

0.1 *Tipos de Modulações*

Existem alguns grupos de modulações com suas respectivas variações, a medida que surgem novas necessidades em telecomunicações também aparecem novos tipos de modulações, portanto nesta bibliografia mostraremos as principais, como mostrada abaixo:

1. Modulação em Amplitude: AM-DSB, AM-DSB/SC, AM-SSB, AM-VSB;
2. Modulação Angular: FM e PM;
3. Modulação por Pulsos: PAM, PWM, PPM e PCM;
4. Modulações Chaveadas: ASK FSK, PSK e DPSK;

0.1.1 *Modulações AM*

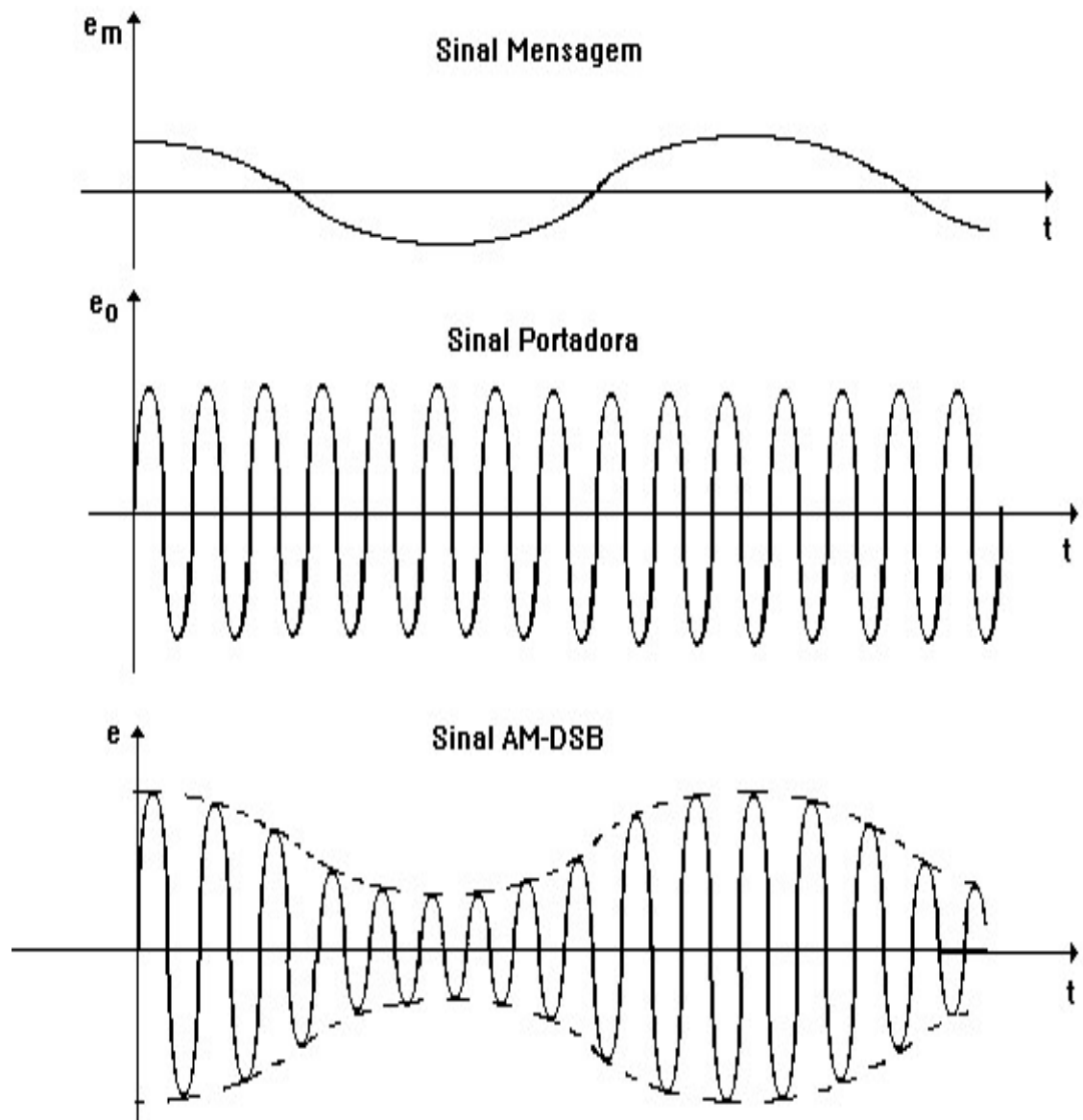
Nestas modulações a amplitude da portadora que deverá ser senoidal é variada de acordo com o sinal da mensagem. Podemos observar que a equação de um sinal AM, ficará da seguinte forma:

$$e(t) = A(t) \cdot \cos(\omega_o \cdot t + \theta) \quad (1)$$

onde observamos que a amplitude da cossenóide varia com o tempo.

Modulação AM - DSB (Amplitude Modulation - Double Side Band) Modulação em Amplitude com Banda Lateral Dupla.

Consiste no fato de que o sinal modulante interfere exclusiva e diretamente na amplitude da portadora, como mostra os gráficos dos sinais mensagem(modulante), portadora e modulado no tempo na figura 1, respectivamente e o seu espectro de frequência na figura 2.



