INSTITUTO FEDERAL
Santa Catarina
Câmpus
São José

Relatório 1

Revisão de Sinais e Espectro

Curso: Engenharia de Telecomunicações
Disciplina: COM 029007 - Sistemas de Comunicação I
Professor: Mario de Noronha Neto

Aluno:
Luan de Barros

21 de outubro de 2024

1 Objetivos

O objetivo do presente documento baseia-se em simular e observar os comportamentos de senoides e cossenoides, as componentes principais dos sinais periódicos atuais. Com a ajuda da ferramenta de simulação Octave e MatLab, serão apresentados três experimentos que trabalham com esses sinais e suas representações no domínio do tempo e da frequência.

2 Fundamentação Teórica

Um sinal é qualquer variação de uma quantidade física que pode ser representada por uma variável independente (por exemplo, o tempo ou frequência). Logo, um sinal no tempo expressa o comportamento deste conforme o tempo passa. Já um sinal na frequência, expressa as componentes de frequência de um sinal. Não somente isso, mas cada componente é formada por uma combinação de senos e cossenos, amplitude e fase. Todo sinal foi gerado por algo, logo carrega uma energia dentro de si que podemos calcular com base no período de análise. Tendo este sinal no domínio do tempo podemos efetuar a Transformada de Fourier de Tempo Discreto (TFTD) para passá-lo para o domínio da frequência, onde um sinal composto por vários sinais, com o uso da TFTD, é possível visualizar cada componente de frequência presente. E se podemos visualizar as componentes de frequência presentes, é de se imaginar que haverá uma faixa que haverá uma maior concentração de energia. À esta faixa, chamamos de Densidade Espectral de Potência.

Além disso, é importante mencionar sobre o Teorema de Nyquist, que concisamente diz que um sinal pode ser completamente recuperado se o amostrarmos com o dobro da sua frequência original. E para recuperarmos um sinal, às vezes é necessário passar por um filtro. Em seu significado mais puro, um filtro deixa passar apenas uma parte de algo. No campo de processamento de sinais não é diferente. Um filtro digital é usado para separar uma componente de frequência desejada. Eles podem ser:

1- **Filtro passa-baixa:** atenua frequências maiores do que a frequência de corte;

2- **Filtro passa-faixa:** atenua frequências menores do que a frequência de corte inferior e maiores do que a frequência de corte superior;

3- **Filtro passa-alta:** atenua frequências menores do que a frequência de corte.

A seguir, serão apresentados os resultados obtidos nas simulações.

3 Apresentação Dos Dados Simulados

3.1 Experimento 1

A primeira simulação consiste em somar 3 senos com amplitudes de 6V, 2V e 4V, e com frequências de 1kHz, 3kHz e 5kHz.

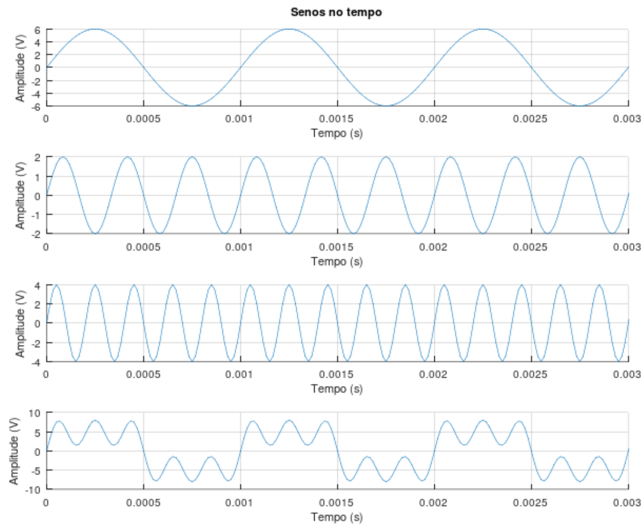

Figura 1: Gráfico, no domínio do tempo, contendo os três sinais usados neste experimento mais a soma de todos eles.

