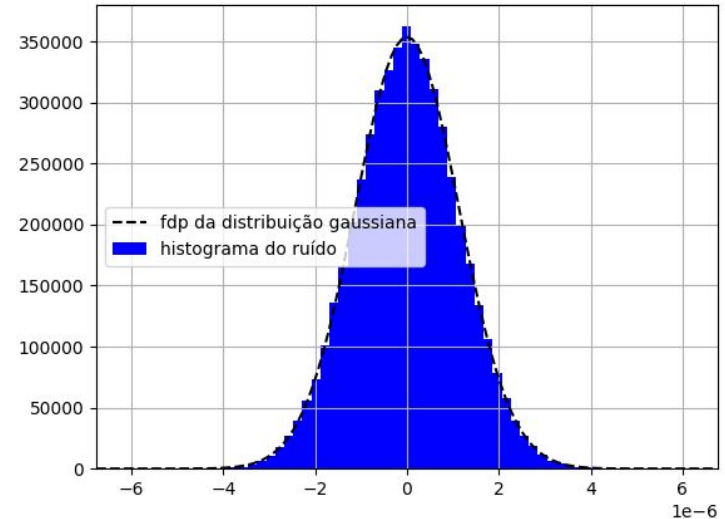
Parte 2: Estudo dos conceitos avançados associados ao projeto.

- Detecção de sinais ópticos e ruído, fonte de ruído

Uma vez gerado o ruído, podemos realizar a verificação do mesmo checando o histograma.

Utilizando uma função gaussiana que contém uma função de densidade de probabilidade, gerando assim um histograma do ruído que permite a visualização da distribuição dos dados obtidos.

Assim quanto mais amostras tivermos melhor será a visualização para os dados estatísticos (conheceremos ainda mais sobre o ruído que está sendo transmitido na recepção), assim verificamos que realmente o ruído corresponde com o que obtivemos anteriormente.



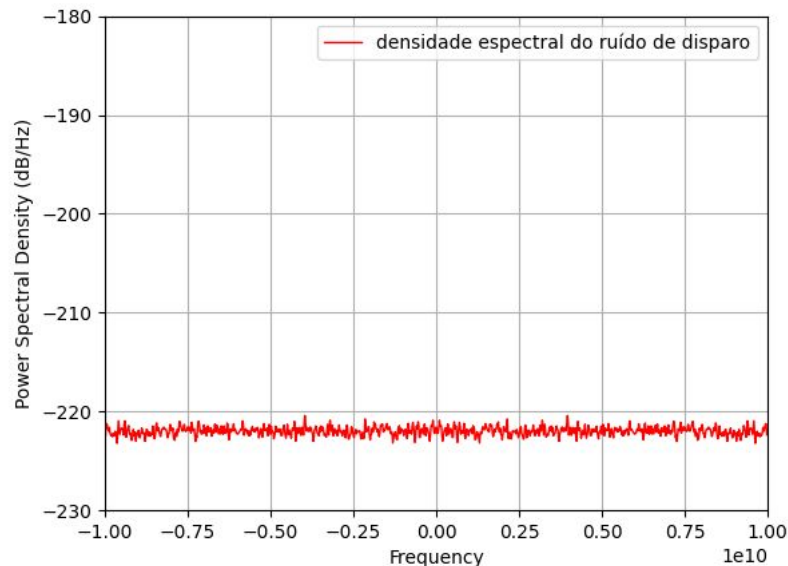
Atividades Realizadas - Comunicações Ópticas

Parte 2: Estudo dos conceitos avançados associados ao projeto.

- **Deteção de sinais ópticos e ruído, densidade espectral do ruído de disparo**

Para finalizarmos a verificação do ruído, iremos observar a densidade espectral de potência, que tem como objetivo mostrar em cada espectro quanto de potência média possui um determinado sinal.

Notando que a densidade espectral de potência permanece praticamente constante ao longo do espectro de frequências sabemos que se trata de um ruído térmico onde o mesmo é aproximadamente branco (um sinal aleatório com igual intensidade em diferentes frequências, o que lhe dá uma densidade espectral de potência constante).