Exemplo 0.1

Figura 1: Gráficos de uma Modulação AM-DSB no tempo

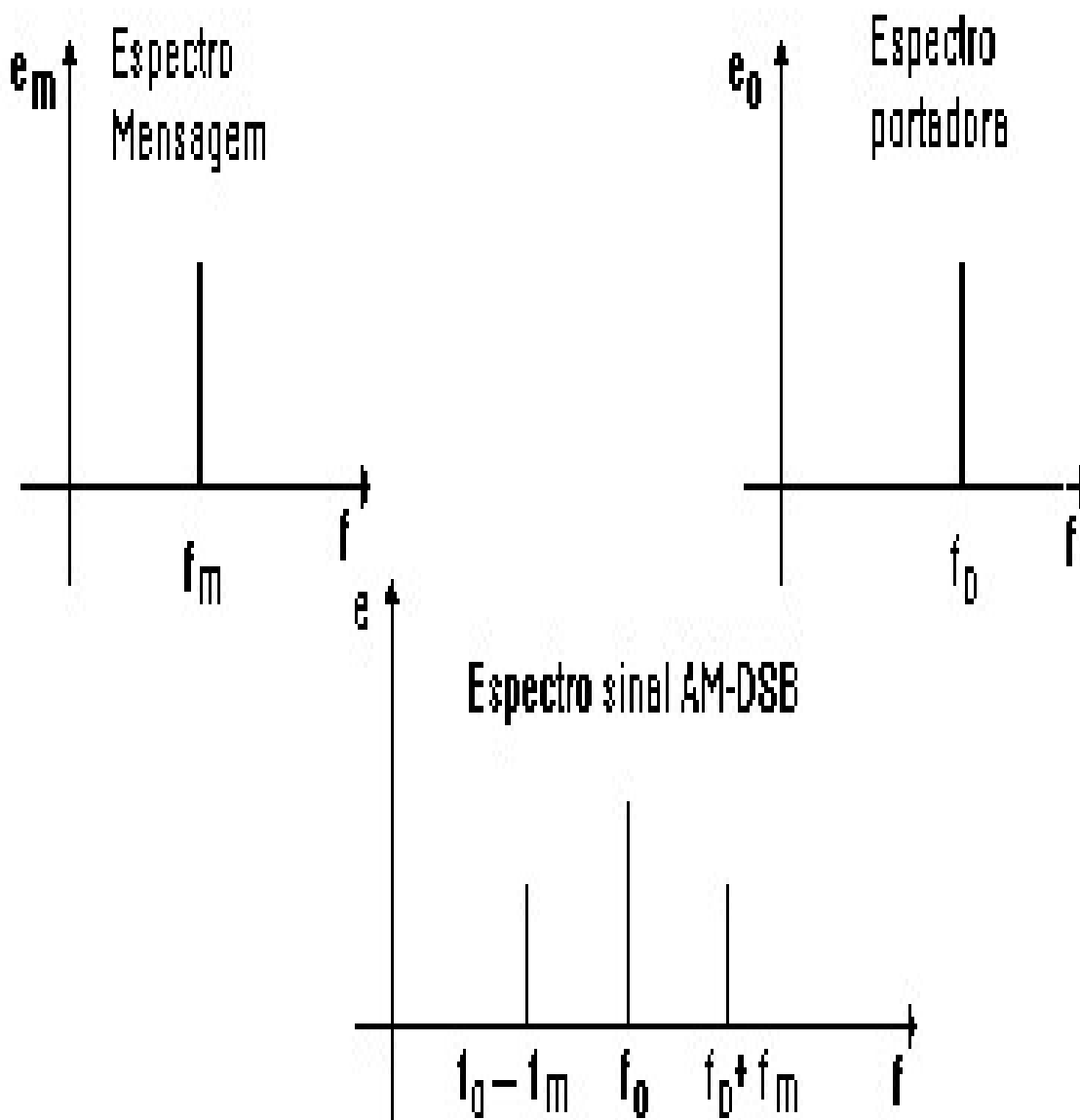


Figura 2: Gráficos de uma Modulação AM-DSB na frequência

```
Programa Matlab 0.1 %Programa para plotar graficos no MATLAB
%Elaborado por: Arlei 27/03/05
close all
clear all
clc
#####
t = 0:.0001:.0625;
y = sin(2*pi*30*t);
SUBPLOT(3,1,1),plot(t,y,'-');TITLE(' Mensagem');
axis([0 .0625 -1.5 1.5]);grid
pt=cos(2*pi*300.*t);
SUBPLOT(3,1,2),plot(t,pt,'-');TITLE('Portadora');
axis([0 .0625 -1.5 1.5]);grid
st=(1+0.5.*y).*cos(2*pi*300.*t);
SUBPLOT(3,1,3),plot(t,st,'-');TITLE(' Sinal Modulado');
axis([0 .0625 -1.5 1.5]);grid
% #####
figure
t = 0:.0001:.0625;
SUBPLOT(3,1,1),stem(30,1);TITLE(' Mensagem');
axis([0 400 -1.5 1.5]);grid
SUBPLOT(3,1,2),stem(300,1);TITLE('Portadora');
axis([0 400 -1.5 1.5]);grid
SUBPLOT(3,1,3),stem([270 300 330],[0.5 1 0.5]);
TITLE(' Sinal Modulado');axis([0 400 -1.5 1.5]);
grid
```

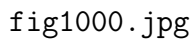
Exemplo 0.2 *Modulação AM-DSB*

fig1000.jpg

Figura 3: Gráficos de uma Modulação AM-DSB no tempo



Figura 4: Gráficos de uma Modulação AM-DSB na frequência

Programa Matlab 0.2

%Programa para plotar graficos no MATLAB

```

%Elaborado por: Arlei 27/03/05
close all
clear all
clc
#####
t = 0:.0001:.0625;
y = SQUARE(2*pi*30*t);
SUBPLOT(3,1,1),plot(t,y,'-');TITLE(' Mensagem');
axis([0 .0625 -1.5 1.5]);grid
pt=cos(2*pi*300.*t);
SUBPLOT(3,1,2),plot(t,pt,'-');TITLE('Portadora');
axis([0 .0625 -1.5 1.5]);grid
st=(1+0.5.*y).*cos(2*pi*300.*t);
SUBPLOT(3,1,3),plot(t,st,'-');TITLE(' Sinal Modulado');
axis([0 .0625 -1.5 1.5]);grid
% #####
figure;
%Espectro de Fourier da onda quadrada
close all
clear all
x=[0      30      90      150      210]
y=[0      4      4/(3*pi)  4/(5*pi)  4/(7*pi)]
fsm=[90      150      210      270
     300      330      390      450      510]
ysm=[4/(7*pi)  4/(5*pi)  4/(3*pi)  4
     8      4      4/(3*pi)  4/(5*pi)  4/(7*pi)]
SUBPLOT(3,1,1),stem(x,y);TITLE(' Mensagem');axis([0 600 -0 9]);grid
title('Mensagem');
SUBPLOT(3,1,2),stem(300,5);TITLE('Portadora');axis([0 600 0 9]);grid
SUBPLOT(3,1,3),stem(fsm,ysm);TITLE(' Sinal Modulado');
axis([0 600 -0 9]);grid
title('Sinal Modulado');

```

Modulação AM - DSB/SC (Amplitude Modulation Double Side Band / Supressed Carrier)- Modulação em Amplitude com Banda Lateral Dupla e Portadora Suprimida.

A modulação AM-DSB/SC surgiu como uma tentativa de economizar a potência utilizada pela portadora no sistema AM-DSB, que é no mínimo 67% da potência total do sinal modulado.

Como o próprio nome do sistema já diz, o princípio para a economia de potência é a "supressão da portadora", fazendo com que a potência do sinal modulado seja às raias de informação. O gráfico no tempo de sua modulação é mostrado na figura 5 e os seus gráficos na frequência estão na figura 6.