A figura acima é composta de 4 ondas sinusoidais no domínio do tempo. As três primeiras são referentes aos parâmetros mencionados na primeira linha desta subseção, enquanto o 4º (e último gráfico) é o resultado da soma dos 3 sinais dos gráficos anteriores. Este resultado ocorre pela série de Fourier, onde a onda quadrada ideal pode ser representada pela soma de senos com frequências ímpares da frequência fundamental. Logo, como as frequências usadas nos sinais são de 1kHz, 3kHz e 5kHz, elas produzem um efeito de capturar a maior parte da estrutura de uma onda quadrada, como as transições bruscas entre os níveis altos e baixos, compondo esse sinal.

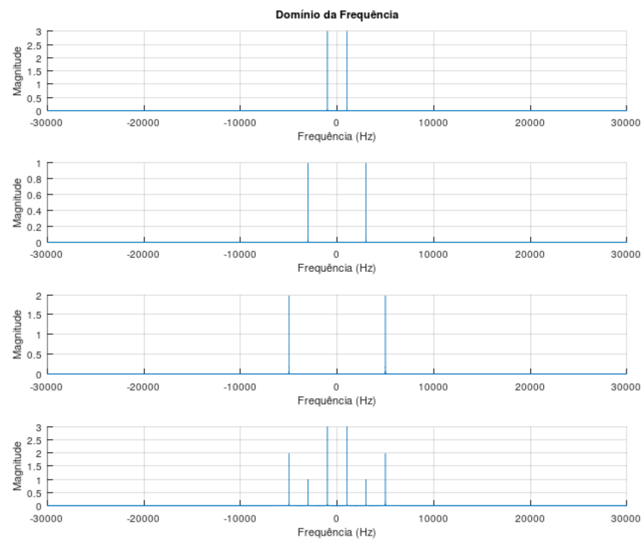

Figura 2: Gráfico, no domínio da frequência, contendo os três sinais usados neste experimento mais a soma de todos eles.

A imagem acima mostra a Transformada Rápida de Fourier , onde podemos observar a distribuição de frequência de cada sinal. A magnitude é a intensidade do sinal na frequência (ou harmônica) predominante.

A frequência negativa contida nos gráficos se deve ao fato da Transformada de Fourier propiciar o aparecimento dela pelo fato de ser uma onda que oscila entre um extremo negativo e outro positivo.

Por fim, podemos ver que o último gráfico mostra a junção de todos os sinais que compõem uma onda quadrada. Ou seja, com três harmônicas principais já é possível constituir uma onda quadrada, sendo que cada uma contém sua própria característica de magnitude e frequência principal, remetendo ao seu sinal original.

Utilizando a função *'norm'*, do MatLab, podemos calcular a potência média de 28 W, que se distribui ao longo do sinal resultante e, como mencionado anteriormente, é possível obtermos a densidade espectral do sinal, conforme a figura abaixo mostra.

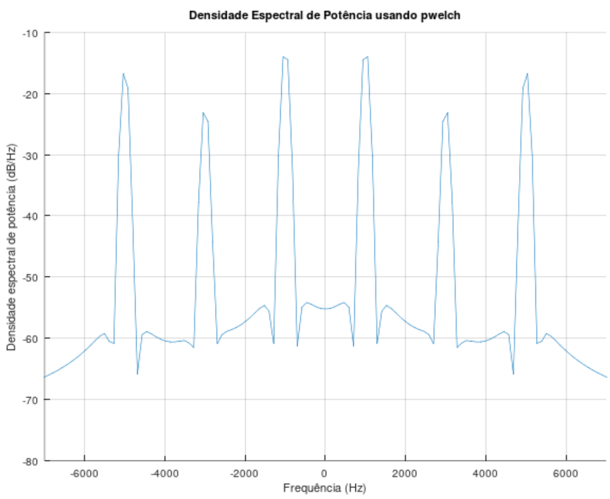

Figura 3: Densidade Espectral de Potência do Sinal Final.

Basicamente, a função *'norm'* é usada para calcular o quadrado da norma do sinal, que representa a energia total, dividida pelo número de amostras para obter a potência média.

