

PRÁTICA 8

MODULADOR AM-DSB/SC

OBJETIVOS

- ▶ Observar na prática os conceitos da modulação AM-DSB/SC.
- ▶ Verificar experimentalmente o funcionamento de um modulador AM-DSB/SC.

TEORIA

Noções sobre modulação AM-DSB/SC

Esse tipo de modulação 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. Na modulação AM-DSB/SC, o princípio da economia de potência é a supressão da portadora, fazendo com que a potência do sinal modulado seja destinada às raíais laterais que contêm a informação. A obtenção desse sinal ocorre por meio do produto de dois sinais cossenoidais, que gera outro par de cossenoides. Assim, na modulação AM-DSB/SC, tem-se:

$$e(t) = K e_0(t) e_m(t) \quad (11.1)$$

em que K é a constante do circuito modulador, que permite que a multiplicação de duas tensões resulte em outra tensão. Daí:

$$e(t) = K E_m \cos(\omega_m t) E_0 \cos(\omega_0 t) \quad (11.2)$$

A Equação 11.2 pode ser reescrita da seguinte maneira:

$$e(t) = \frac{K E_m E_0}{2} \cos[(\omega_0 + \omega_m)t] + \frac{K E_m E_0}{2} \cos[(\omega_0 - \omega_m)t] \quad (11.3)$$

em que $f_0 \gg f_m$.

A Equação 11.3 é a equação do sinal modulado AM-DSB/SC. Outros pontos a respeito dele devem ser discutidos.

O sinal modulante e a portadora têm formas de onda conhecidas, que são mostradas na Figura 11.1.

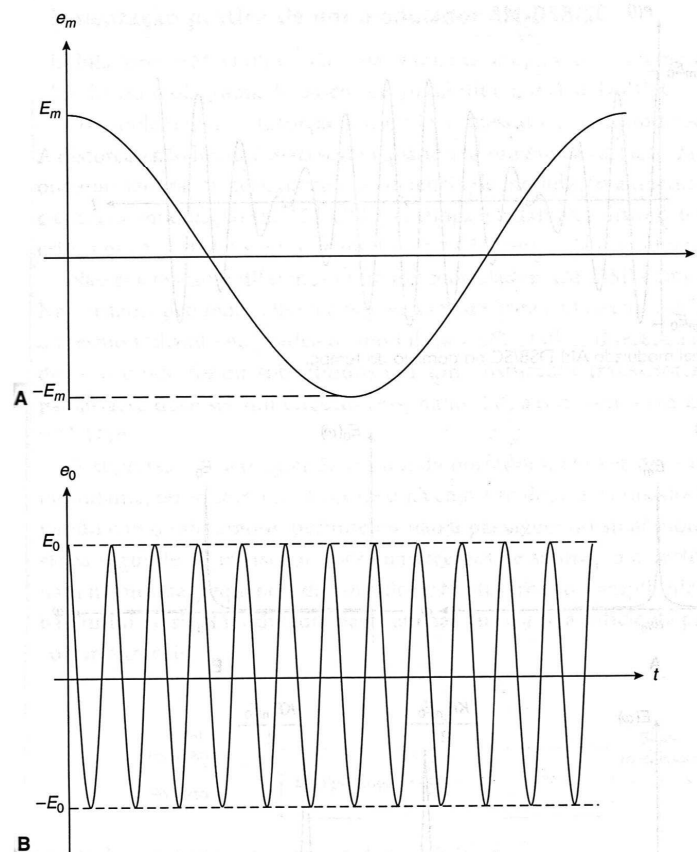


Figura 11.1 Formas de onda: (a) sinal modulante e (b) portadora.

A Figura 11.2 mostra a obtenção do sinal modulado, colocado em fase com $e_0(t)$ e $e_m(t)$. A partir da Equação 11.3 pode-se notar a ausência da raia na frequência da portadora. Assim, pode-se obter a formação do espectro do sinal modulado, conforme ilustrado na Figura 11.3.

O espectro de potência do sinal modulado é mostrado na Figura 11.4.

Observe que toda potência contida no sinal modulado pertence às raíais que contêm a informação, já que não existe portadora. Consequentemente, a eficiência de transmissão será de 100 %, com a potência dividida entre as duas bandas laterais.

Embora apresente melhor eficiência de modulação, o processo AM-DSB-SC é mais suscetível a distorções.

