

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS – UNICAMP
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA E DE
COMPUTAÇÃO - FEEC**

EE 882 – LABORATÓRIO DE COMUNICAÇÃO I

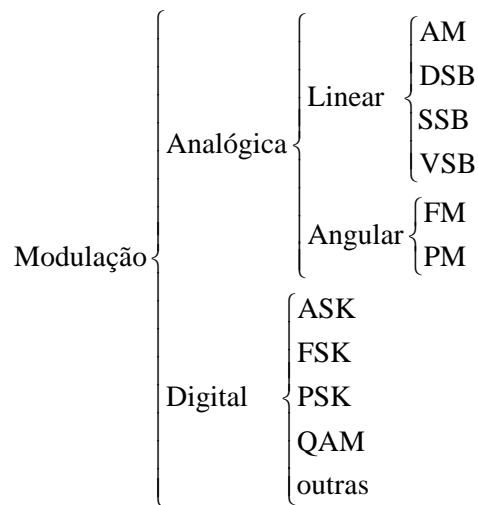
EXPERIÊNCIA 3

MODULAÇÃO EM AMPLITUDE

Parte Teórica

1. INTRODUÇÃO

Modulação pode ser definida como a alteração sistemática de uma forma de onda, chamada portadora, de acordo com as características de uma outra forma de onda, chamada de sinal modulante ou mensagem. O objetivo fundamental da modulação é produzir uma onda modulada, portadora de informação, cujas propriedades sejam mais adequadas para a transmissão da informação por um canal de comunicações. Os tipos mais comuns de modulação mais comuns são mostrados como se segue.



A transmissão de informação utilizando-se de modulação possui várias vantagens, tais como, mais fácil radiação do sinal de informação que se deseja transmitir, grande número de sinais que podem ser transmitidos simultaneamente através de um mesmo meio de transmissão, recepção destes sinais sem que haja interferência entre eles, redução de interferências, entre outras.

Dentre os vários tipos empregados de modulação analógica, o esquema AM (*Amplitude Modulation*) ainda é um dos mais utilizados e difundidos. A modulação em amplitude consiste em se transmitir a informação através da variação da amplitude da onda portadora. Assim, o sinal de informação (onda modulante) tem seu espectro de frequência deslocado para uma região em torno da frequência da portadora. Pode-se então concluir que a frequência da portadora deve ser bem maior que a variação máxima de frequência do sinal de informação para que não haja sobreposição de espectros.

2. MODULAÇÃO AM

Em AM, a envoltória da portadora modulada possui o mesmo formato do sinal de informação. A expressão geral de uma onda modulada em amplitude é então dada por:

$$\begin{aligned} x_c(t) &= A_c [1 + m x(t)] \cos(\omega_c t) \\ &= A(t) \cos(\omega_c t) \end{aligned} \quad (1)$$

Onde $A_c \cos(\omega_c t)$ é a portadora não modulada;

$f_c = \omega_c / 2\pi$ é a frequência da portadora;

A_c é uma constante;

$x(t)$ é o sinal modulante (informação);

m é uma constante denominada índice de modulação.

Observe que $x_c(t)$ é uma cossenóide cuja amplitude $A(t) = A_c [1 + m \cdot x(t)]$ varia linearmente com o sinal $x(t)$. Para efeito de análise, vamos considerar que a máxima variação de amplitude do sinal $x(t)$ é igual à unidade, isto é, $|x(t)| \leq 1$. A Figura 1 mostra o procedimento básico para a modulação AM, a forma de onda do sinal de informação $x(t)$ e a onda modulada $x_c(t)$. Note que a onda modulada $x_c(t)$ é obtida pela multiplicação direta da portadora por $[E + x(t)]$. Deve-se fazer com que a constante E seja sempre maior ou igual à máxima variação de amplitude do sinal modulante. Neste caso particular, $E \geq 1$.