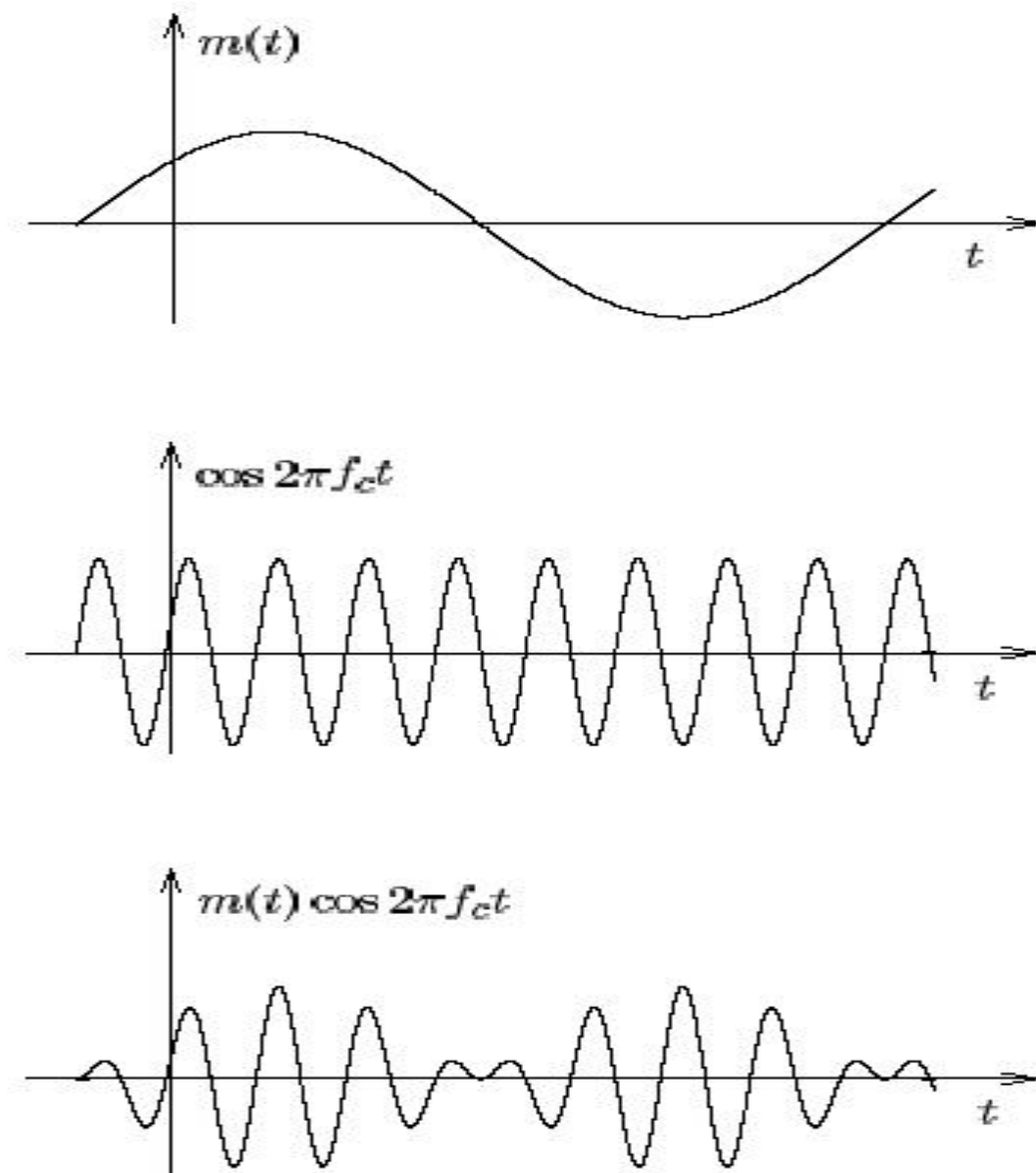
Exemplo 0.3 *Modulação AM-DSB/SC.*

Figura 5: Gráficos de uma Modulação AM-DSB/SC no tempo

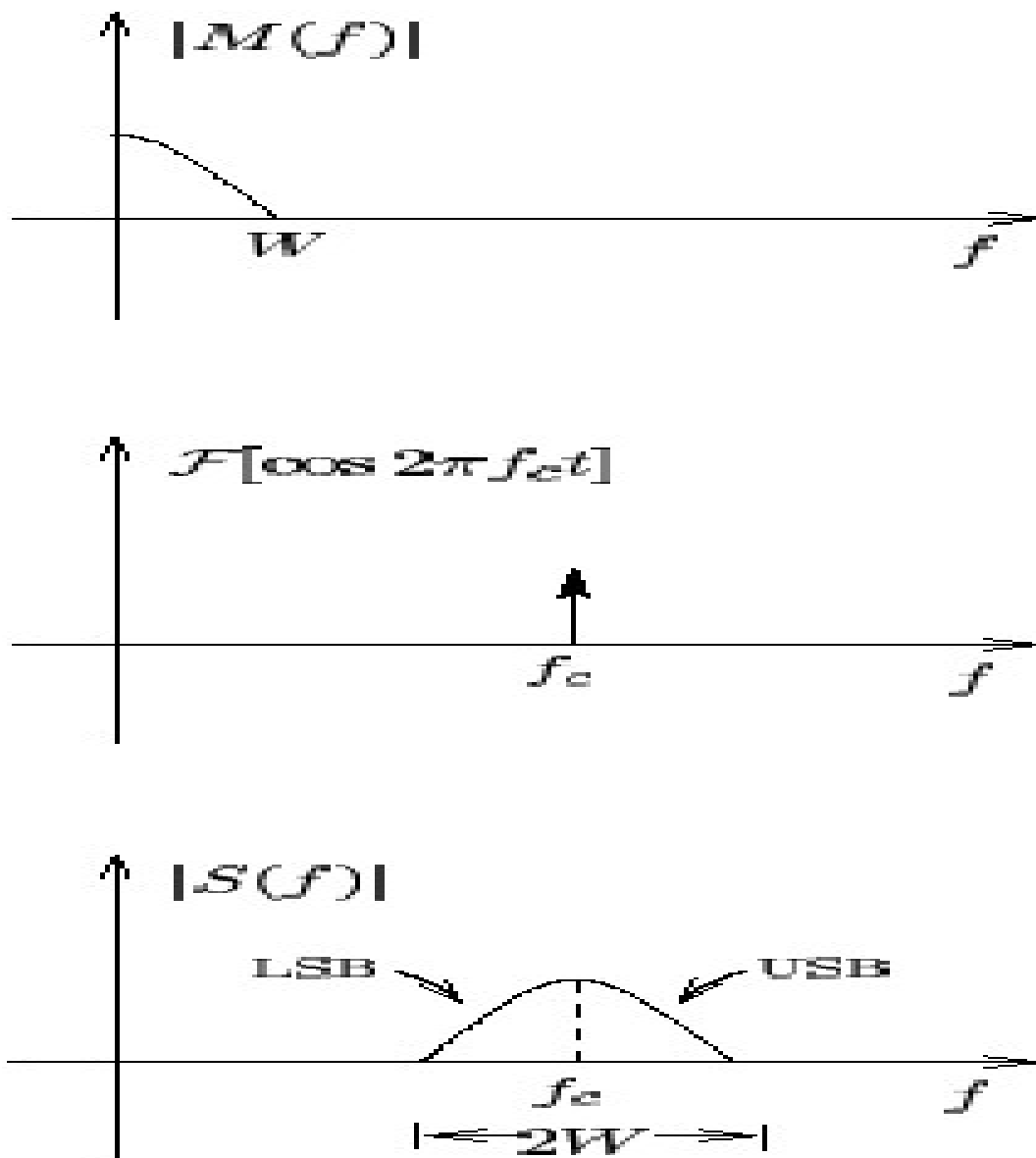


Figura 6: Gráficos de uma Modulação AM-DSB/SC na frequência

Programa Matlab 0.3 %Elaborado por: Arlei 27/03/05

```
close all
clear all
clc
#####
t = 0:.0001:.0625;
y = sin(2*pi*30*t);
SUBPLOT(3,1,1),plot(t,y,'-');
TITLE(' Mensagem');
axis([0 .0625 -1.5 1.5]);grid
pt=cos(2*pi*300.*t);
SUBPLOT(3,1,2),plot(t,pt,'-');
TITLE('Portadora');
axis([0 .0625 -1.5 1.5]);grid
st=(0.5.*y).*cos(2*pi*300.*t);
SUBPLOT(3,1,3),plot(t,st,'-');
TITLE(' Sinal Modulado');
axis([0 .0625 -0.5 0.5]);grid
% #####
figure
t = 0:.0001:.0625;
SUBPLOT(3,1,1),stem(30,1);
TITLE(' Mensagem');
axis([0 400 -1.5 1.5]);grid
SUBPLOT(3,1,2),stem(300,1);
TITLE('Portadora');axis([0 400 -1.5 1.5]);grid
SUBPLOT(3,1,3),stem([270 330],[0.5 0.5]);
TITLE(' Sinal Modulado');
axis([0 400 -1.5 1.5]);grid
```

Modulação AM - SSB (AM - Single Side Band) - Modulação em Amplitude - Banda Lateral Simples.

Alguns fatores contribuíram para a criação do sistema AM-SSB, sendo, para nós, o principal a necessidade de se encontrar um sistema que ocupasse a menor faixa possível do espectro, tendo o melhor aproveitamento possível da potência de transmissão. Aliando isso tudo ao fato de que seria necessário um sistema de recepção mais eficiente que o AM-DSB/SC, a primeira idéia foi aproveitar o sistema AM-DSB/SC para gerar um outro que ao invés de duas bandas laterais, tivesse só uma, pois a informação contida nessa banda seria exatamente a mesma que nas duas do outro sistema. Desta forma teremos os seguintes espectros utilizando sistemas AM-SSB, mostrados na figura 7, observe que o sinal AM-SSB é gerado a partir de um sinal AM-DSB/SC.