Atividades Realizadas - Comunicações Ópticas

Parte 2: Estudo dos conceitos avançados associados ao projeto.

- Detecção de sinais ópticos e ruído, ruído térmico e SNR.

Os circuitos eletrônicos que compõem o front-end dos receptores naturalmente adicionam ruído térmico aos sinais detectados, não só o front-end como também os dispositivos de amplificação que invariavelmente adiciona ruído aos sinais que estão sendo amplificados, assim o ruído total pode ser dado como:

$$\sigma_n^2 = E[I_n^2] = \sigma_s^2 + \sigma_T^2 = 2q(\bar{I}_p + I_d)B + (4k_B T / R_L)F_n B \quad (1)$$

- Razão sinal-ruído (signal-to-noise ratio - SNR)

Um dos conceitos muito importante em comunicações e a razão sinal-ruído, **SNR = Ps / Pn**.

$$P_n = E[|n(t)|^2] \quad P_s = E[|s(t)|^2]$$

Quanto maior o SNR melhor será a qualidade do sinal.

- SRN e detectores p-i-n

Sem dúvidas um dos detectores mais utilizados estão utilizando fotodiodo pin, para estes receptores considerando a presença do ruído de disparo e ruído térmico, temos a seguinte expressão SNR do sinal elétrico na saída do fotodiodo:

$$SNR = \frac{R_d^2 P_{in}^2}{2q(R_d P_{in} + I_d)B + 4(k_B T / R_L)F_n B} \quad (1)$$

- Sensitividade dos receptores

Um dos parâmetros mais importantes em receptores ópticos digitais é a taxa de erro de bits, que pode indicar a frequência em que o circuito decisor comete um erro na identificação de um bit, onde o mesmo depende dos valores de SNR, assim a sensibilidade tem como objetivo obter o menor valor de potência recebida necessário para que o receptor opere com uma certa taxa de erro

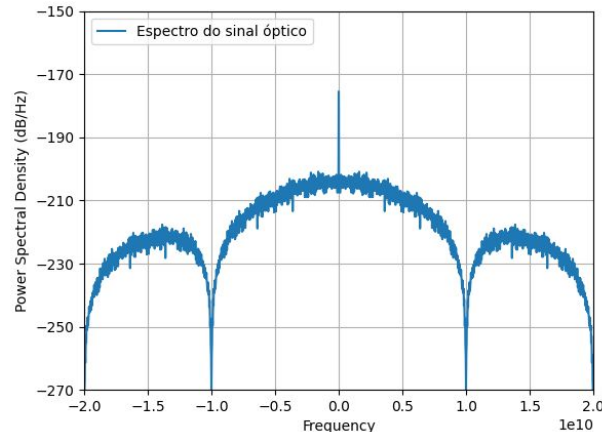
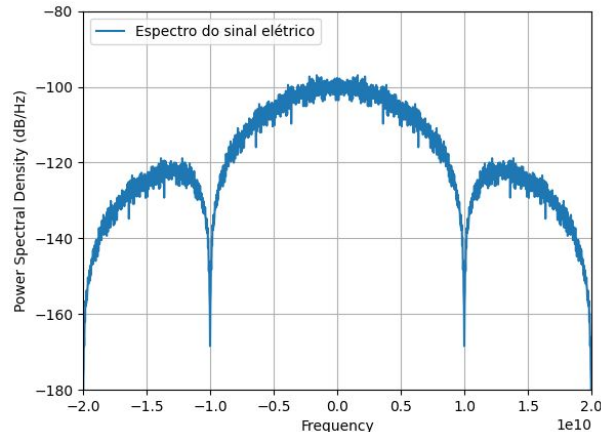
Atividades Realizadas - Comunicações Ópticas

Parte 2: Estudo dos conceitos avançados associados ao projeto.

