



**INSTITUTO
FEDERAL**

Santa Catarina

Câmpus
São José

Modulação e Demodulação em Frequência (FM)

Sistemas de Comunicação I

Arthur Cadore Matuella Barcella

09 de Abril de 2024

Sumário

1. Introdução	3
2. Fundamentação teórica	3
3. Análise dos resultados	3
3.1. Sinal de áudio Aleatório:	3
3.2. Sinal Senoidal Modulante	7
4. Scripts e Códigos Utilizados:	9
5. Conclusões	11
6. Referências	11

1. Introdução

O objetivo deste relatório é apresentar o desenvolvimento de um sistema de modulação e demodulação em frequência (FM) para sinais de áudio. O sistema foi desenvolvido através de linguagem MATLAB (Octave), e tem como objetivo principal a compreensão do processo de modulação e demodulação em frequência, bem como a análise dos sinais modulados e demodulados.

Neste relatório será apresentado a fundamentação teórica do processo de modulação e demodulação em frequência, bem como a análise dos sinais modulados e demodulados, os scripts MATLAB utilizados e os resultados obtidos.

Desta forma, poderemos compreender o processo de modulação e demodulação FM, bem como a análise dos sinais modulados e demodulados, e a importância deste processo para a transmissão de sinais de áudio em sistemas de comunicação.

2. Fundamentação teórica

Seção II - Conceitos teóricos utilizados no relatório

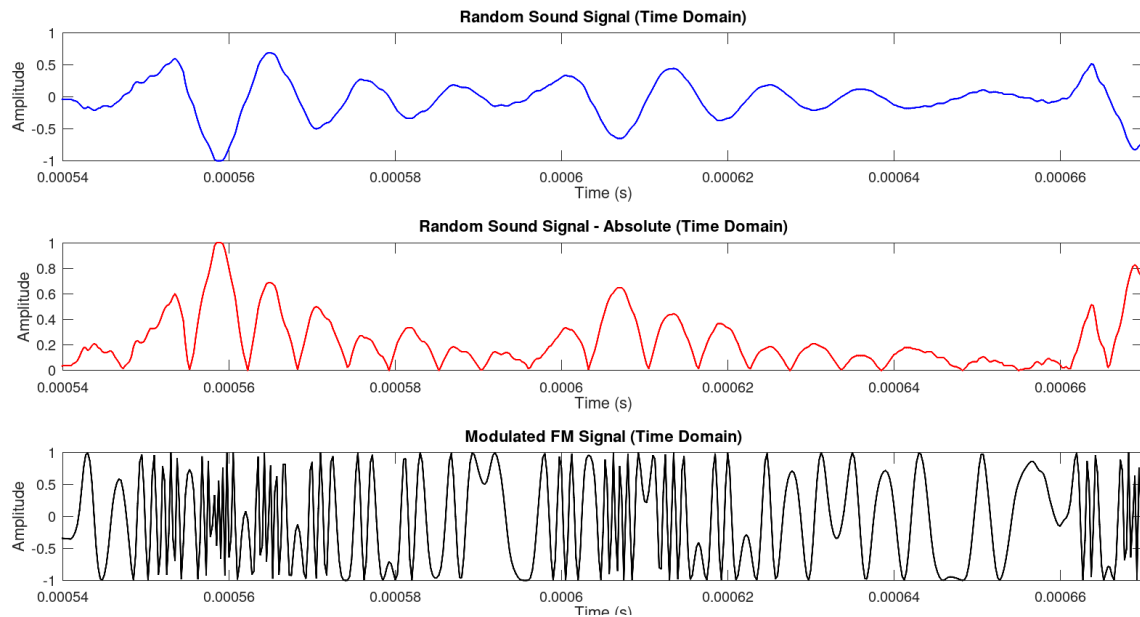
3. Análise dos resultados

3.1. Sinal de áudio Aleatório:

Inicialmente, foi feita a importação de um sinal de áudio para ser utilizado como modulante da portadora em frequência, para transmissão em FM.

A figura abaixo mostra o plot do sinal no domínio do tempo, bem como seu respectivo plot do sinal no domínio da frequência.