Exemplo 0.4 *Espectro de Frequência de uma modulação AM-SSB.*

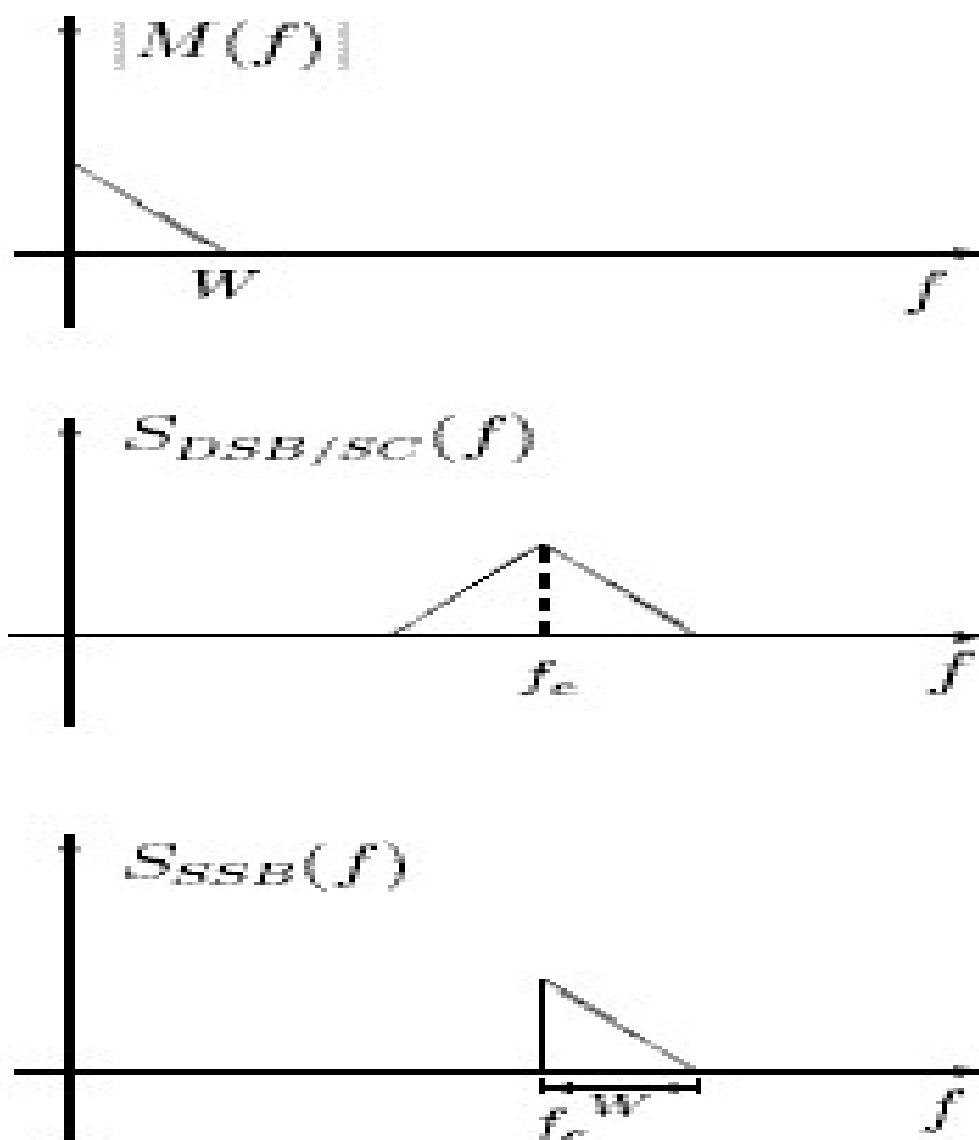


Figura 7: Gráficos de uma Modulação AM-SSB na frequência

Modulação AM - VSB (AM - Vestigial Single Band) - Modulação em Amplitude com Banda Lateral Vestigial

Para gerar um sinal SSB a partir do sinal AM-DSB/SC, necessita-se de um filtro de características de corte muito acentuada. Para superar este problema, utiliza-se a transmissão em faixa lateral vestigial, que é um compromisso entre o AM-DSB/SC e o AM-SSB.

Obtém-se um sinal VSB filtrando-se o sinal AM-DSB/SC, de tal modo que uma banda lateral passa quase completamente e a outra resulta sob a forma de um vestígio. Este tipo de modulação será melhor detalhado no capítulo 3 desta apostila.

0.1.2 Modulações Angulares

Na modulação angular temos o ângulo da portadora sendo variada com o sinal da mensagem (sinal modulante). Logo a equação de uma modulação angular ficará da seguinte forma:

$$e(t) = A \cdot \cos(\theta(t)) \quad (2)$$

Modulação FM - (Frequency Modulation)- Modulação de Frequência

Assumindo o conceito de Modulação que define como alterar a portadora proporcionalmente ao sinal modulante, observamos que, esgotadas as alterações possíveis na amplitude da portadora, devemos agora nos com as variações de sua frequência criando-se a Modulação em Frequência, mais conhecida popularmente como FM. A equação a seguir mostra como fica o sinal no tempo:

$$e(t) = A \cdot \cos(\omega_o(t) \cdot t + \theta) \quad (3)$$

Na figura 8 é mostrado como ficaria um sinal FM, com sinal mensagem onda quadrada e sinal portadora senóide.

Exemplo 0.5 Modulação FM.

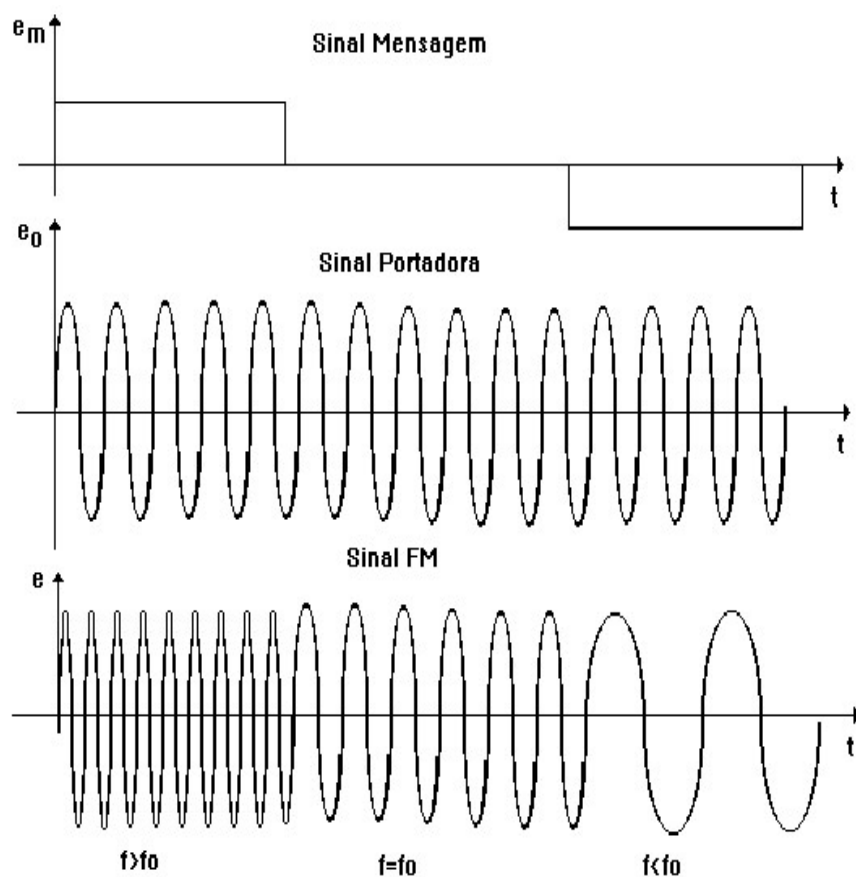


Figura 8: Gráficos de uma Modulação FM no tempo

Exemplo 0.6 *Modulação FM.*

Figura 9: Gráficos de uma Modulação FM no tempo

Modulação PM - (Phase Modulation)- Modulação de Fase

Na modulação PM temos o sinal mensagem alterando o ângulo de fase do sinal da portadora, como podemos observar pela equação 4

$$e(t) = A. \cos(\omega_o.t + \theta(t)) \quad (4)$$

Na figura que 10 podemos ver um exemplo de modulação PM.