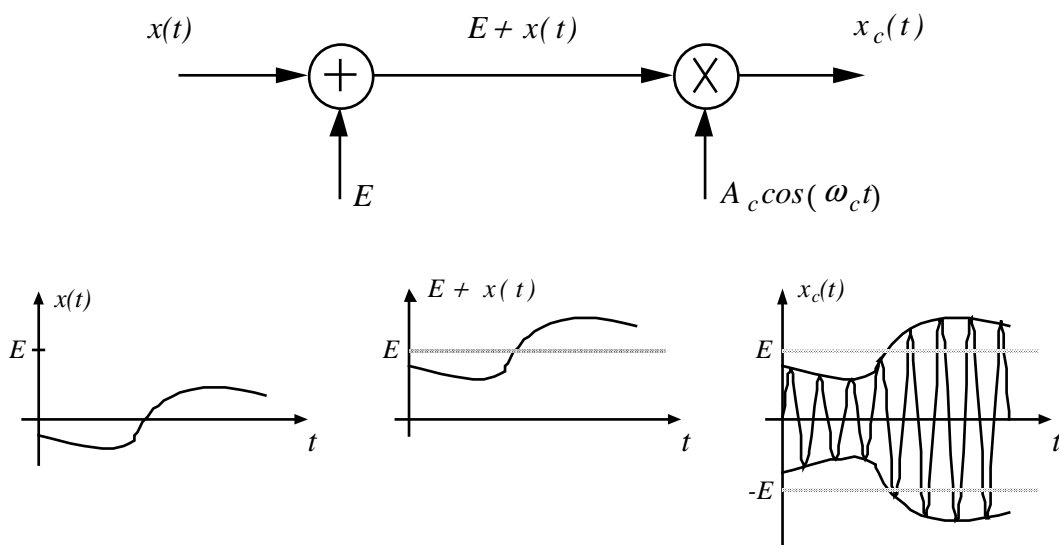


Figura 1: Diagrama básico de um modulador AM

A multiplicação, mostrada na Figura 1 é conseguida, na prática, com a utilização de elementos não-lineares, tais como, chaves, dispositivos de lei quadrática, multiplicadores analógicos, etc.

2.1. Modulador AM por Chaveamento

O esquema básico do modulador AM por chaveamento é mostrado na Figura 2. O chaveamento é essencialmente uma operação não-linear que gera componentes espúrias de frequências adicionais às do sinal de entrada. A chave S abre e fecha com frequência f_c , a frequência da portadora. Quando a chave S está fechada, $x_s(t) = 0$, enquanto que, quando S está aberta, $x_s(t)$ acompanha a variação do sinal de entrada $E + x(t)$, a menos de uma queda de tensão provocada pelo resistor R . A presença do resistor R no circuito impede que se dê um curto na fonte quando S encontra-se fechada. Para efeito de análise, assumimos que a impedância de entrada do filtro passa-faixa é muito maior que o valor de R . Podemos, então, considerar que a queda tensão sobre o resistor é desprezível.

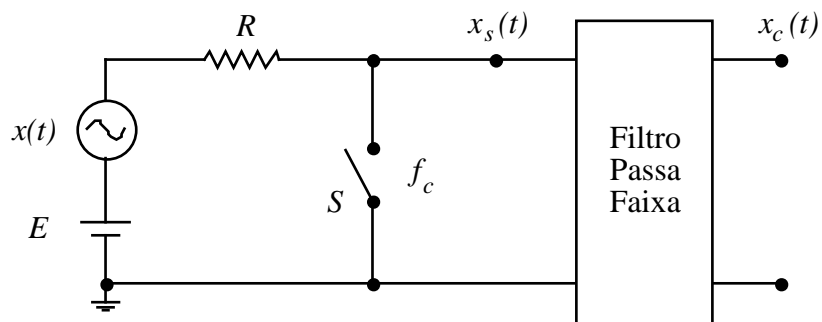


Figura 2: Modulador por chaveamento

A Figura 3 mostra como o sinal $x_s(t)$ é obtido a partir do chaveamento do sinal $E + x(t)$. O sinal $x_s(t)$ pode ser visualizado como a multiplicação do sinal $E + x(t)$ por uma onda $s(t)$, que representa a função desempenhada pela chave S . A função $s(t)$ assume o valor 1 se a chave está aberta e 0 se S está fechada. Assim, $x_s(t)$ é dado por

$$x_s(t) = [E + x(t)]s(t) \quad (2)$$

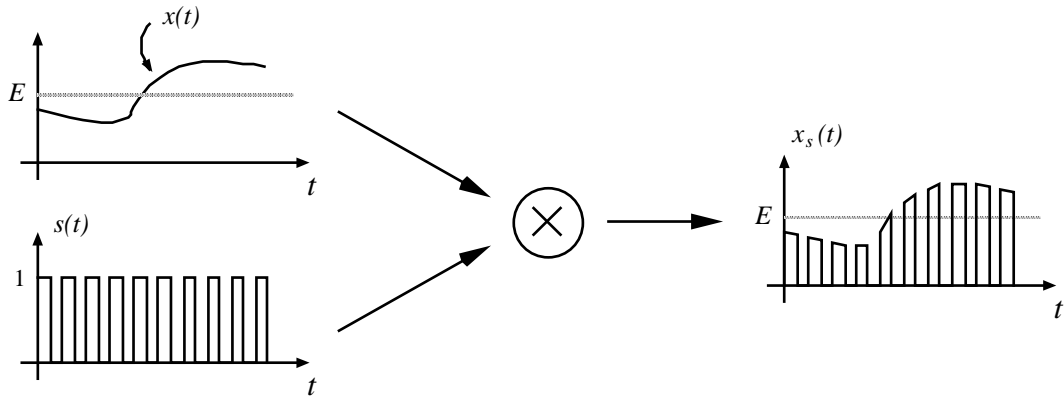


Figura 3: Sinal $x_s(t)$ obtido a partir de $[E + x(t)]$ e $s(t)$

Como $s(t)$ é periódica, ela pode ser desenvolvida em série de Fourier, conforme a equação (3), onde a simetria escolhida é par.

