

2 - SISTEMAS AM

2.1 - Introdução

Depois de ter feito o estudo do canal de rádio propagação, mostrando suas características que afetam no sinal de mensagem como o ruído, a interferência, o desvanecimento. E também depois de apresentado seus principais modelos empíricos, determinísticos e estatísticos, será mostrado agora um resumo do estudo dos tipos de sistemas de transmissão e recepção, os quais podem se classificar em: Sistemas Analógicos e Sistemas Digitais.[2],[3],[5],[6]

2.2 – Modulação AMDSB-SC

Um sinal AMDSB-SC e seu espectro de frequências, são definidos de acordo com a Eq. 2.1 abaixo

$$m(t) A_p \cos(\omega_p t) \Leftrightarrow \frac{A_p}{2} [M(\omega - \omega_p) + M(\omega + \omega_p)] \quad (2.1)$$

onde

$m(t)$ - sinal de mensagem;

A_p - amplitude da portadora;

ω_p - frequência da portadora.

em diagramas tem-se

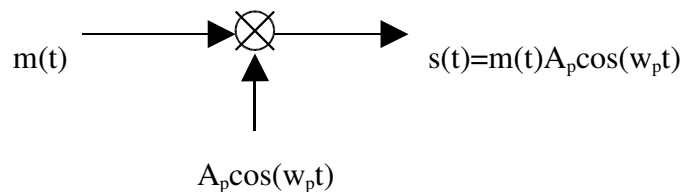


Figura 2.1: Modulador AMDSB-SC

As figuras abaixo exemplificam a modulação AMDSB-SC

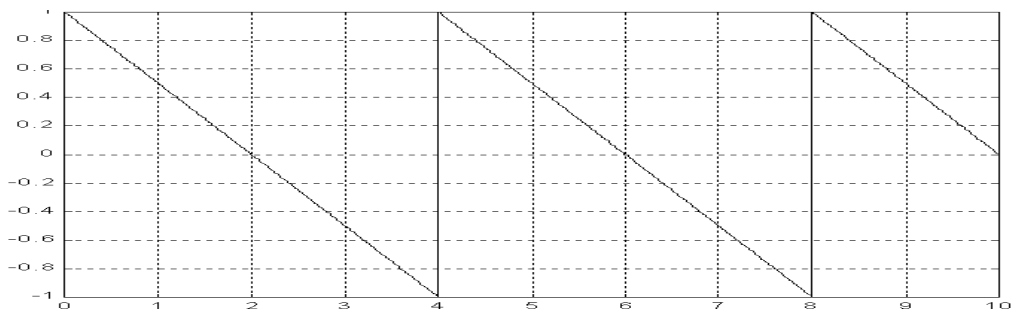


Figura 2.2: Sinal modulador $m(t)$.

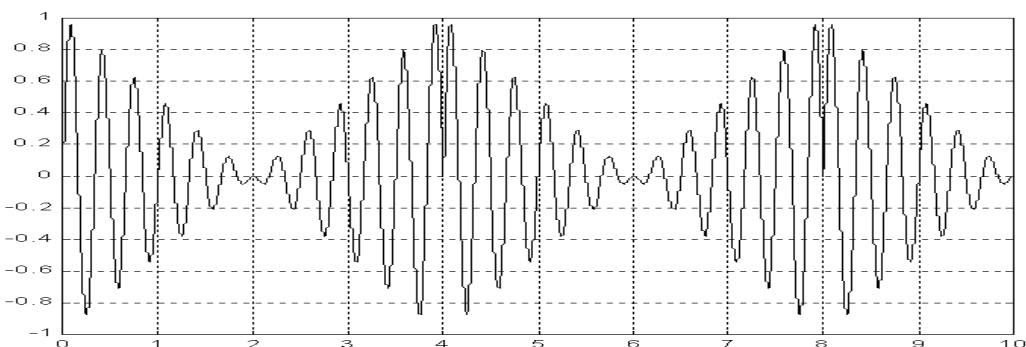


Figura 2.3: Sinal modulado AMDSB-SC.