Exemplo 0.7

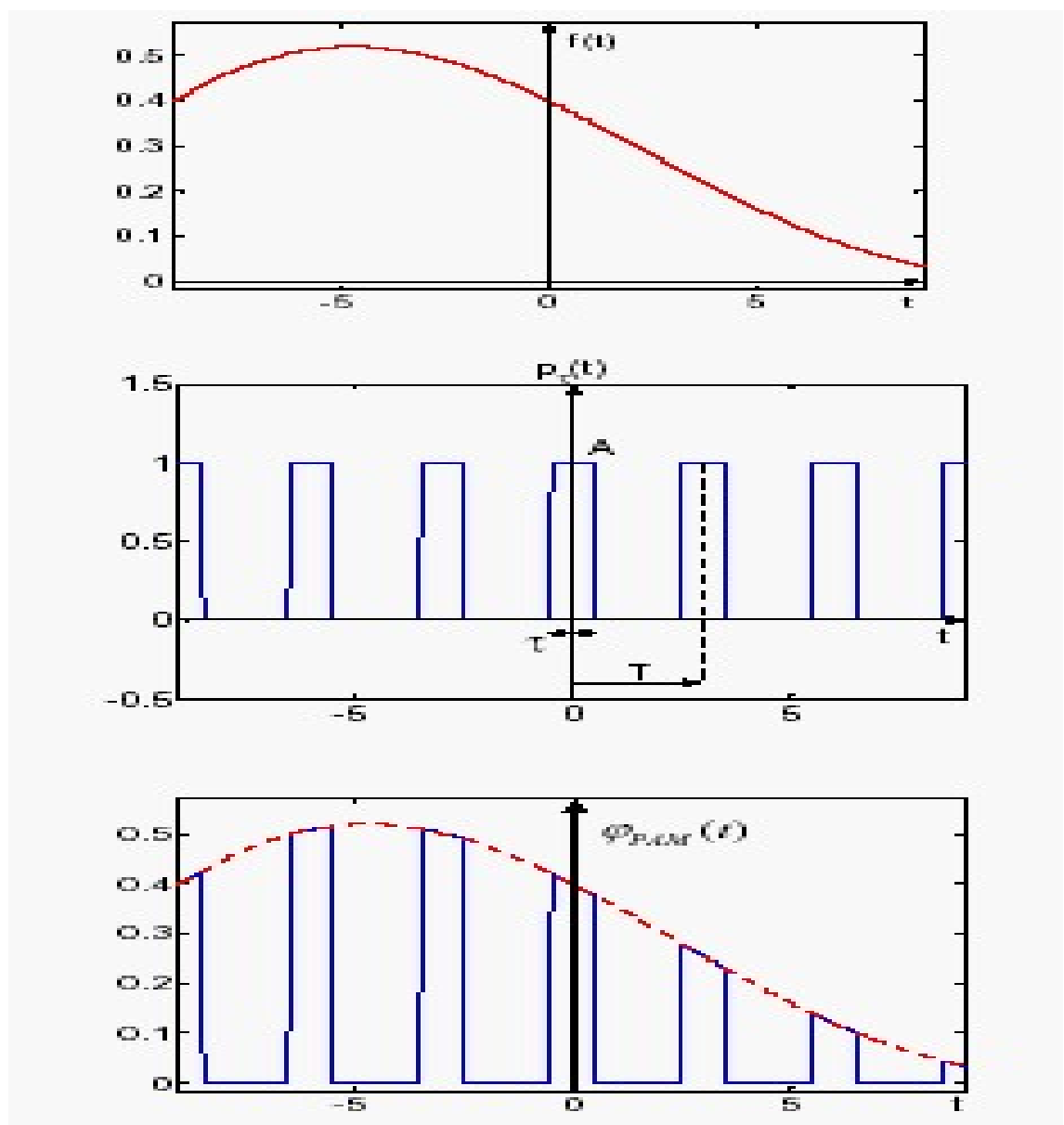
Figura 10: Gráficos de uma Modulação PM no tempo

0.1.3 Modulações por Pulsos

Considerando-se agora um portadora trem-de-pulsos, vemos que além da amplitude, podemos variar a largura e sua posição num período da onda, sem contar que estes, por sua característica binária, admitem uma codificação digital. Assim, a modulação de um trem-de-pulsos pode ser feita alterando as suas formas básicas.

PAM (pulse amplitude modulation) - Modulação da Amplitude dos Pulsos

O sistema PAM é aquele no qual se aplica mais diretamente o conceito de um sinal amostrado e do próprio Teorema de Amostragem, pois o sinal modulado pode ser compreendido como o produto do sinal modulante pelo trem de pulsos da portadora. Os gráficos da figura 11 mostram a modulação PAM.

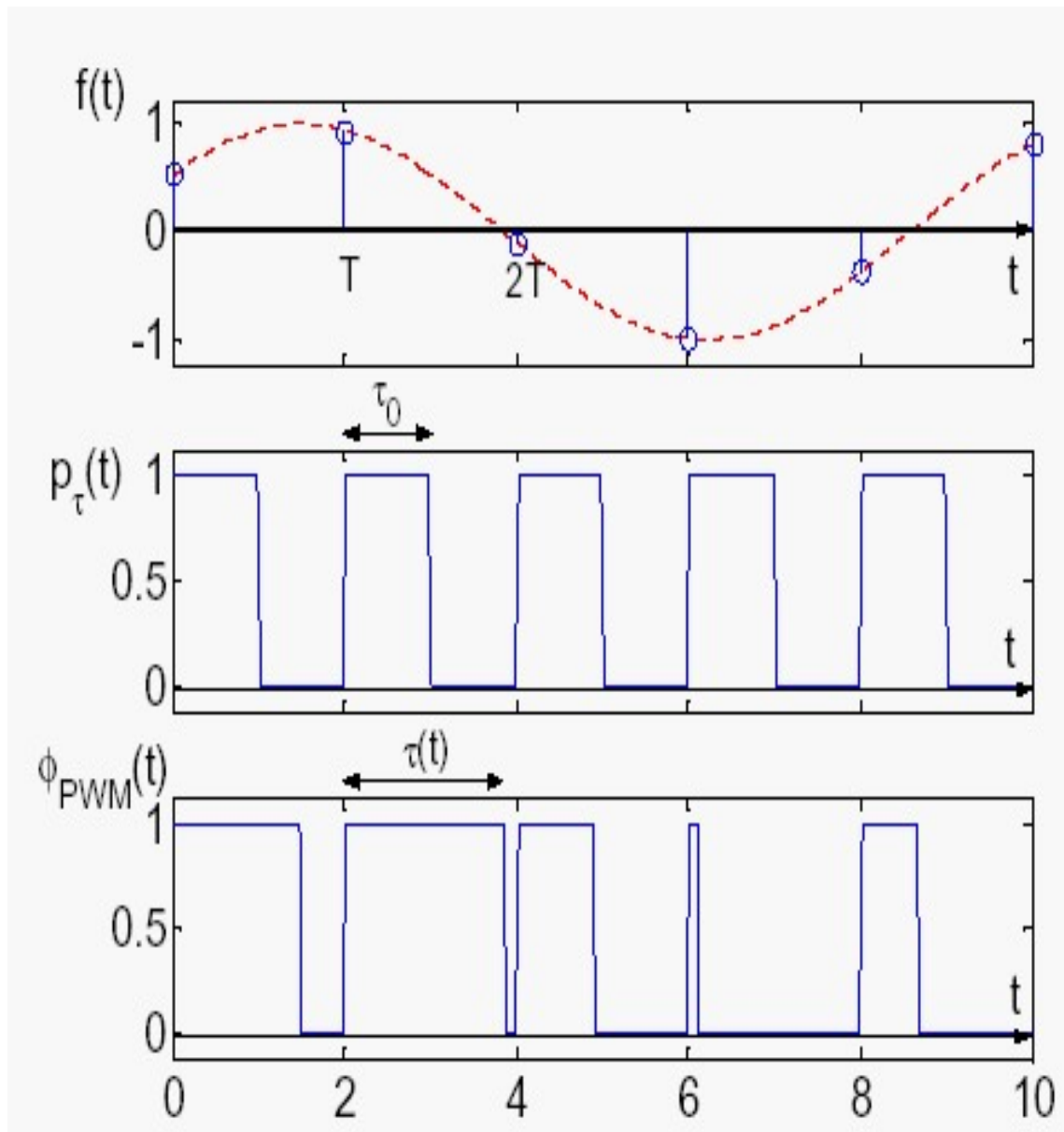


Exemplo 0.8

Figura 11: Gráficos de uma Modulação PAM no tempo

PWM (pulse width modulation) - Modulação da Largura dos Pulsos

O sistema PWM consiste em variar a largura do pulso da portadora, proporcionalmente ao sinal modulante, mantendo constantes a amplitude e o intervalo de tempo a que os pulsos se repetem. Os gráficos da figura 12 mostram a modulação PWM.



Exemplo 0.9

Figura 12: Gráficos de uma Modulação PWM no tempo

PPM (pulse position modulation) - Modulação da Posição dos Pulsos

O sistema PPM consiste em variar a posição do pulso da portadora de acordo com o sinal modulante, mantendo constantes a amplitude e a largura do pulso do sinal modulado. Os gráficos da figura 13 mostram a modulação PPM.