Figure 1: Elaborada pelo Autor



Sinal de entrada no domínio do tempo

Uma vez com o sinal de entrada definido, a modulação em frequência foi realizada através da integração do argumento de fase da portadora a partir do sinal da modulante, conforme o script abaixo:

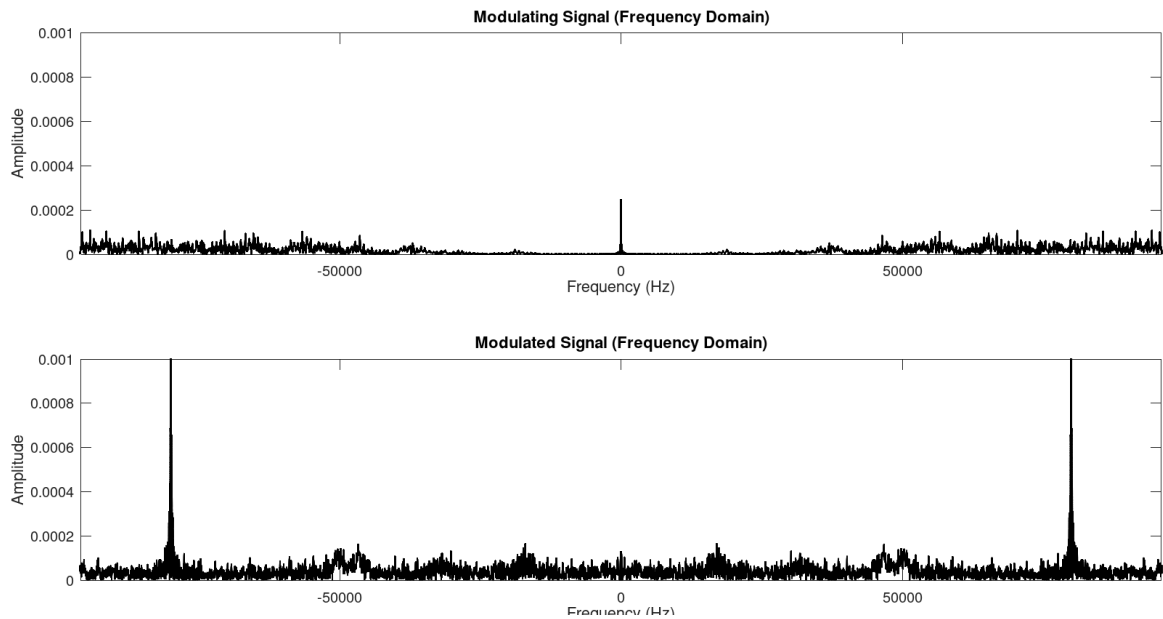
```
1 % Creating the FM modulated signal:
2 phase_argument = 2*pi*k_f*cumsum(modulating_signal)*(Ts);
3 modulated_signal = A_carrier * cos(2*pi*f_carrier*t + phase_argument);
```

Onde na figura acima os parâmetros são:

- `modulating_signal` é o sinal de áudio importado.
- `k_f` é a sensibilidade do modulador para variação de frequência.
- `Ts` é o período de amostragem do sinal.
- `A_carrier` é a amplitude da portadora
- `f_carrier` é a frequência da portadora.
- `t` é o vetor de tempo do sinal modulado (utilizado para realizar a modulação em FM).
- `phase_argument` é o argumento de fase da portadora do sinal, gerado a partir da integração do sinal modulante.
- `modulated_signal` é o sinal modulado em FM.

Uma vez com o sinal modulado em FM, podemos compreender o formato do sinal modulado no domínio do tempo e da frequência, conforme a figura abaixo:

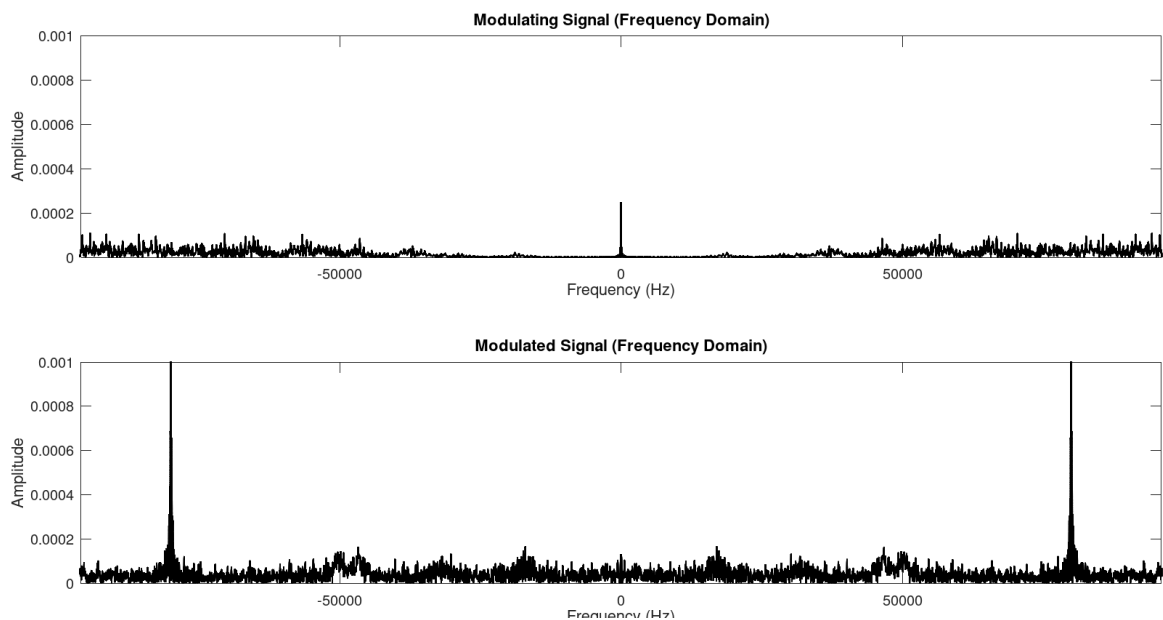
Figure 2: Elaborada pelo Autor



Sinal modulado em FM no domínio do tempo e da frequência

Uma vez com o sinal modulado, e multiplexado, podemos transmiti-lo pelo meio físico sem que haja interferência entre cada portadora (idealmente). O sinal no meio físico é ilustrado abaixo em azul.

Figure 3: Elaborada pelo Autor



Sinal modulado e “transmitido” no meio físico

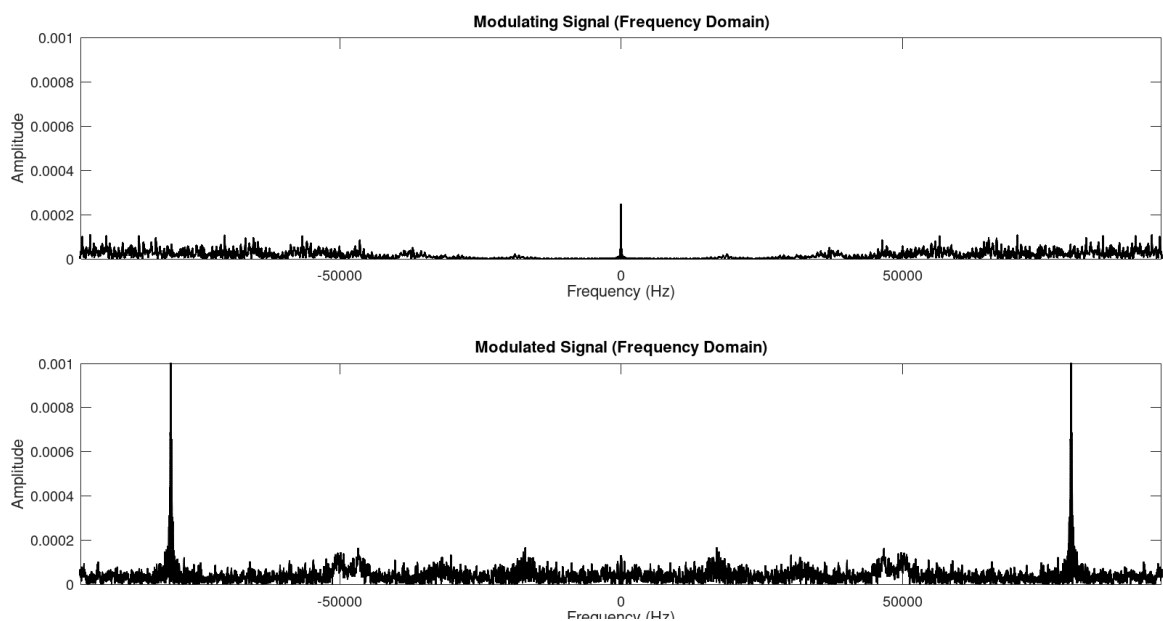
Na recepção do sinal, precisamos realizar sua demodulação para ter novamente o sinal de áudio original. Para isso, utilizamos um demodulador FM, que é basicamente um circuito que realiza a derivação do sinal modulado, conforme o script abaixo:

Com o sinal demodulado, utilizamos um filtro passa-baixas para eliminar as frequências indesejadas, e obter o sinal de áudio original.

Para isso, foi utilizado um filtro FIR de ordem relativamente alta (neste caso 100), com frequência de corte de 20kHz. A frequência neste script foi fixada em 20kHz, pois trata-se de um sinal de áudio, e portanto, não há informação relevante acima desta frequência para ser capturada.

Para verificar se de fato o filtro está atuando corretamente, abaixo está um plot da resposta em frequência do filtro FIR:

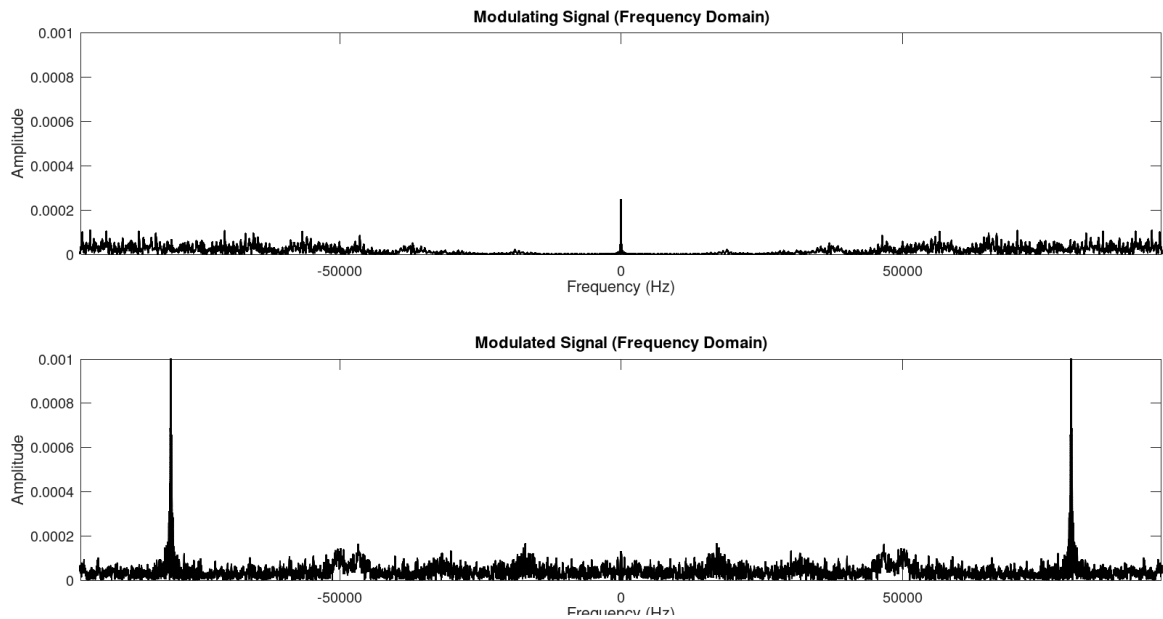
Figure 4: Elaborada pelo Autor



Resposta em frequência do filtro FIR

Com o sinal demodulado e filtrado, podemos realizar seu plot no domínio do tempo e também realizar a FFT do sinal para observar as componentes de frequência do sinal demodulado.