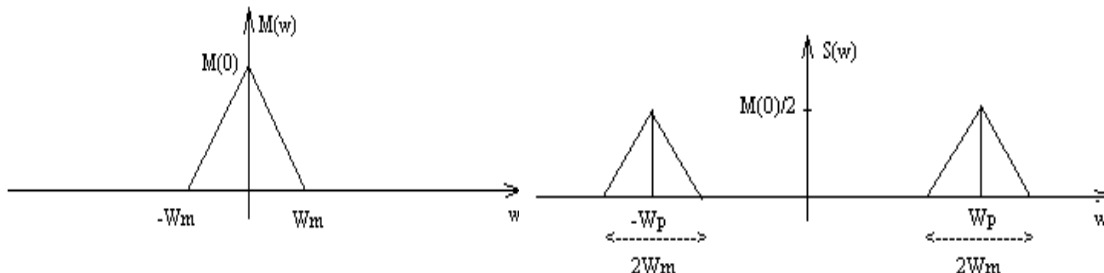


Figura 2.4: Espectro de $m(t)$ e de $s(t)$.

Observa-se na Fig. 2.4 que a amplitude do espectro do sinal original cai para a metade do seu valor quando o sinal é modulado, mas ao mesmo tempo ele é duplicado, quer dizer, aparece nas duas faixas de frequência, positiva e negativa. Tem-se também que o sinal original tem uma faixa de W_m e o sinal modulado uma faixa de $2W_m$. Por isso é chamado de sinal com *dupla faixa lateral* em torno da frequência da portadora (faixa lateral superior e inferior).

No extremo receptor recebe-se este sinal modulado que é passado através do demodulador de sinais AM. Este demodulador apresenta um gerador de portadora local a qual deve estar em sincronismo com o sinal recebido, pois só assim recupera-se o sinal original.

A figura abaixo mostra o processo da demodulação no receptor.

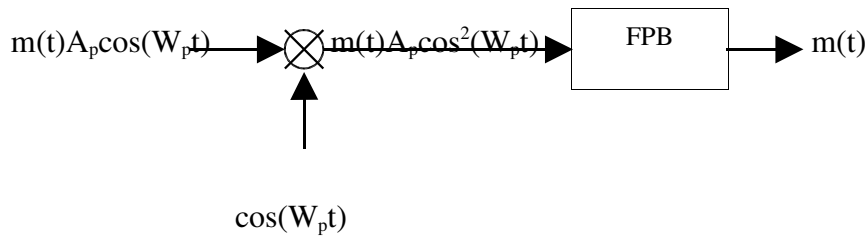


Figura 2.5: Demodulador AMDSB-SC.

A Fig. 2.6 abaixo mostra o espectro de $m(t)A_p \cos^2(W_p t)$. Nela pode-se observar o sinal original em torno da origem e observa-se também as componentes de ordem superior.

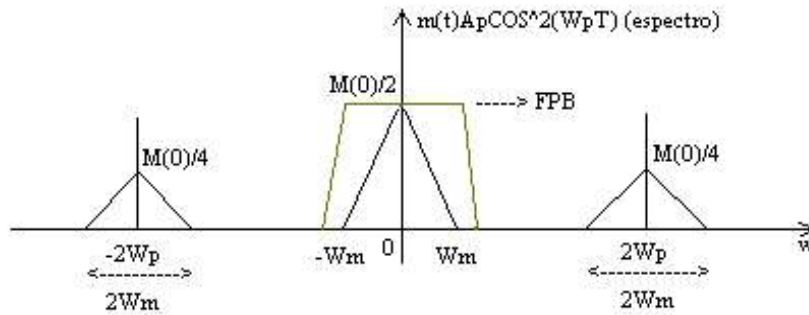


Figura 2.6: Demodulação AMDSB-SC.

sendo o sinal da Fig. 2.6 dado pela Eq. 2.2 abaixo

$$m(t)A_p \cos^2(W_p t) = \frac{A_p}{2} m(t) [1 + \cos(2W_p t)] = \left[\frac{A_p}{2} m(t) + \frac{A_p}{2} m(t) \cos(2W_p t) \right] \quad (2.2)$$

então o espectro desta expressão é dado por

$$m(t)A_p \cos^2(W_p t) \Leftrightarrow \frac{A_p}{2} M(\omega) + \frac{A_p}{4} [M(\omega - 2W_p) + M(\omega + 2W_p)] \quad (2.3)$$

Desta expressão é eliminada a segunda parcela pelo FPB, obtendo assim apenas o sinal $m(t)$ multiplicado por uma constante.

