



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO

Centro Tecnológico
Departamento de Engenharia Elétrica

Princípios de Comunicações I COD: ELE8541

Prof. Responsável: Jair Silva (jair.silva@ufes.br)

Laboratório # III – Modulação de Amplitude

1. Objetivos

Nesta aula o aluno desenvolverá os conceitos envolvidos nas modulações AM-DSB/TC, AM-DSB/SC e AM-SSB/SC. O aluno deverá comparar o desempenho destas modulações de amplitude através de análises do Índice de Modulação, potência de sinal modulado e tolerância a Ruído AWGN.

2. Conceitos Envolvidos

- Modulação de Amplitude e Índice de Modulação
- Detector de Envoltória e Detecção Coerente
- Transformada de Hilbert
- Ruído Gaussiano Branco Aditivo (AWGN) e Relação Sinal-Ruído (SNR)

3. Experimento

Para a análise das três técnicas de Modulação de Amplitude as seguintes tarefas no software Matlab:

- Estude os “*scripts*” **AM-DSB/TC** e **AM-DSB/SC** apresentados em anexo para um bom entendimento dos processos de modulação e demodulação neles ilustrados. Disserte sobre a necessidade ou não de transmissão da portadora nestes sistemas.
- Para o caso da modulação AM-DSB/TC, varie a Constante de Modulação K_m com valores entre 0 e 1 e observe a sua importância no processo. Analise o seu efeito tanto no domínio do tempo, quanto no domínio da frequência.
- Qual a importância da **Transformada de Hilbert** no processo de detecção de envoltória?
- Varie as frequências central da portadora e de corte do filtro na modulação AM-DSB/SC e analise os efeitos consequentes.
- Em ambos os casos acima citados simule o efeito de um canal que apenas adiciona ruído Gaussiano Branco nos sinais modulados usando o comando AWGN do Matlab. Varie o relação sinal ruído SNR em dB do sistema. Calcule as potências dos sinais modulados.
- Use um dos comandos **ammod** e **ssbmod** do Matlab e escreva um *script* que ilustra a modulação AM-SSB/SC. Mostre gráficos no tempo e de espectro de sinais antes e depois do canal, bem como de sinais modulado e demodulado.
- Insira o código que desenvolvistes para captura e processamento de um sinal de áudio e de uma imagem nos *scripts* de modulação AM criados e analise os efeitos do ruído nos mesmos. Para isto, compare o áudio e a imagem decodificados com os gerados para diversos valores de SNR.





UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO

Centro Tecnológico

Departamento de Engenharia Elétrica

4. Código AM-DSB-TC em Matlab

```
% ..... Princípios de Comunicações I.....
%
% Lab III
% Modulação AM      -      Detector Envolvória
%
% by Jair Silva
% UFES/2013
% .....
clc, clear all;
%
% ----- Sinal Modulador - 2 Senóides a taxa Fs amostras por segundo -----
Fs = 100;                                % Taxa de amostragem
t = [0:2*Fs+1]'/Fs;                      % Vetor tempo
x = sin(2*pi*t) + sin(4*pi*t);           % O sinal é a soma dos senóides

Nf = 2^18;                                % Tamanho da FFT
f = (0:Nf-1)'/Nf*Fs;                     % Vetor Frequência
X = abs(fft(x, Nf));                      % Espectro do sinal modulador

% Plota o sinal Modulador
figure(1), subplot(211), plot(t,x)
title('Sinal Modulador')
xlabel('Tempo (seg)')

subplot(212), plot(f, X)
ax = axis; axis([0 Fs/2 ax(3) ax(4)]); % Plota metade da taxa de amostragem
title('Espectro do sinal Modulador')
xlabel('Frequencia (Hz)')

% ---- Cria a portadora de frequência -----
fc = 20;
Ac = 1;
port = Ac * cos(2*pi*fc*t);              % Portadora não modulada

% ----- Modulação AM -----
ka = 0.3;                                % Constante de Modulação
smod = (1 + ka*x) .* port;               % sinal modulado
SMOD = fft(smod, Nf);                    % espectro do sinal modulado

figure(2)
subplot(211), plot(t, smod)
title('Sinal Modulado em AM')
xlabel('Tempo (seg.)')

subplot(212), plot(f, abs(SMOD))
ax = axis; axis([0 Fs/2 ax(3) ax(4)]);
title('Espectro do sinal Modulado')
xlabel('Frequencia (Hz)')

% -- Demodulação AM com detecção de envoltória com transformada Hilbert ---
sdemod = hilbert(smod);                  % r(t) = s(t) + j * hilb(s(t))
sdemod_bb = sdemod .* exp(-j*2*pi*fc*t); % Sinal complexo em banda base
```





UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO

Centro Tecnológico

Departamento de Engenharia Elétrica

```
sdemod_bb = abs(sdemod_bb); % Saída do detector
sdemod_bb = sdemod_bb - mean(sdemod_bb); % Remove o valor DC
SDEMOD = fft(sdemod_bb, Nf); % Espectro do sinal
```

```
figure(3), subplot(211), plot(t, sdemod_bb)
title('Saída do detector de envoltória')
xlabel('Tempo (seg.)')
subplot(212)
plot(f, abs(SDEMOD))
ax = axis;
axis([0 Fs/2 ax(3) ax(4)]);
title('Espectro do sinal na saída do detector')
xlabel('Frequencia (Hz)')
```

```
% Compara os sinais de mensagem transmitido e recebido
r = sdemod_bb.*max(abs(x));
figure(4), plot(t(1:end-5), x(1:end-5), t(1:end-5), r(1:end-5))
```

```
% ----- Fim -----
```

5. Código AM-DSB-SC em Matlab

```
% ..... Princípios de Comunicações I .....
%
% Lab III
% Modulação AM - Detector coerente
%
% by Jair Silva
% UFES/2013
% .....
%
clc, clear all, close all;
%
% ----- Sinal Modulador - 2 Senóides a taxa Fs amostras por segundo -----
Fs = 100; % Taxa de amostragem
t = [0:2*Fs+1]/Fs; % Vetor tempo
x = sin(2*pi*t) + sin(4*pi*t); % O sinal é a soma dos senóides

Nf = 2^18; % Tamanho da FFT
f = (0:Nf-1)/Nf*Fs; % Vetor Frequência
X = abs(fft(x, Nf)); % Espectro do sinal modulador

% Plota o sinal Modulador
figure(1), subplot(211), plot(t, x)
title('Sinal Modulador')
xlabel('Tempo (seg)')

subplot(212), plot(f, X)
ax = axis; axis([0 Fs/2 ax(3) ax(4)]); % Plota metade da taxa de amostragem
title('Espectro do sinal Modulador')
xlabel('Frequencia (Hz)')

% ---- Cria a portadora de frequência -----
```





UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO

Centro Tecnológico

Departamento de Engenharia Elétrica

```
fc      = 20;
Ac      = 1;
port    = Ac * cos(2*pi*fc*t);    % Portadora não modulada

% ----- Modulação AM -----
smod = x .* port;    % sinal modulado
SMOD = fft(smod, Nf);    % espectro do sinal modulado

figure(2)
subplot(211), plot(t, smod)
title('Sinal Modulado em AM')
xlabel('Tempo (seg.)')

subplot(212), plot(f, abs(SMOD))
ax = axis; axis([0 Fs/2 ax(3) ax(4)]);
title('Espectro do sinal Modulado')
xlabel('Frequencia (Hz)')

% ----- Demodulador Coerente -----
phi = 0;%pi/6;    % Desvio de fase
OL = cos(2*pi*fc*t + phi);    % Oscilador Local
sdemod = smod .* OL;    % Demodulação

% Projeta o filtro passa baixa para remover os componentes perto de 2*fc Hz
Fcorte = 25;    % Fcorte = freq. de corte de -3 dB em Hz
ordem = 5;    % ordem = ordem do filtro.
Fnorm = Fcorte/(Fs/2);    % Frequência de corte normalizada em Fs
[b,a] = butter(ordem, Fnorm);    % Gera o filtro digital Butterworth

sdemod_bb = filter(b, a, sdemod);    % Aplica o filtro
sdemod_bb = sdemod_bb - mean(sdemod_bb);    % Remove o valor DC
SDEMODO = fft(sdemod_bb, Nf);    % Espectro do sinal

figure(3), subplot(211), plot(t, sdemod_bb)
title('Saída do detector de envoltória')
xlabel('Tempo (seg.)')
subplot(212)
plot(f, abs(SDEMODO))
ax = axis;
axis([0 Fs/2 ax(3) ax(4)]);
title('Espectro do sinal na saída do detector')
xlabel('Frequencia (Hz)')

% Compara os sinais de mensagem transmitido e recebido
r = sdemod_bb.*max(abs(x));
figure(4), plot(t(1:end-5), x(1:end-5), t(1:end-5), r(1:end-5))

% ----- Fim -----
```