Pelo valor da potência ter sido muito baixo, foi necessário transformar para escala logarítmica (dB) para poder representar em um gráfico. Graças a isso, podemos testificar que as maiores densidades espectrais, a maior concentração de energia, está distribuída sobre os valores de suas harmônicas e somente sobre elas.

3.2 Experimento 2

O experimento 2 consiste em criar três sinais de amplitudes 5V, 5/3V e 1V, tendo as mesmas frequências da simulação anterior (1 kHz, 3 kHz e 5 kHz), e passá-los por três filtros distintos: um filtro passa-baixa, um filtro passa-faixa e um filtro passa-alta. Com isso, poderemos observar a ação de cada um deles no comportamento espectral do sinal.

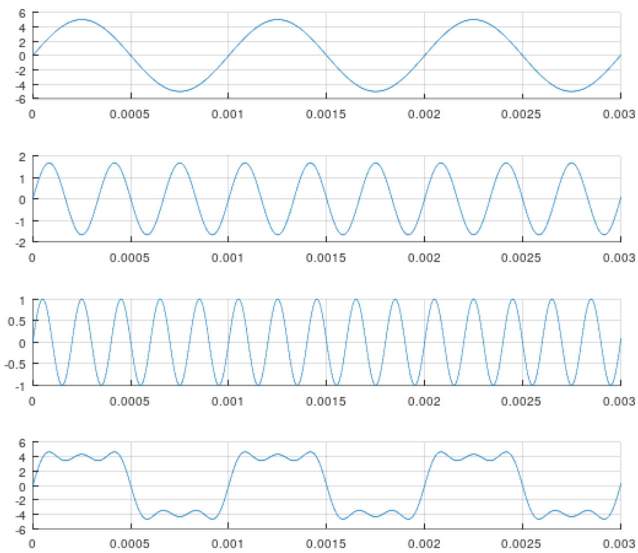

Figura 4: Sinais primitivos que serão usados.

Tendo os sinais da figura anterior, podemos fazer a *FFT* para visualizá-los no domínio da frequência onde iremos passar os filtros.

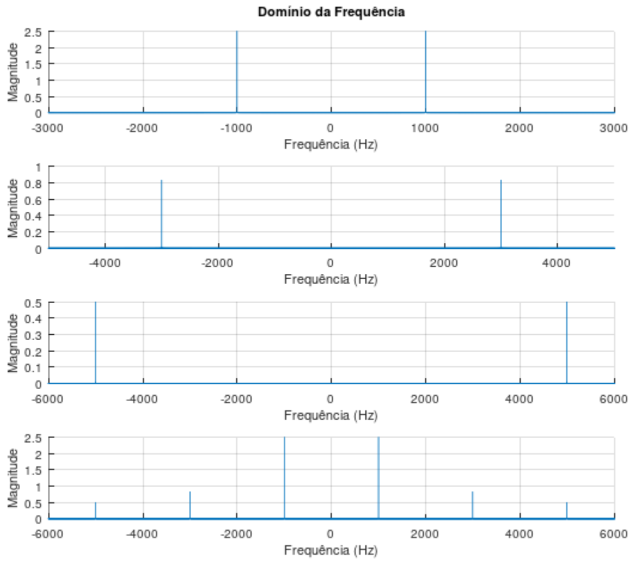

Figura 5: Transformada de *Fourier* dos sinais primitivos.

É importante notar que o processo de filtragem ocorre no domínio da frequência, e não no tempo. Isso porque um filtro serve justamente para isso: limitar frequências. Por isso, a aplicação dele é feita no sinal composto pelos três sinais primitivos, justamente para cumprir essa função de filtrar harmônicas específicas de um sinal composto, como podemos ver logo abaixo.