Neste tipo de modulação observamos que o sinal original só pode ser recuperado se o receptor tiver um gerador de portadora local com a mesma frequência e a mesma fase da portadora do sinal modulado. Esta é uma desvantagem deste tipo de sistema pois tem-se que ter um ótimo sincronismo nas frequências das portadoras. Este sistema também é conhecido como síncrono ou coerente.

2.3 - Modulação AMDSB

Neste tipo de modulação, além de multiplicar o sinal por uma portadora senoidal, também é adicionado uma réplica da portadora ao mesmo, esse sinal é definido por

$$s(t) = A_p (1 + k_a m(t)) \cos(w_p t) \quad (2.4)$$

onde

A_p - amplitude da portadora;

$m(t)$ - sinal de mensagem;

K_a - índice de modulação;

W_p - frequência da portadora.

Pode-se gerar um sinal destes da seguinte forma

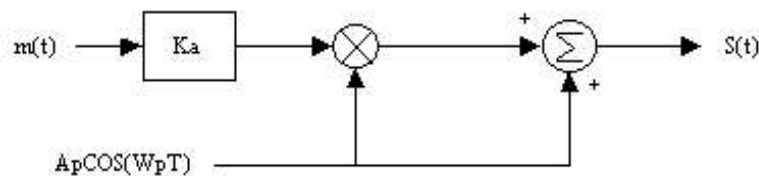


Figura 2.7: Modulador AMDSB.

A modulação AMDSB tem a finalidade de aumentar a potência do sinal enviado pela antena, por isso este sinal também é conhecido com *AM com portadora de alta potência*.

As figuras abaixo mostram um exemplo de um sistema AMDSB.

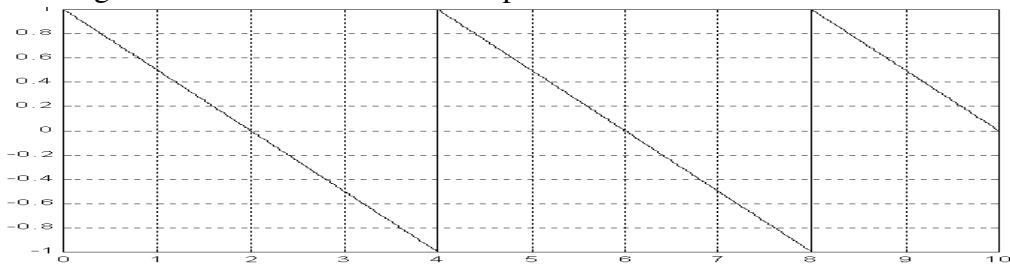


Figura 2.8: Sinal de mensagem no domínio do tempo.

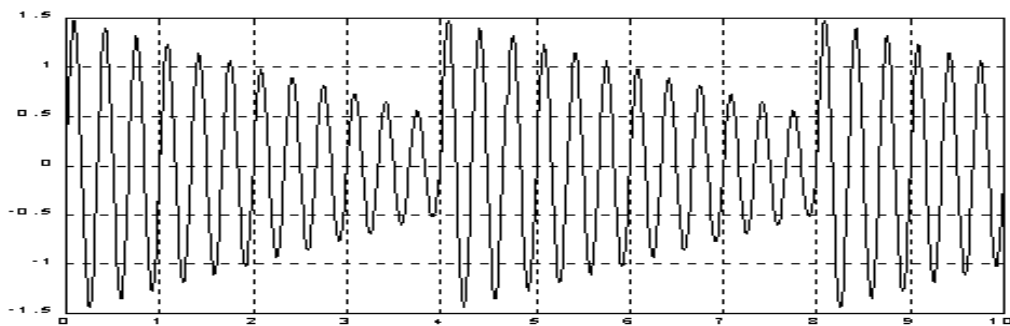


Figura 2.9: Sinal AMDSB.