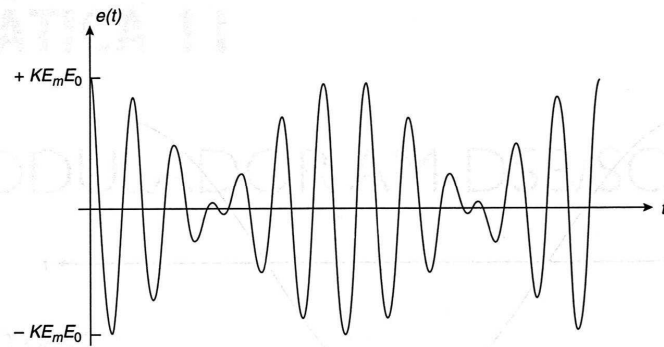


Figura 11.2 Sinal modulado AM-DSB/SC no domínio do tempo.

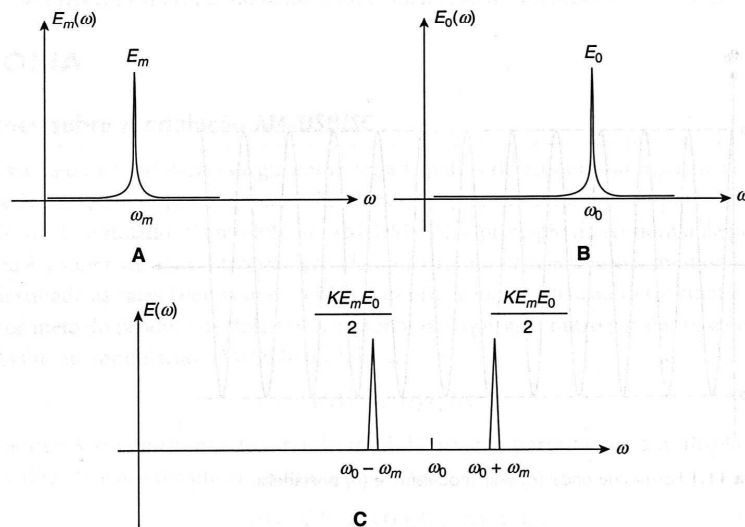


Figura 11.3 Espectros de amplitude da modulação AM-DSB/SC: (a) do sinal modulante, (b) da portadora e (c) do sinal modulado.

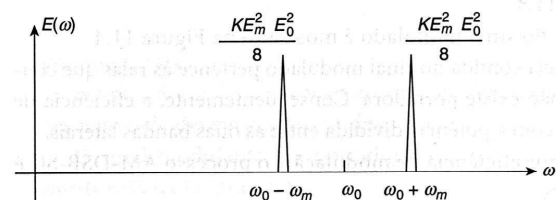


Figura 11.4 Espectro de potência do sinal AM-DSB/SC.

Implementação prática de um modulador AM-DSB/SC

Moduladores AM-DSB/SC são relativamente simples de implementar. A Figura 11.5 ilustra o diagrama de blocos de um modulador AM-DSB/SC.

Os problemas com distorção linear são os mesmos que na modulação AM-DSB. A distorção não linear é mais severa quando se aumenta a variação da amplitude da onda portadora, ou seja, quando a eficiência de modulação aumenta. Como a eficiência de modulação em AM-DSB/SC atinge o máximo, a distorção torna-se mais crítica que nos demais tipos de modulação AM com onda portadora.

Não existe muita diferença entre um modulador AM-DSB e um AM-DSB/SC. Na verdade, pequenas alterações precisam ser feitas. O circuito da Figura 11.6 é o mesmo utilizado na prática de modulação AM-DSB. A diferença é que o somador e o diodo foram substituídos por um misturador transistorizado. O filtro passa-faixa deve ser um circuito ressonante LC, assim como era no modulador AM-DSB.

A supressão ocorre quando o sinal da portadora, em vez de somado ao sinal modulante, serve como controle de uma chave analógica (transistor) que, funcionando como misturador, permite ou não a passagem do sinal modulante para a etapa seguinte. O transistor opera nas regiões de saturação e corte que se alternam na mesma frequência da portadora. Neste circuito a amplitude da portadora não influi no sinal modulado. Basta apenas que ela seja suficiente para saturar ou cortar o transistor.



Figura 11.5 Diagrama de blocos de um modulador AM-DSB/SC.