Exemplo 0.10

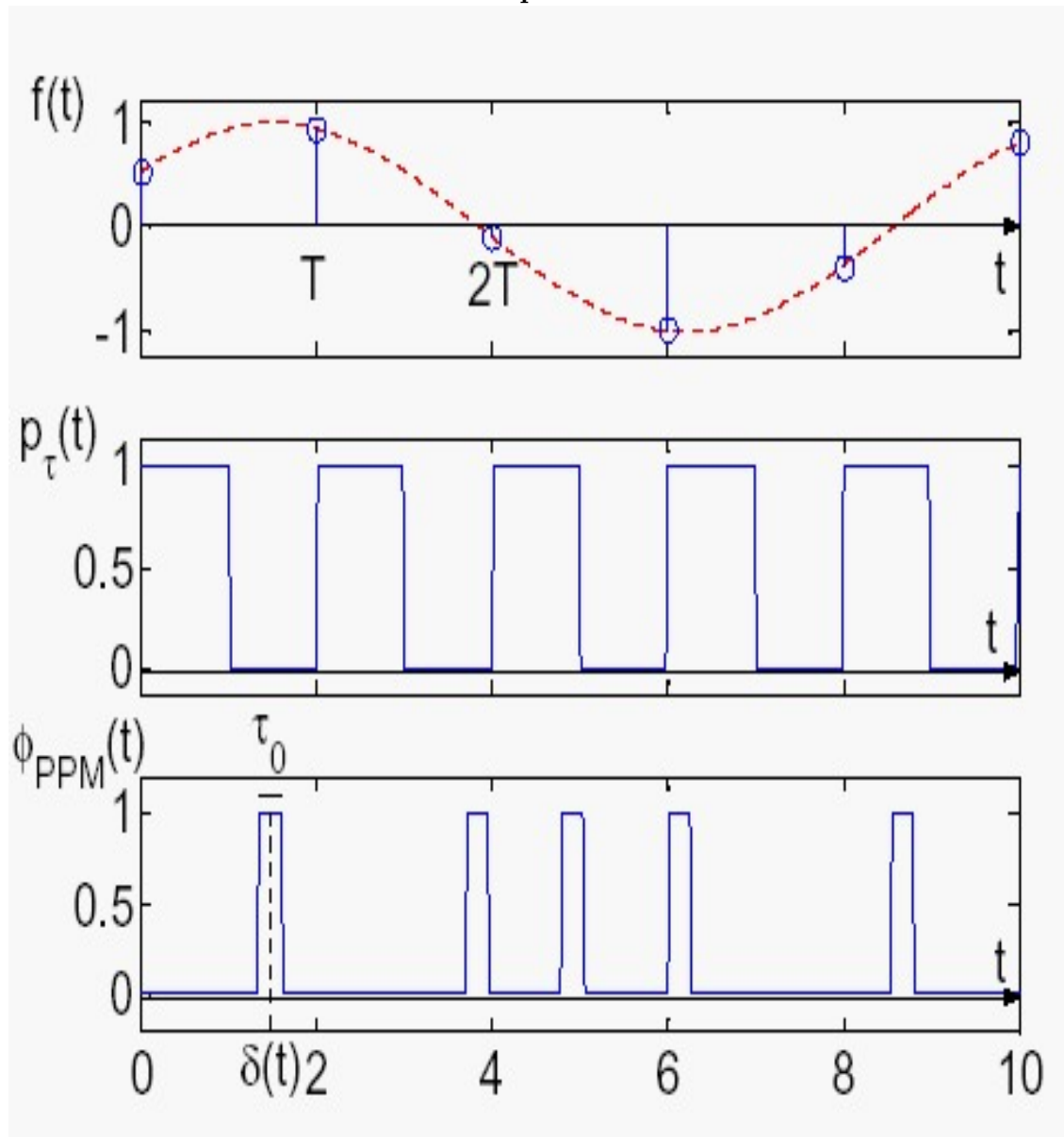


Figura 13: Gráficos de uma Modulação PPM no tempo

PCM(pulse code modulation) - Modulação por Codificação dos Pulsos

A Modulação por Codificação de Pulsos consiste, basicamente, em transformar um sinal analógico em uma sucessão de pulsos que, devido ao seu comportamento de admitir apenas dois níveis distintos, permitem sua codificação em um padrão binário. Esse código binário deve ser capaz de representar os valores amostrados do sinal modulante analógico. A grande vantagem do PCM reside justamente no fato de só haver dois níveis distintos para o sinal modulado, reduzindo-se de forma substancial o ruído que interfere sobre o sinal modulado, pois este pode ser constantemente regenerado, reassumindo sua forma original. Na figura 14 vemos este tipo de modulação.

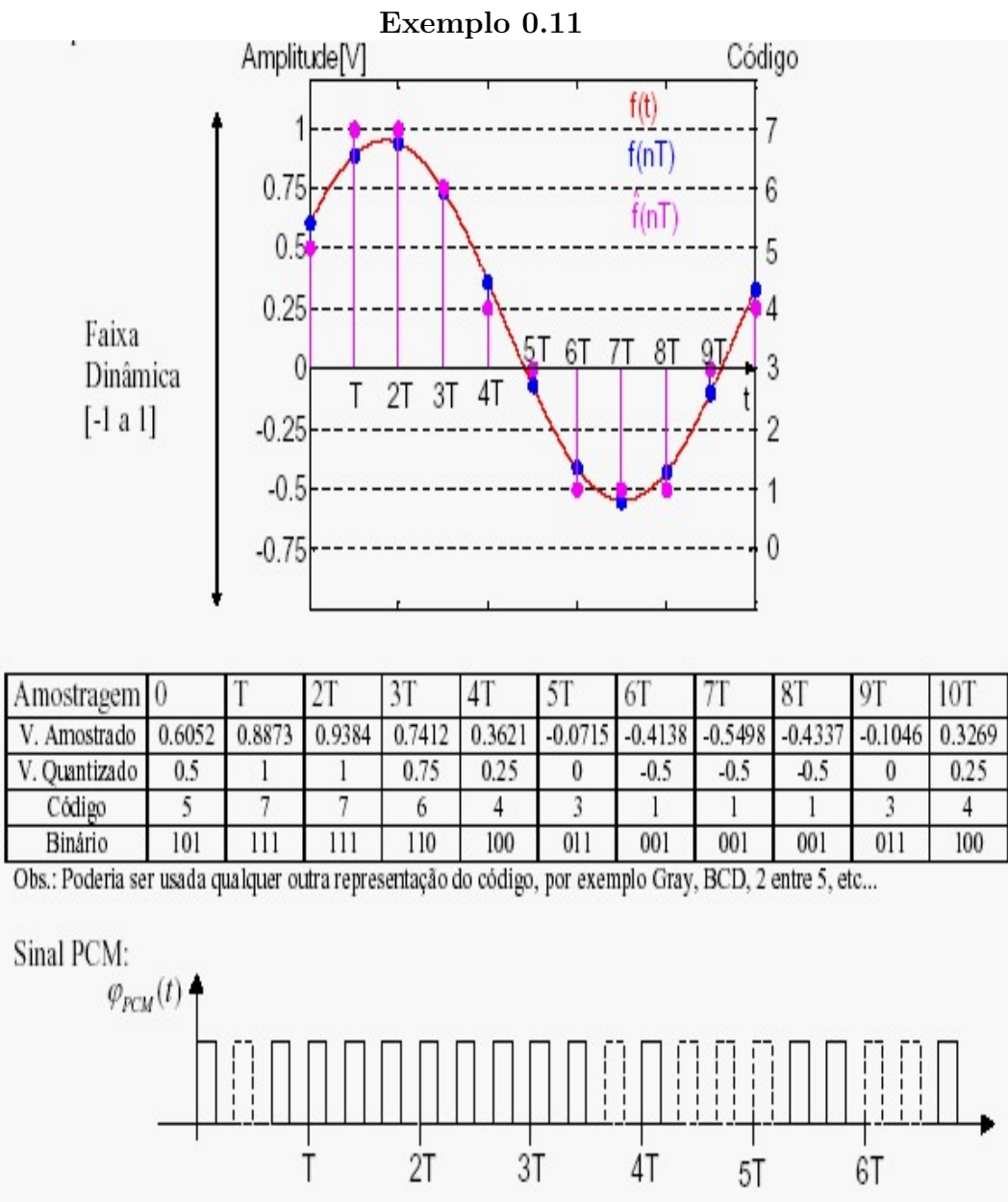


Figura 14: Gráficos de uma Modulação PCM no tempo

0.1.4 Modulações Chaveadas

ASK(Amplitude Shift Keying) - Modulação por Saltos de Amplitudes

É utilizada uma amplitude de portadora para cada possível palavra de informação. No caso binário é utilizada uma amplitude para o bit 1 e outra para o bit 0, este caso pode ser observado na figura 15