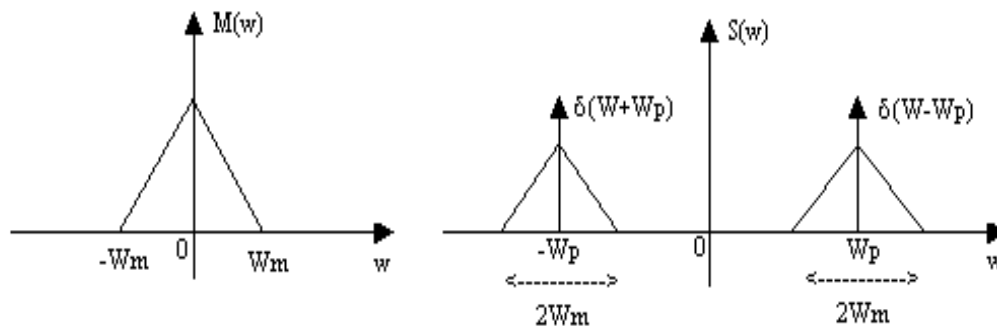


Figura 2.10: Espectro do sinal de mensagem e do sinal modulado.

Para este exemplo o sinal de mensagem varia de 1 à -1 sua amplitude, e a amplitude da portadora tem valor 1. O sinal modulado tem índice de modulação igual à 0.5, desta forma o sinal modulado varia de 0.5 até 1.5.

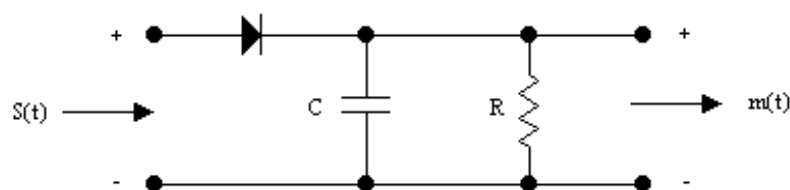
Neste caso a envoltória do sinal modulado é o próprio sinal de mensagem. E esta envoltória pode ser retirada deste sinal por um detetor de envoltória. Observa-se nos gráficos da Fig. 10 que o espectro da faixa do sinal de mensagem é W_m e do sinal modulado é o dobro ($2W_m$) igual ao caso do AMDSB-SC, a diferença está na portadora central incluída.

O espectro do sinal AMDSB é dado pela seguinte expressão

$$S(\omega) = \frac{A_p k_a}{2} [M(\omega + \omega_p) + M(\omega - \omega_p)] \quad (2.5)$$

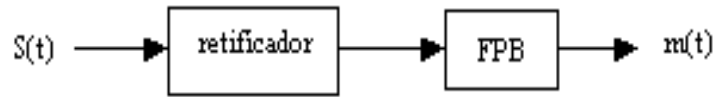
A demodulação deste sinal pode ser obtida da mesma forma que foi feito com o sinal AM com portadora suprimida com o gerador local síncrono e com um filtro passa baixa.

Este sinal também pode ser demodulado de uma forma mais simples, tem-se apenas que ter um circuito que retire a envoltória do sinal o qual é o próprio sinal de mensagem. Este



circuito é composto por um retificador e um filtro passa baixa.

Figura 2.11: Circuito detector de envoltória.



em diagrama de blocos tem-se

Figura 2.12: Detetor de envoltória.

Para demodular o sinal desta forma, tem-se que escolher um índice de modulação (k_a) apropriado.

As figuras abaixo mostram um exemplo de um sinal AMDSB para três valores de índice de modulação diferente quando o sinal modulador é uma senóide (Eq. 2.6).

$$S(t) = A_p \left(1 + k_a \cos(w_m t) \right) \cos(w_p t) \quad (2.6)$$

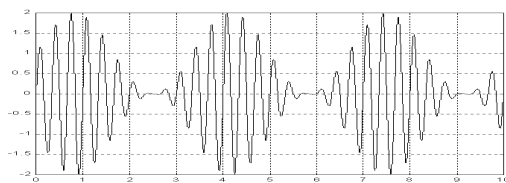


Figura 2.13: Modulação com índice $k_a=1$.