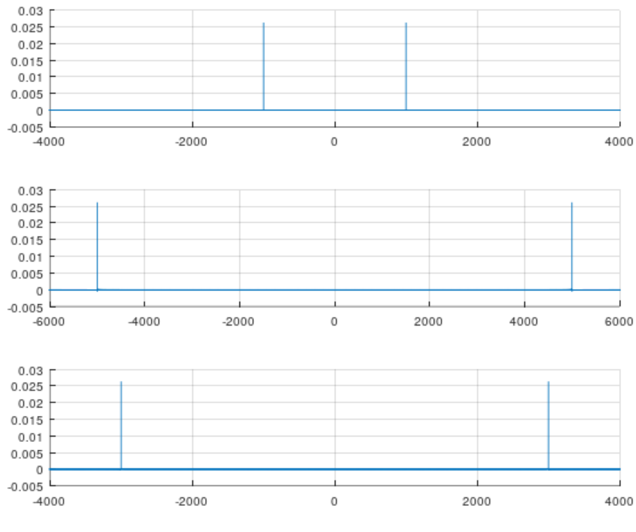

Figura 6: Sinal filtrado.

Analisando a figura acima, podemos verificar o processo de filtragem do sinal. No primeiro gráfico, o filtro passa-baixa atenua frequências maiores do que a frequência de corte dada de 1k Hz. Como o sinal é composto pelas frequências de 1k Hz, 3k Hz e 5k Hz, todas acima de 1k foram ignoradas. Da mesma maneira podemos traçar para os gráficos seguintes. No segundo, tendo um filtro passa-alta. Como a única frequência maior que a de corte, de 4k Hz, é a de 5k Hz, ela que é representada. E por último, temos o passa-faixa com frequências de corte entre 2k Hz e 4k Hz. Assim, o único sinal que se encontra nesta faixa é o de 3k hz, como é mostrado acima.

Por fim, para a prova real, faremos a Transformada Inversa de *Fourier* para obtermos o sinal original no domínio do tempo.

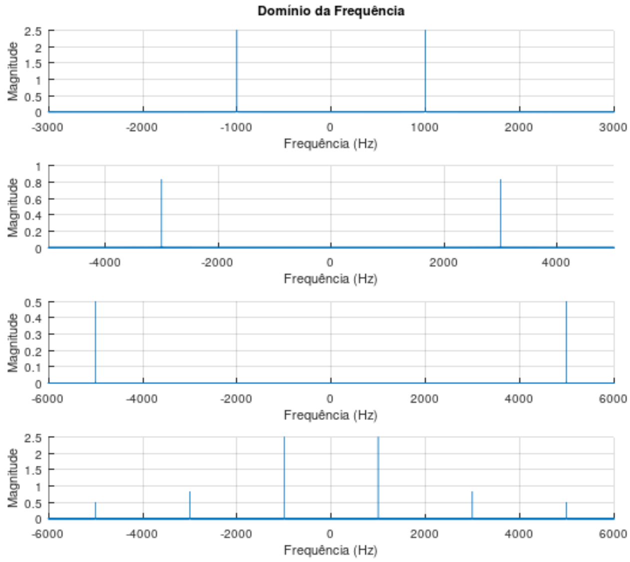

Figura 7: Sinais originais recuperados.

3.3 Experimento 3

O terceiro experimento se baseou em representar um ruído com distribuição normal utilizando a função 'randn' no domínio do tempo e também da frequência.

Basicamente, um ruído é um sinal aleatório que carrega potência. Qualquer amostra do ruído é completamente descorrelacionada com sua outra amostra. A função *'randn'* é caraterizada por apresentar uma distribuição normal, também conhecida como *"Gaussiana"*.

Tomando a expressão: ruido = randn(1,10000), é possível obtermos a media do ruido e a sua variância utilizando, respectivamente, as funções ***mean*** e ***var***. Usando a função *mean* no ruído gerado, temos um valor de 0,016281. Já com a função *var* do ruído obtemos 0,9999. Como a média resultou em um valor bem próximo de zero, podemos inferir que se trata de uma distribuição uniforme, ou seja, metade dos valores do vetor estão a direita do zero e a outra metade à esquerda. Da mesma maneira, dizemos para a variância.

A imagem abaixo mostra um histograma do vetor ruído, gerado para 10000 amostras.