Exemplo 0.12

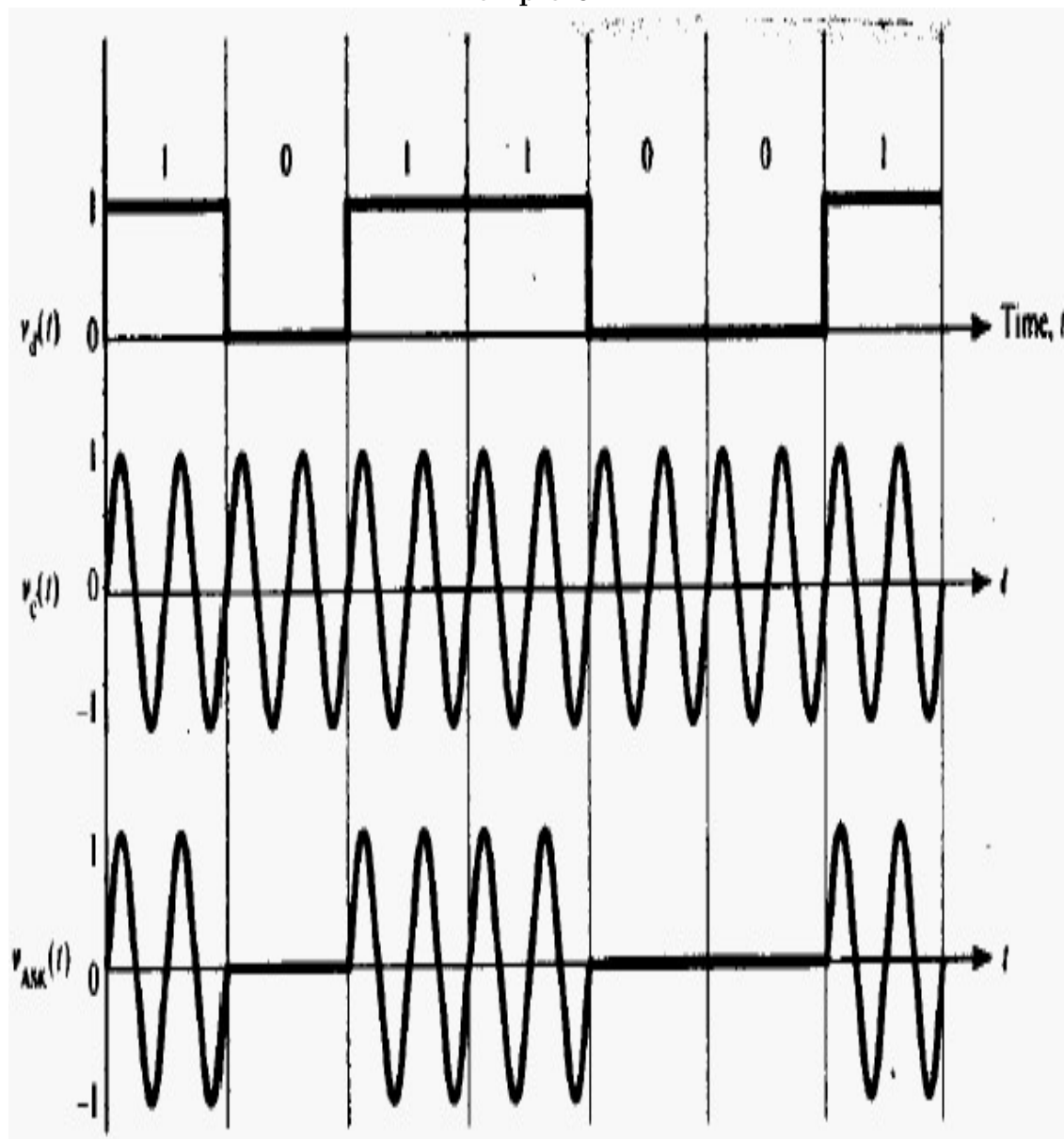


Figura 15: Gráficos de uma Modulação ASK no tempo

FSK(Frequency Shift Keying) - Modulação por Saltos de Frequência

É utilizada frequências diferentes da forma de onda da portadora para codificar os bits 1 e 0, isto pode ser visto na figura 16.

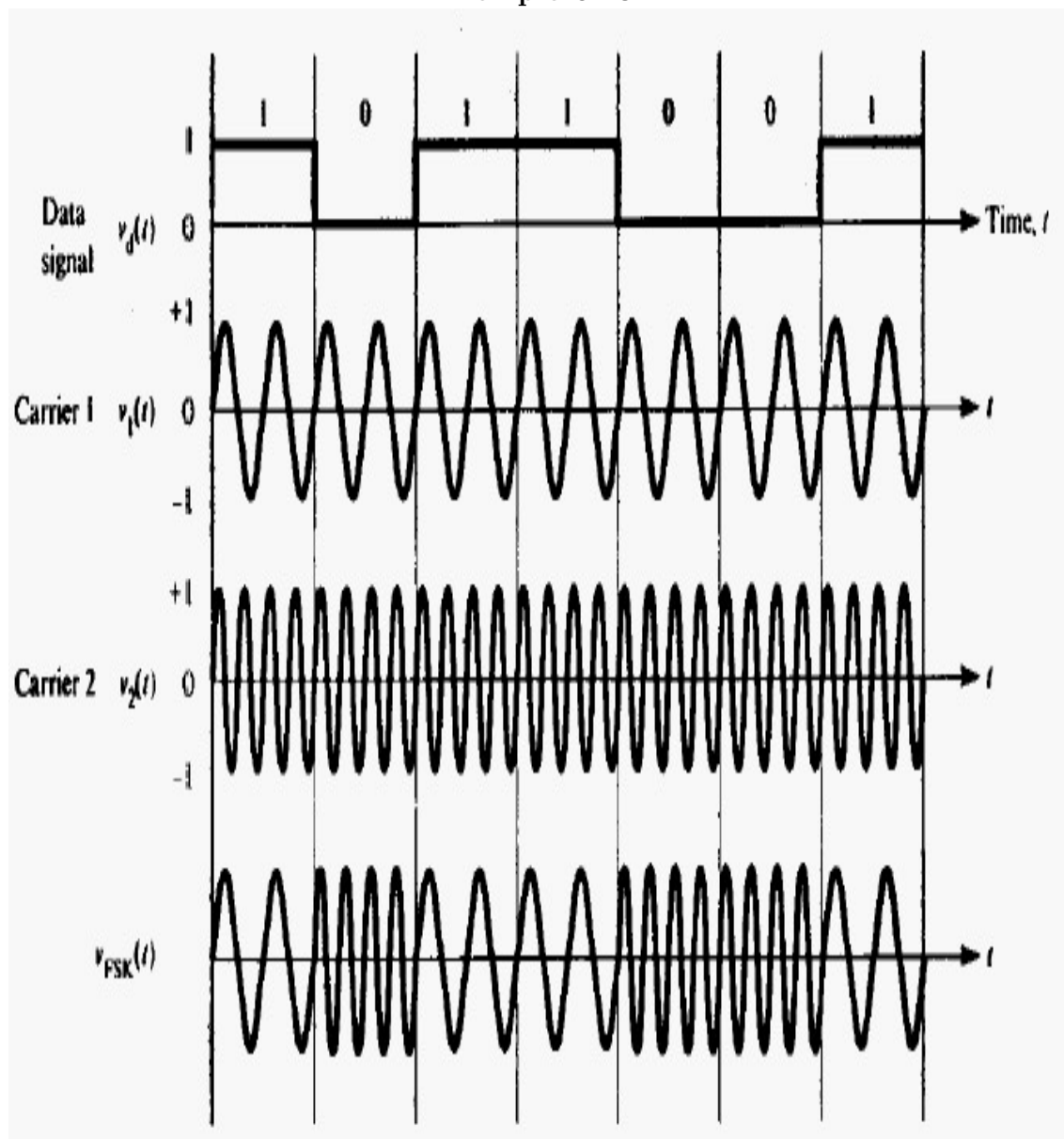
Exemplo 0.13

Figura 16: Gráficos de uma Modulação FSK no tempo

PSK(Phase Shift Keying) - Modulação por Saltos de Fase

É utilizada fases diferentes da forma de onda da portadora para codificar os bits 1 e 0, isto pode ser visto na figura 17