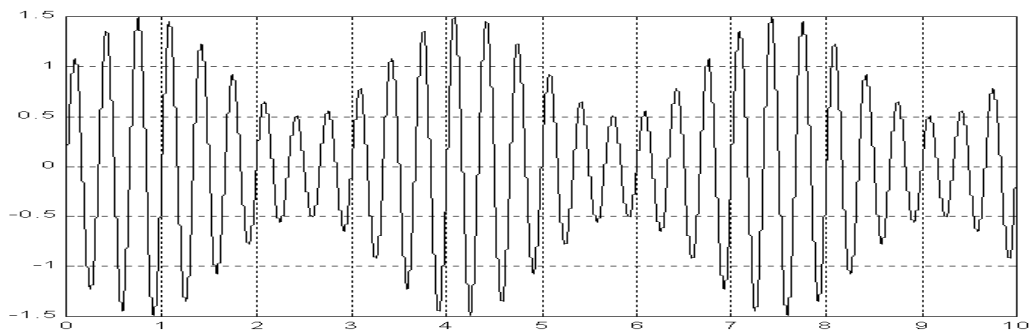


Figura 2.14: Modulação com índice $k_a=0.5$.

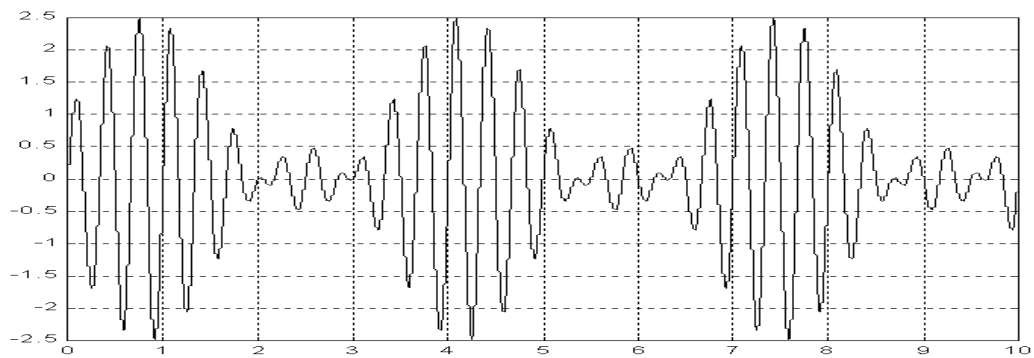


Figura 2.15: Modulação com índice $k_a=1.5$.

Destes gráficos observa-se que no primeiro caso ($k_a=1$) e no segundo ($k_a=0.5$), consegue-se detectar sua envolvente com o detetor de envoltória. Já no terceiro caso ($k_a=1.5$) a envolvente não corresponde ao sinal original, não podendo, portanto, recuperar o sinal por um detetor de envoltória.

2.4 - Outras formas de gerar sinais AM

Pode-se gerar um sinal AM adicionando o sinal de mensagem com a portadora, e esta soma passando por um dispositivo não-linear e depois por um filtro passa faixa (FPF). A

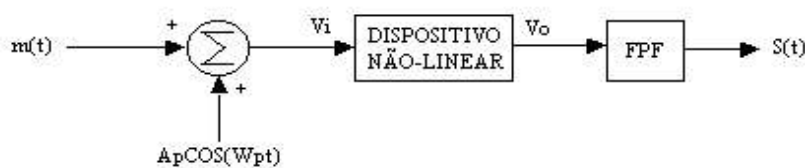
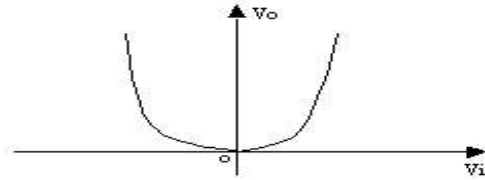


figura abaixo mostra o diagrama de blocos deste tipo de modulação.

Figura 2.16: Modulador AM.

Figura 2.17: Curva de resposta do dispositivo não-linear.

A relação do dispositivo não-linear é de lei quadrática dada por



$$v_o = b v_i^2 \quad (2.7)$$

como

$$v_i = m(t) + A_p \cos(p t) \quad (2.8)$$

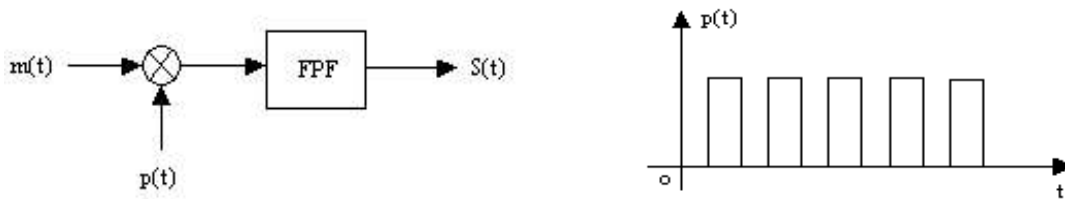
substituindo na relação quadrática, obtém-se