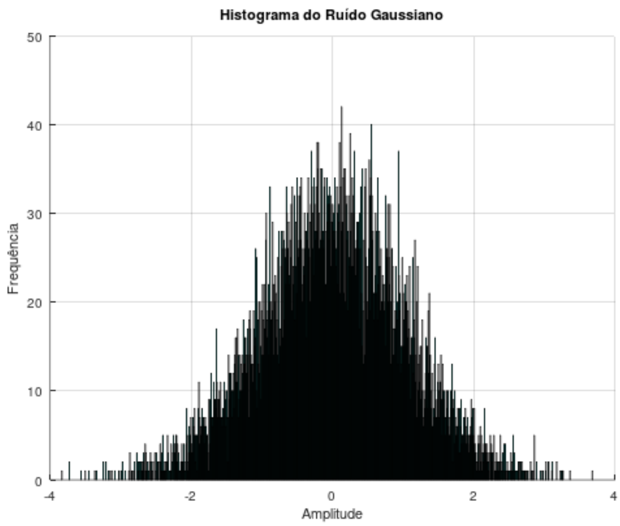

Figura 8: Histograma do vetor de ruído.

A imagem seguinte mostra o comportamento do vetor ruído no tempo e na frequência.

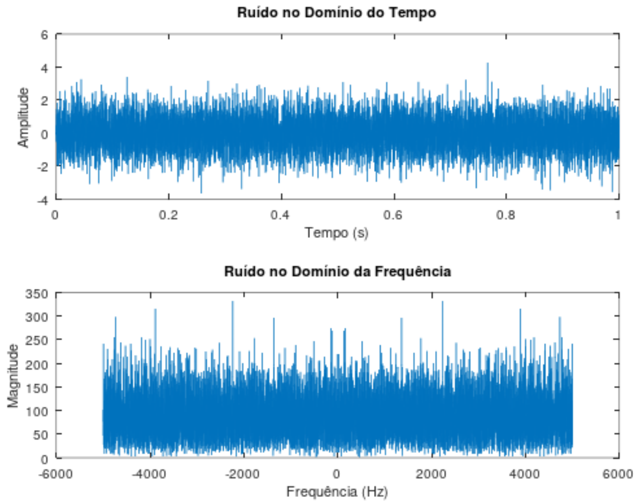

Figura 9: Comportamento do vetor ruído no tempo e na frequência.

Usando a função de autocorrelação do ruído ***xcorr***, poderemos saber qual a correlação entre o sinal vetor ruído com ele próprio em momentos diferentes. Logo, conforme a figura abaixo, podemos validar que para toda a defasagem do ruído, a autocorrelação é aproximadamente 0. Isso significa que não há correlação entre as amostras do sinal vetor ruído. No entanto, podemos perceber que só há um momento em que a afirmação anterior não é verdadeira: quando a defasagem é 0 e a autocorrelação é máxima. Ou seja, o sinal é completamente independente de si mesmo em diferentes instantes de tempo.

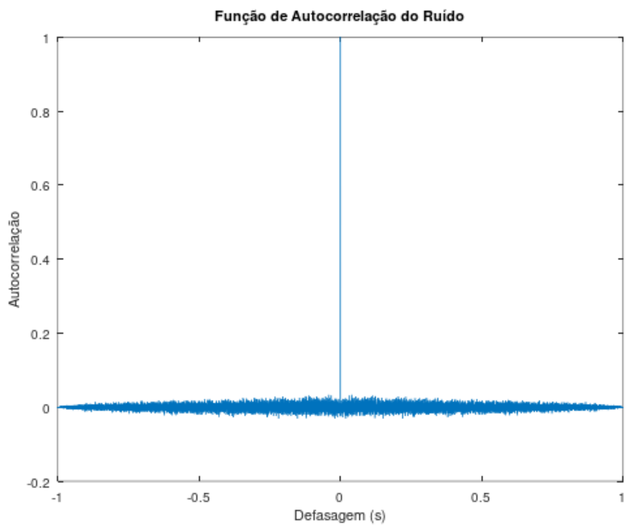

Figura 10: Função de autocorrelação do ruído.

O próximo passo foi fazer a filtragem passa baixa do ruído utilizando a função ***’filtro=fir1(50,(1000*2)/fs)’***[redacted] onde 50 é a precisão do filtro, ou seja, quanto maior o valor, mais frequências indesejadas ele irá atenuar, e 1000 é a frequência de corte.