Figure 5: Elaborada pelo Autor



Sinal demodulado no domínio do tempo e da frequência

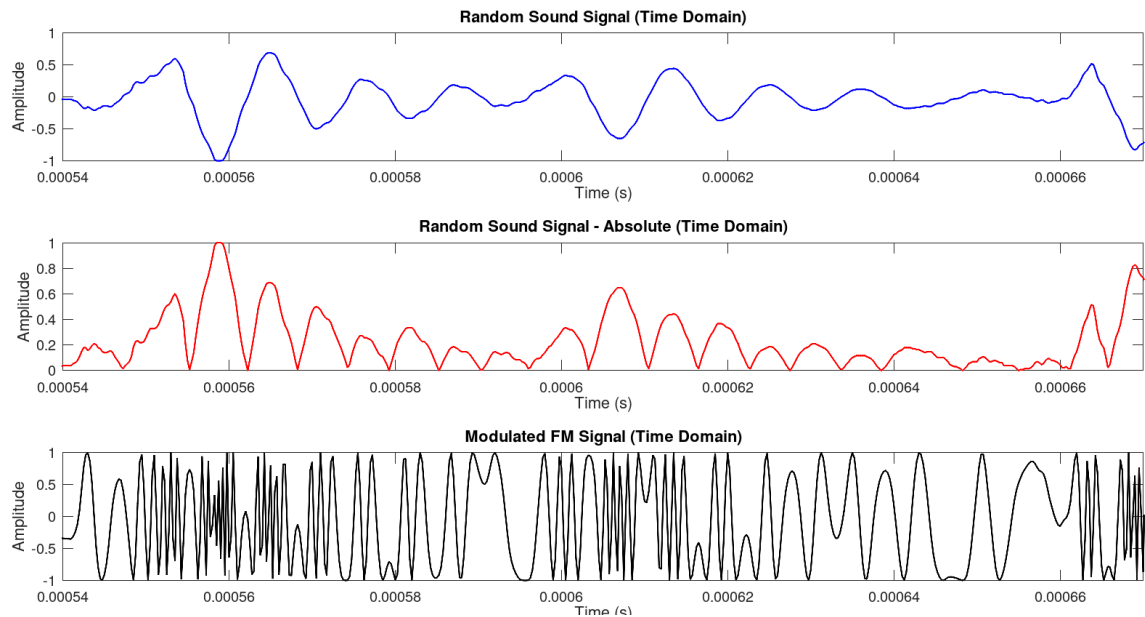
Como podemos observar, o sinal demodulado é muito semelhante ao sinal de áudio original, com pequenas distorções devido ao processo de modulação e demodulação em frequência.

3.2. Sinal Senoidal Modulante

Devido as variações no processo de modulação e demodulação apresentadas anteriormente, foi feita a análise de um sinal puramente senoidal como modulante em FM, para verificar se o processo de modulação e demodulação em frequência está correto.

Inicialmente, foi feita a definição dos parâmetros do sinal modulante e em seguida o plot do mesmo no dominio do tempo e também da frequência:

Figure 6: Elaborada pelo Autor

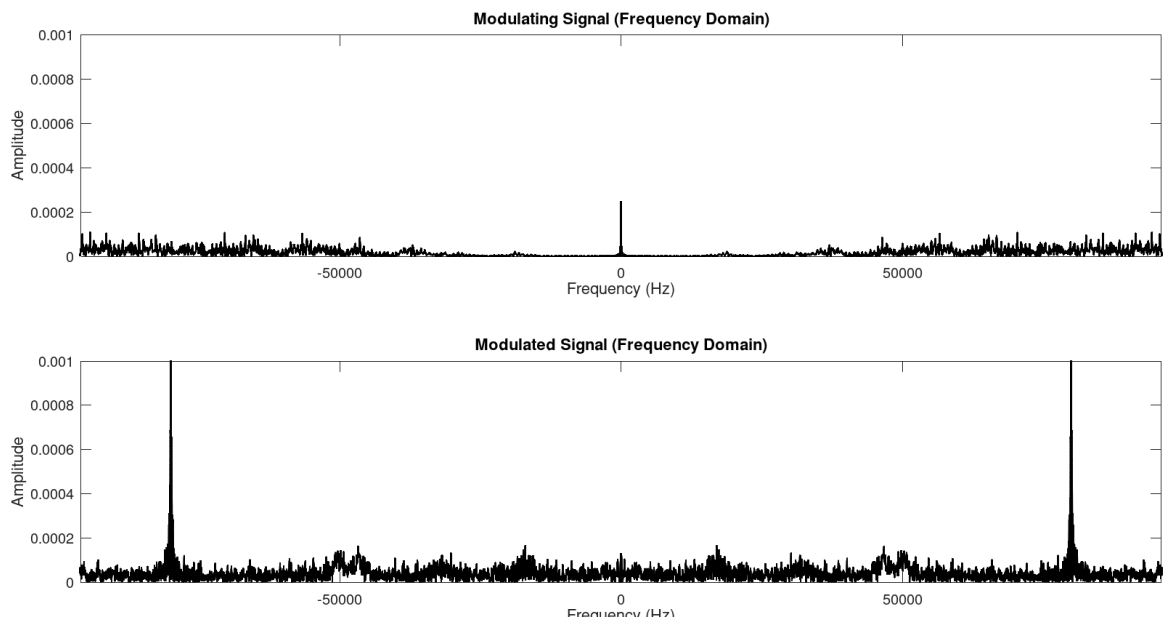


Sinal senoidal modulante no domínio do tempo e da frequência

Em seguida, com o sinal modulante definido, foi feita a modulação em frequência do sinal senoidal, note que para esse processo de modulação, o sinal modulante é uma senoide pura, e portanto, o sinal modulado em FM possui uma variação suave e periódica de frequência ao longo do tempo.

Sendo assim possível analisar o sinal modulado no domínio do tempo e da frequência, conforme a figura abaixo:

Figure 7: Elaborada pelo Autor

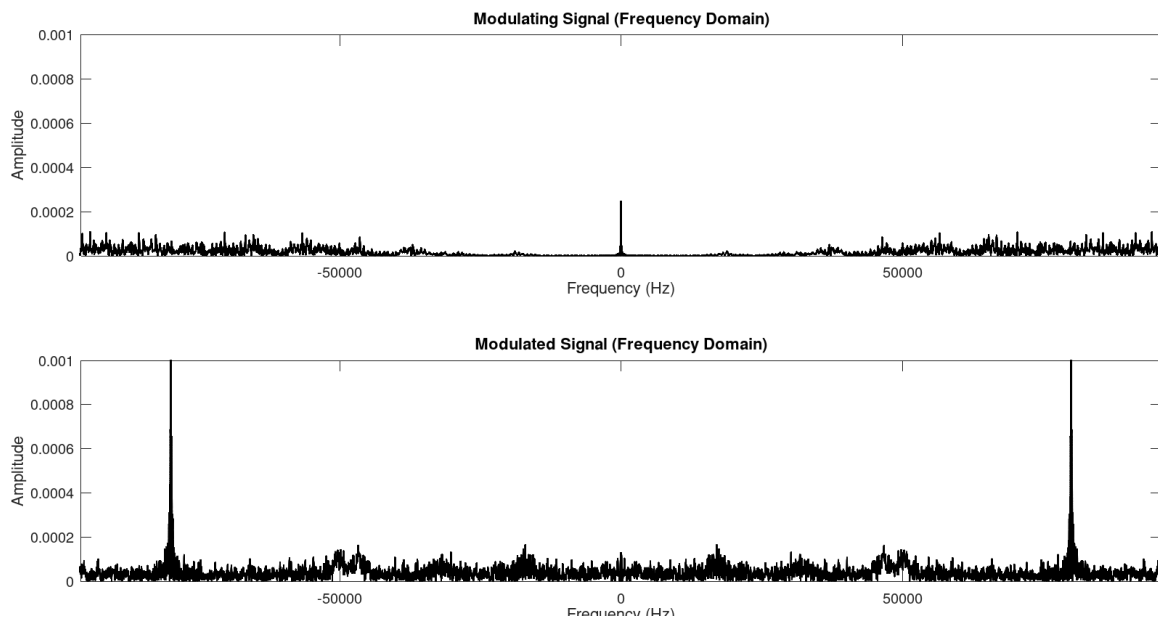


Sinal modulado em FM no domínio do tempo e da frequência

Com o sinal modulado em FM definido, podemos transmiti-lo pelo meio físico, e realizar a demodulação do sinal para obter o sinal senoidal original.