$$v_o = b \left(m(t) + A_p \cos(p t) \right)^2 = b m^2(t) + 2 b A_p m(t) \cos(p t) + b A_p^2 \quad (2.9)$$

passando o segundo membro da Eq. 2.9 pelo filtro, obtém-se

$$S(t) = 2 b A_p m(t) \cos(p t) \quad (2.10)$$

Também pode-se obter um sinal AM chaveando o sinal de mensagem, chaveando, o quê equivale matematicamente a multiplicar o sinal por um trem de pulsos. Depois desta multiplicação passa-se o sinal resultante através de um filtro passa faixa e depois obtém-se o



sinal modulado.

Figura 2.18: Modulador por trem de pulsos e os pulsos.

O sinal $p(t)$ é um trem de pulsos com uma frequência igual a que se deseja para a frequência da portadora.

Para este modulador tem-se o seguinte

$$m(t) p(t) \Leftrightarrow \sum_{n=-\infty}^{+\infty} p_n M(-n p) \quad (2.11)$$

onde

$$p_n = \frac{1}{2} \text{Sa}\left(\frac{n}{2}\right) \quad (2.12)$$

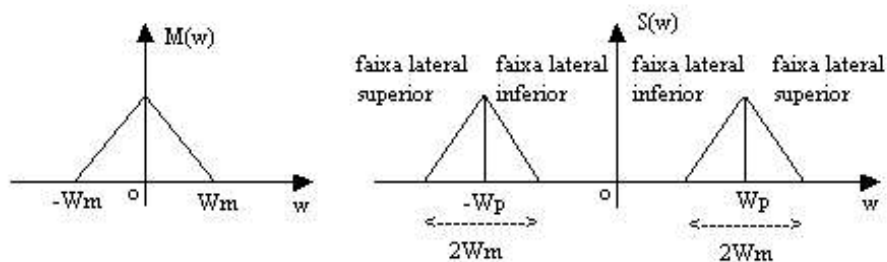
Passando $m(t)p(t)$ por um filtro passa faixa, obtém-se

$$S(\omega) = p_1 \left[M(\omega - \omega_c) + M(\omega + \omega_c) \right] \quad (2.13)$$

que é o próprio sinal modulado.

2.5 - Sistemas AM de faixa lateral única

Os sinais AM estudados até aqui tem uma faixa de transmissão que é igual a duas vezes a faixa do sinal de mensagem, isto quer dizer que há uma redundância de informação. Estes sinais AM são conhecidos como sinais de faixa lateral dupla, onde estas faixas se encontram em torno da frequência da portadora e são chamadas de faixa lateral superior e faixa lateral inferior, a figura abaixo mostra o espectro do sinal original e as faixas laterais do

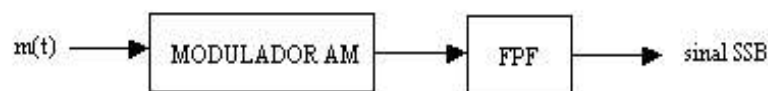


respectivo sinal AM.

Figura 2.19: Sinal original e sinal AM com suas faixas laterais.

Já os sinais AMSSB transmitem apenas uma das duas faixas, superior ou inferior, onde a informação do sinal está contida em qualquer uma das faixas. Desta forma a faixa de transmissão deste sinal será a metade da faixa que é utilizado no AMDSB, então esta faixa será apenas W_m que a própria do sinal original em banda base. Esta é uma das vantagens do AMSSB, ocupam menos espaço no espectro eletromagnético.

Para gerar-se um sinal destes temos que eliminar uma das faixas do sinal AMDSB, e consegue-se isto passando este sinal por um filtro passa faixa adequado, o qual permitirá a passagem das faixas laterais desejadas. O filtro requerido deverá ter uma característica próxima a de um filtro ideal. O diagrama abaixo representa esta modulação.