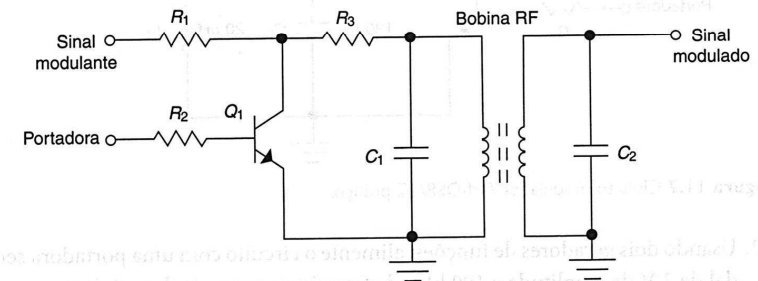


Figura 11.6 Circuito modulador AM-DSB/SC.

O fator de supressão de portadora (FSP) serve para medir a eficiência com que um circuito modulador AM-DSB/SC suprime a portadora e corresponde a um valor dado em dB. Esse fator é calculado como:

$$\text{FSP} = 20 \log \left[\frac{E_{\text{máx}}(\text{DSB/SC})}{E_{\text{máx}}(e_m = 0)} \right] \quad (11.4)$$

em que $E_{\text{máx}}(\text{DSB/SC})$ é o valor máximo do sinal modulado e $E_{\text{máx}}(e_m = 0)$ é o valor máximo na saída com a entrada do sinal modulante aterrada.

A presença da portadora pode ser considerada satisfatoriamente desprezível quando $\text{FSP} \geq 15$ dB. Valores menores indicam que o circuito não está suprimindo a portadora de forma satisfatória.

MATERIAL EXPERIMENTAL

Dois geradores de sinais

Osciloscópio digital

Dois resistores de $1,0 \text{ k}\Omega$

Um resistor de 47Ω

Um capacitor de 120 nF

Um capacitor de 10 nF

Um indutor de $20 \mu\text{H}$

Um transistor BC548

PARTE PRÁTICA

1. Monte o circuito da Figura 11.7:

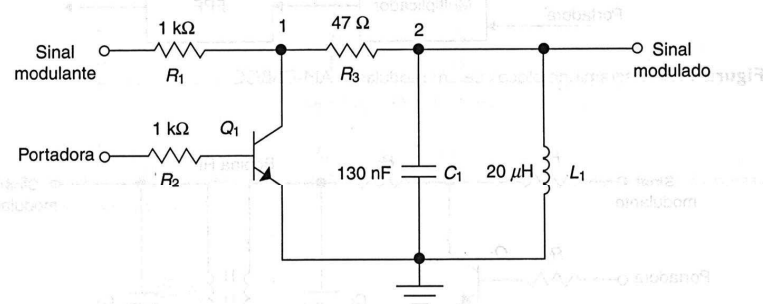


Figura 11.7 Circuito modulador AM-DSB/SC prático.

2. Usando dois geradores de funções, alimente o circuito com uma portadora senoidal de 2 V de amplitude e 100 kHz de frequência e um sinal modulante senoidal de 10 V de amplitude e 5 kHz de frequência.

3. Usando um osciloscópio digital, meça os sinais no domínio do tempo nos pontos 1 e 2 e armazene as formas de onda em arquivos separados.
4. Use a função FFT do osciloscópio digital e meça os sinais no domínio da frequência nos pontos 1 e 2, anotando a amplitude e a frequência de cada raia, e armazene as formas de onda em arquivos separados.
5. Meça o fator de supressão da portadora.

QUESTÕES

1. Explique a função de cada componente no circuito modulador AM-DSB/SC.
2. Obtenha uma expressão matemática para os sinais dos pontos 1 e 2.
3. Usando o Matlab ou outro *software* matemático/científico qualquer, obtenha os gráficos das funções da Questão 2.
4. Compare os gráficos obtidos com os medidos no Item 4 da Parte Prática.
5. Usando a decomposição de sinais por meio da série de Fourier, obtenha os coeficientes da série para os sinais obtidos no domínio do tempo.
6. Normalize os valores medidos das raia no Item 5 da Parte Prática com relação a maior amplitude.
7. Para os resultados obtidos nas Questões 5 e 6, compare os valores medidos com os calculados, usando o erro percentual.
8. Analise o fator de supressão obtido para o circuito em questão.