- **Deteção de sinais ópticos e ruído, simulação das fontes de ruído do receptor p-i-n.**

1. Simular o transmissor OOK

- Realiza-se o mesmo procedimento mostrado no slide 23 e 24 tendo como diferença apenas a densidade espectral de potência mostrado na visualização do plot do sinal elétrico e o sinal que foi modularizado pelo MZM



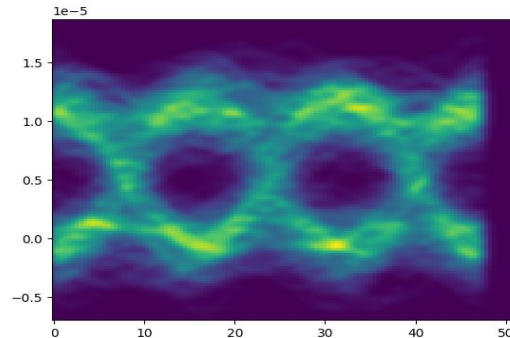
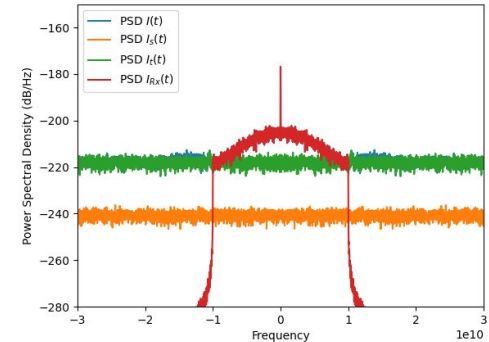
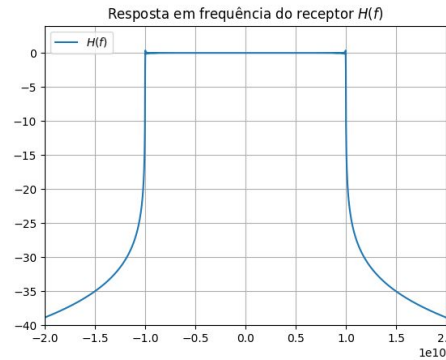
Atividades Realizadas - Comunicações Ópticas

Parte 2: Estudo dos conceitos avançados associados ao projeto.

- Detecção de sinais ópticos e ruído, simulação das fontes de ruído do receptor p-i-n.

2. Simulação do ruído no receptor p-i-n

Devemos considerar todos os parâmetros iniciais para a simulação que foram descritos no slide 36, considerando ainda a temperatura ambiente junto com a resistência, levando em conta a adição de ruído ao sinal.

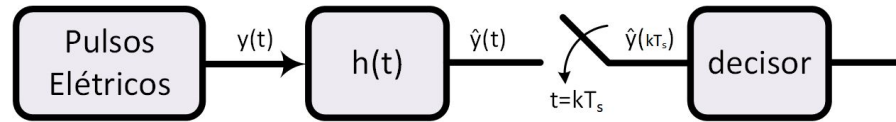


Atividades Realizadas - Comunicações Ópticas

Parte 2: Estudo dos conceitos avançados associados ao projeto.

- Detecção de sinais ópticos e ruído, filtragem no receptor

3. Recuperação do bitstream transmitido



O sinal recebido $y(t)$ deve passar por um filtro de resposta ao impulso $h(t)$, cuja função será eliminar componentes de ruído fora da banda de $x(t)$ e entregar o um sinal $y'(t)$ com um máximo de SNR para o circuito decisor, para que o sinal seja entregue com o máximo de SNR o mesmo será amostrado nos instantes $t = KTs$ sendo este o meio do intervalo de sinalização onde o mesmo pode admitir amplitude máxima ou mínima $y'(KT_s)$.

Por fim o circuito decisor irá avaliar uma estimativa através de diversas técnicas e regras de decisão.

Atividades Realizadas - Comunicações Ópticas

Conclusão

Conclusões e conhecimentos adquiridos

- Uso de toolbox ainda desconhecidas aplicadas ao processamento de sinais e implementação de filtros com as mesmas (**utils**).
- Operações com números complexos e fasores.
- Noções de sinais e sistemas (convolução, propriedade dos sistemas, definição de um sinal ...).
- Noções básicas sobre o funcionamento de um sistema de comunicações ópticas (transmissão, recepção, modulação, filtros, geração de sinais, recepção de sinais, componentes integrados ao receptor e transmissor e noções de ruído).

Alunos: Silas João, Luiz Henrique.

Orientador: Edson Porto da Silva.