Abaixo, podemos visualizar a resposta em frequência do filtro projetado, utilizando a função ***’freqz’***:

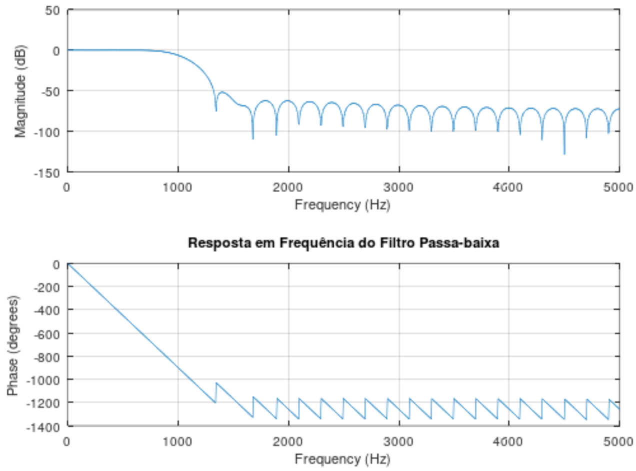

Figura 11: Resposta em frequência e magnitude do filtro.

Com isso, podemos plotar o comportamento do sinal filtrado no domínio do tempo e no domínio da frequência.

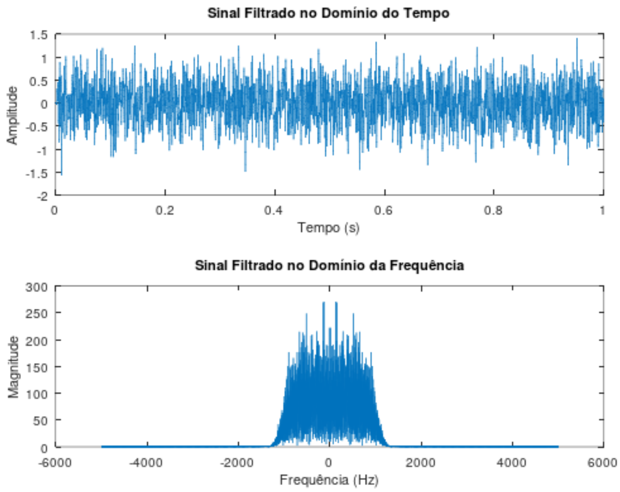

Figura 12: comportamento do sinal filtrado no domínio do tempo e no domínio da frequência.

E também, podemos plotar um histograma do sinal filtrado.

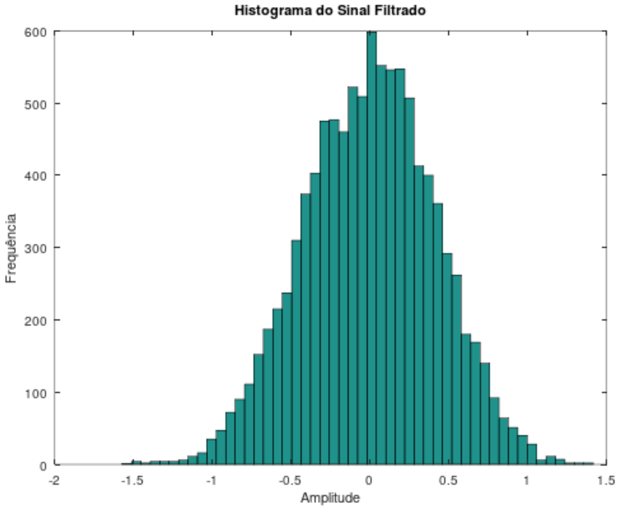

Figura 13: Histograma do sinal filtrado.

4 Análise

Todos estes experimentos nos permitiram mostrar o comportamento de diferentes sinais, especificamente senos e cossenos, o seus comportamentos no domínio do tempo e da frequência. Além disso, o MatLab/Octave, ajudaram muito a trazer uma boa visualização para a composição destes sinais, assim também como operações de filtragem e outras.