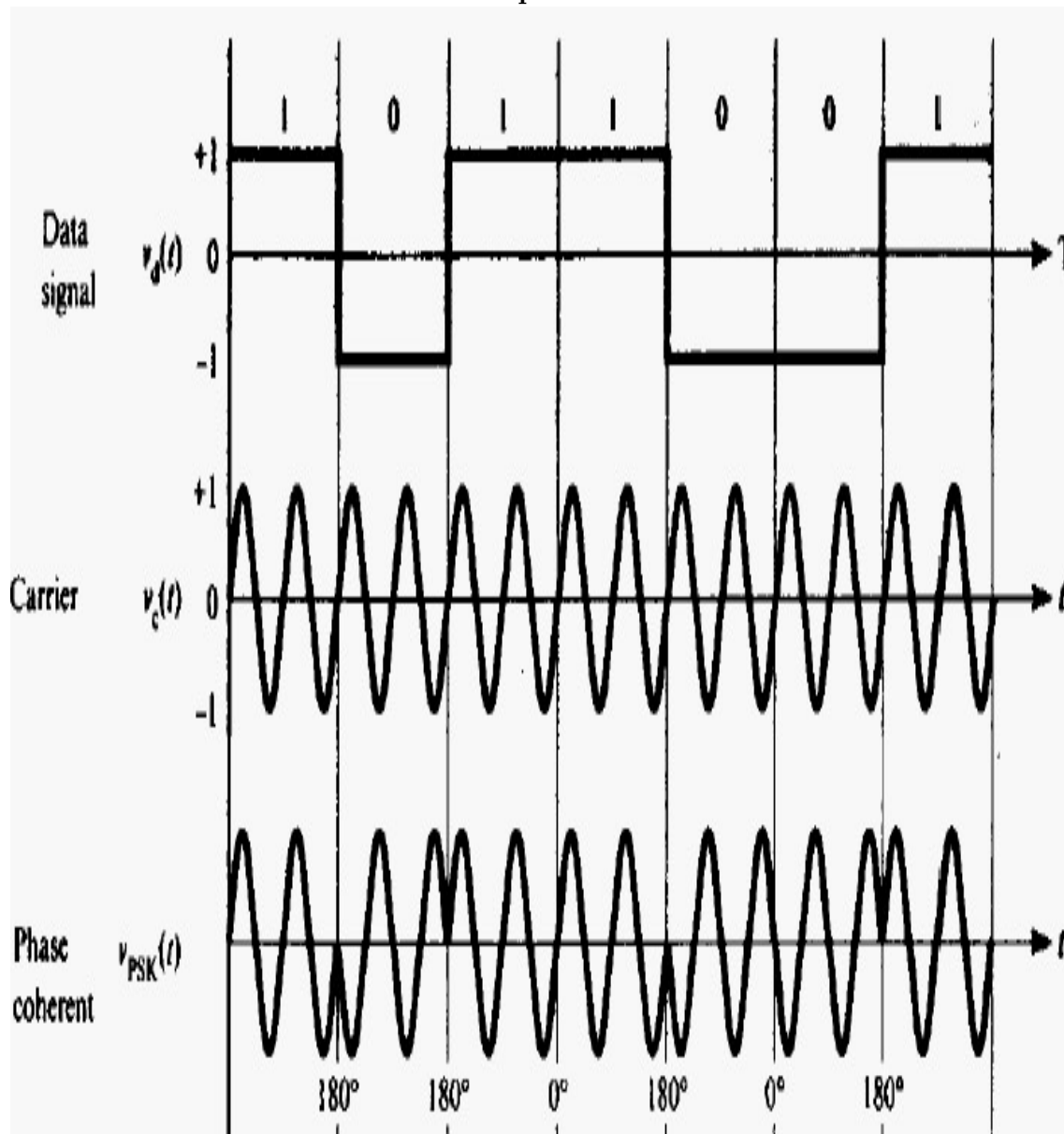
Exemplo 0.14

Figura 17: Gráficos de uma Modulação PSK no tempo

DPSK(Differential Phase Shift Keying) - Modulação por Saltos de Fase Diferencial

Este tipo de modulação é uma variação da modulação PSK, nela existe variação de fase a cada bit transmitido. Isto pode ser visto na figura 18 onde vemos que quando o sinal vai de 0 para 1 ou permanece em 1 a fase varia de 270° e quando o sinal vai de 1 para 0 ou permanece em 0 a fase varia de 90° .

Exemplo 0.15

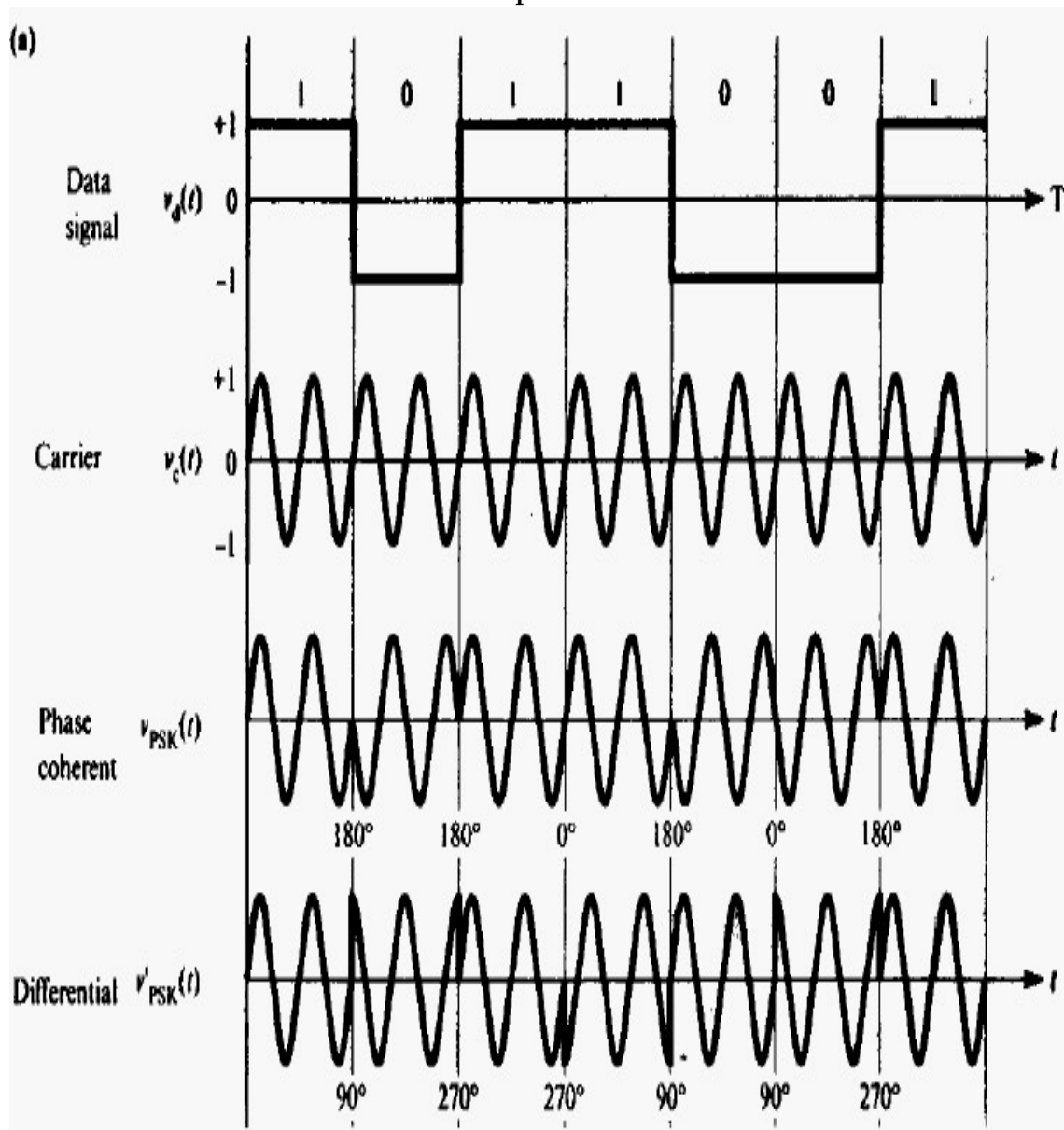


Figura 18: Gráficos de uma Modulação DPSK no tempo