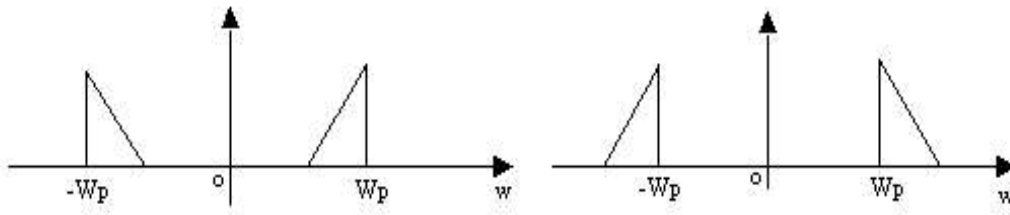


Figura 2.21: Sinais AMSSB.

O espectro destes sinais tem as seguintes expressões

$$S(w) = M(w - w_p)u(w_p - w) + M(w + w_p)u(w + w_p) \quad \text{Faixa lateral superior} \quad (2.14)$$

$$S(w) = M(w - w_p)u(w - w_p) + M(w + w_p)u(-w - w_p) \quad \text{Faixa lateral inferior} \quad (2.15)$$

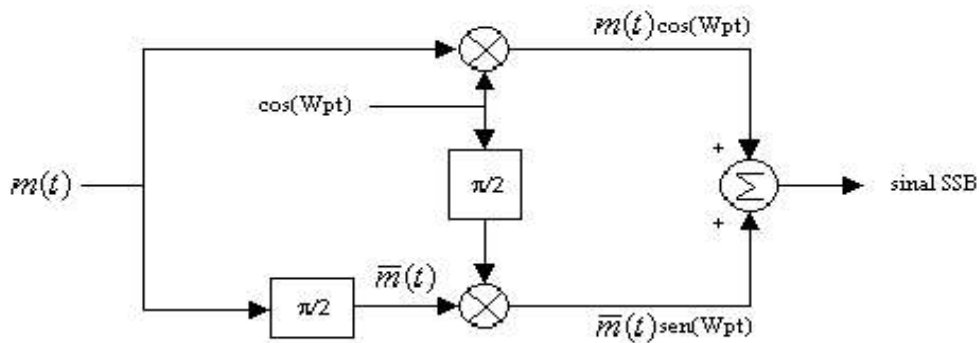
Calculando as suas transformadas inversas, tem-se a seguinte expressão deste sinal no domínio do tempo

$$S_{ssb}(t) = m(t) \cos(w_p t) \pm \bar{m}(t) \sin(w_p t) \quad (2.16)$$

onde

$$\bar{m}(t) = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{m(\tau)}{t - \tau} d\tau \quad (2.17)$$

Além de obter-se um sinal AMSSB como mostra a Fig. 2.20, pode-se gerar também através do método da defasagem. Onde este método é obtido a partir da expressão do sinal



SSB, desta forma obtém-se o seguinte diagrama de blocos.

Figura 2.22: Modulador SSB.

Estas são as formas de gerar um sinal AMSSB, mas existe também uma outra forma conhecida como SSB de faixa lateral vestigial, onde é um sinal AMDSB que é passado por um FPF o qual é de tal forma que na demodulação o sinal é reconstituído perfeitamente, isto se deve à característica do filtro não ideal onde na frequência de corte a variação do espectro é gradual.

Este tipo de modulação é bem mais simples, se comparado com o SSB, pois precisa-se de apenas um modulador balanceado e um filtro que tenha esta característica.

Todos estes sinais SSB podem ser do tipo com ou sem portadora adicional, ou seja, dos tipos assíncrono ou síncrono.

2.6 - Sistemas AM na presença do ruído aditivo

Para analisar-se o desempenho dos sistemas na presença do ruído aditivo, tem-se que calcular as *relações sinal ruído* (RSR) na entrada e na saída dos demoduladores e compará-las. As relações abaixo são utilizadas para análise de desempenho

$$(RSR)_i = \frac{\text{Potência do sinal na entrada do demodulador}}{\text{Potência do ruído na entrada do demodulador}} \quad (2.18)$$

$$(RSR)_o = \frac{\text{Potência do sinal na saída do demodulador}}{\text{Potência do ruído na saída do demodulador}} \quad (2.19)$$

$$FI = \frac{(RSR)_o}{(RSR)_i} \quad (2.20)$$

onde

S_i - Potência do sinal na entrada do demodulador;

S_o - Potência do sinal na saída do demodulador;

N_i - Potência do ruído na entrada do demodulador;

FI - Figura de mérito.