Na recepção, foi feita a demodulação do sinal modulado, e em seguida a filtragem do sinal demodulado para obter o sinal senoidal original, a figura abaixo mostra o sinal demodulado no domínio do tempo e da frequência:

Figure 8: Elaborada pelo Autor



Sinal demodulado no domínio do tempo e da frequência

4. Scripts e Códigos Utilizados:

Seção IV - Scripts e Codigos

```
1 close all; clear all; clc;
2
3 % Defining the signals amplitude.
4 A_modulating = 1;
5 A_carrier = 1;
6
7 % Defining the signals frequency
8 f_modulating_max = 20000;
9 f_carrier = 80000;
10
11 % modulator sensibility for frequency variation (Hz/volts)
12 k_f = 2000000;
13
14 % Delta variable, corresponding to max frequency variation.
15 d_f = k_f*A_modulating;
16
17 % Beta variable, corresponding to percentage of frequency variation about
18   the frequency of the modulating.
19 b = d_f/f_modulating_max;
```

```

19
20 % Defining the period and frequency of sampling:
21 fs = 50*f_carrier;
22 Ts = 1/fs;
23 T = 1/f_modulating_max;
24
25 % Defining the sinal period.
26 t_inicial = 0;
27 t_final = 2;
28
29 % "t" vector, correspondig to the time period of analysis, on time domain.
30 t = [t_inicial:Ts:t_final];

```

```

1 % modulating_singal = A_modulating *cos(2*pi*f_modulating_max*t);
2 [modulating_signal, Hs] = audioread('general-signal.wav');
3 modulating_signal = transpose(modulating_signal);
4
5 % Calculate the number of zeros to be added
6 num_zeros = length(t) - length(modulating_signal);
7
8 % Add the zeros to the end of the modulating_signal vector
9 modulating_signal = [modulating_signal, zeros(1, num_zeros)];
10
11 % Transpose the modulated signal if necessary
12 modulated_signal = transpose(modulating_signal);
13
14 % Creating the FM modulated signal:
15 phase_argument = 2*pi*k_f*cumsum(modulating_signal)*(Ts);
16 modulated_signal = A_carrier * cos(2*pi*f_carrier*t + phase_argument);
17
18 % Plot signals on time domain:
19 figure(1)
20 subplot(311)
21 plot(t, (modulating_signal), 'b', 'LineWidth', 2)
22 xlim([0.00054 0.00067])
23 xlabel('Time (s)')
24 ylabel('Amplitude')
25
26 subplot(312)
27 plot(t, abs(modulating_signal), 'r', 'LineWidth', 2)
28 xlim([0.00054 0.00067])
29 xlabel('Time (s)')
30 ylabel('Amplitude')
31
32 subplot(313)
33 plot(t, modulated_signal, 'k', 'LineWidth', 2)
34 xlim([0.00054 0.00067])
35 xlabel('Time (s)')
36 ylabel('Amplitude')

```

```

1 % calculating the step of the frequency vector "f" (frequency domain);
2 f_step = 1/t_final;
3
4 % creating the frequency vector "f" (frequency domain);
5 f = [-fs/2:f_step:fs/2];
6
7 % calculating the FFT of the modulated signal;

```

```
8 modulated_f = fft(modulated_signal)/length(modulated_signal);  
9 modulated_f = fftshift(modulated_f);
```

5. Conclusões

A partir dos conceitos vistos e dos resultados obtidos, podemos concluir que o processo de modulação e demodulação em frequência é uma técnica eficiente para a transmissão de sinais de áudio em sistemas de comunicação, pois permite a transmissão de sinais de áudio com qualidade e fidelidade com baixa interferência devido a informação estar sendo carregada na variação de frequência e não na amplitude do sinal.

Desta forma, podemos compreender seu uso em sistemas de telecomunicação utilizado atualmente pelas rádios analógicas regionais para transmissão de sinais de áudio em broadcast para toda a região, visto que esse tipo de transmissão possui um baixo índice de ruído e distorção.

6. Referências

Para o desenvolvimento deste relatório, foi utilizado o seguinte material de referência:

- Software Defined Radio Using MATLAB & Simulink and the RTL-SDR, de Robert W. Stewart