Quando o sinal é recebido existe antes do demodulador um FPF, que deixa passar apenas a faixa do sinal útil e eliminando o ruído que está fora desta faixa.

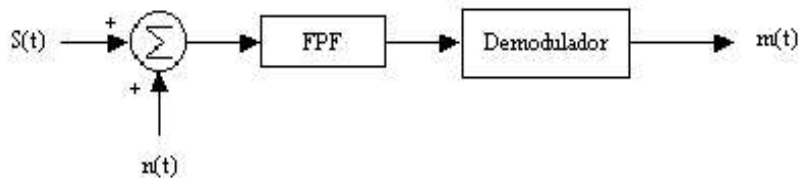


Figura 2.23: Receptor AM.

A Fig. 2.23 mostra o esquema do receptor. Na verdade o sinal de saída não é apenas $m(t)$, e sim ele somado com um ruído.

As tabelas abaixo mostram um resumo dos resultados da análise dos sistemas AMDSB e AMSSB para o caso em que não há portadora adicional.

	S	N	RSR	FM
ENTRADA	$P_m/2$	N_i	$P_m/(2N_i)$	
SAÍDA	$P_m/4$	$N_i/4$	P_m/N_i	2

Tabela 2.1: Desempenho do AMDSB sem portadora adicional.

	S	N	RSR	FM
ENTRADA	P_m	N_i	P_m/N_i	
SAÍDA	$P_m/4$	$N_i/4$	P_m/N_i	1

Tabela 2.2: Desempenho do AMSSB sem portadora adicional.

Para os sistemas AMDSB o desempenho é dado pelas equações abaixo

$$RSR_i = \frac{A_p^2 (1 + P_m)}{2 W_m} \quad (2.21)$$

$$RSR_0 = \frac{A_p^2 P_m}{2 W_m} \quad (2.22)$$

A figura de mérito é dada por

$$FM = \frac{RSR_0}{RSR_i} = \frac{P_m}{1 + P_m} = \frac{2}{2 + \frac{2}{P_m}} \quad (2.23)$$

Nesta última relação tem-se que $\eta = k_a A_m$ isto para o caso em que $m(t) = A_m \cos(W_m t)$, pois neste caso tem-se

$$P_m = \frac{k_a^2 A_m^2}{2} = \frac{2}{2 + \frac{2}{P_m}} \quad (2.24)$$

onde P_m é dado apenas em função de η .

2.7 - Efeito de multipercurso em sistemas AM

Agora a análise é para os sistemas AM na presença do efeito de multipercurso, para isto considere a envoltória do sinal AM dada por

$$y(t) = a_r(t) A_p [1 + k_a m(t)] \quad (2.25)$$

onde $a_r(t)$ simbolizaremos por r . Nota-se que r é uma variável aleatória com uma distribuição de *Rayleigh* onde sua distribuição de probabilidade é dada por

$$p(r) = \frac{r}{2} \exp\left(-\frac{r^2}{2}\right) \quad (2.26)$$

A partir desta representação da envoltória do sinal, calcula-se o valor médio dela na saída do receptor

$$\bar{y}(t) = A_p [1 + k_a m(t)] \sqrt{\frac{1}{2}} \quad (2.27)$$

a supressão do ruído sobre o sinal é definida por

$$n_s(t) = y(t) - \bar{y}(t) = A \left(r - \sqrt{\frac{1}{2}} \right) [1 + k_a m(t)] \quad (2.28)$$

Pode ser mostrado a seguinte relação

$$SSN = \frac{\overline{y^2(t)}}{\overline{n_s^2(t)}} = \frac{P_m}{1 + P_m \left(2 - \frac{1}{2} \right)} \quad (2.39)$$

O sinal de mensagem pode usualmente ser assumido na ordem de 0.1. Então, a SSN é aproximadamente 0.333, correspondendo a uma potência do ruído de supressão do sinal de três vezes maior que a potência do sinal. Isto mostra o efeito desastroso do multipercurso em sistemas AM.