$$s(t) = \frac{1}{2} + \frac{2}{\pi} \cos(\omega_c t) - \frac{2}{3\pi} \cos(3\omega_c t) + \frac{2}{5\pi} \cos(5\omega_c t) - \dots \quad (3)$$

Substituindo-se (3) em (2), temos

$$x_s(t) = [E + x(t)] \frac{1}{2} + [E + x(t)] \frac{2}{\pi} \cos(\omega_c t) - [E + x(t)] \frac{2}{3\pi} \cos(3\omega_c t) + \dots \quad (4)$$

O espectro correspondente a (4) está mostrado na Figura 4. Se utilizarmos um filtro passa-faixa centrado na frequência de portadora f_c e com uma largura de faixa conveniente, obtemos o sinal modulado AM. Note que na saída do filtro passa-faixa todas componentes situadas fora da faixa do filtro são suprimidas. Assim, o sinal resultante na saída do filtro é dado por:

$$\begin{aligned} x_c(t) &= [E + x(t)] \frac{2}{\pi} \cos(\omega_c t) \\ &= A_c [1 + m x'(t)] \cos(\omega_c t) \end{aligned} \quad (5)$$

onde $A_c = \frac{2E}{\pi}$, $m = \frac{|x(t)_{\text{máx}}|}{E}$ e $x'(t) = \frac{x(t)}{|x(t)_{\text{máx}}|}$

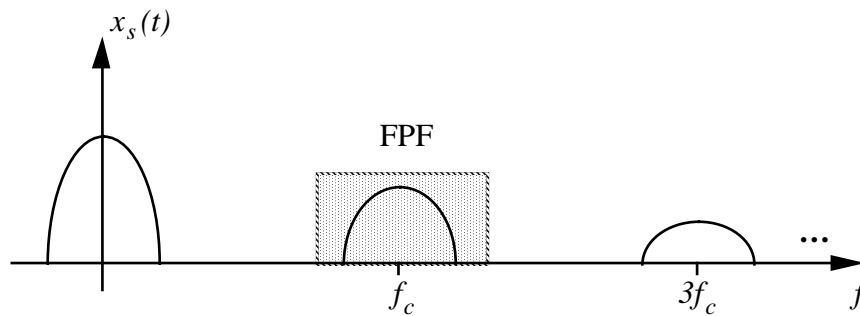


Figura 4: Espectro do sinal $x_s(t)$

2.2. Implementação de Moduladores por Chaveamento

Para realizar o chaveamento, como descrito na seção anterior, utiliza-se uma ponte de diodos como mostrado na Figura 5. Alternativamente, pode-se utilizar também FETs, MOS-FETs, chaves integradas, etc.

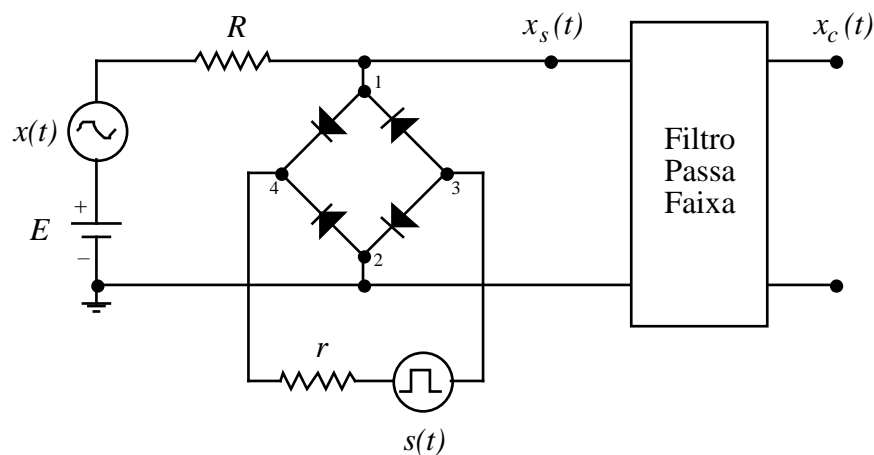


Figura 5: Circuito de chaveamento de tensão usando uma ponte de diodos

O comando de condução de corrente pela ponte de diodos é feito pelo gerador de onda quadrada $s(t)$. Se a diferença de tensão entre o ponto 3 e o ponto 4 é suficientemente alta (ponto 3 mais positivo que o ponto 4), os diodos conduzem (chave fechada) colocando os pontos 1 e 2 praticamente no mesmo potencial (terra). Caso a diferença de tensão entre os pontos 3 e 4 não atinja o limiar de condução dos diodos que ligam estes dois pontos, então, os diodos não conduzem (chave aberta) e o ponto 1 terá o

sinal $E + x(t)$ a menos de uma queda de tensão no resistor R . Note que a frequência f_c da onda quadrada $s(t)$ deve ser muito maior que a máxima variação de frequência do sinal $x(t)$. A onda $x_s(t)$ obtida será idêntica à da Figura 3. Para se obter a onda modulada em amplitude, o sinal $x_s(t)$ deve passar por um filtro passa-faixa centrado em f_c , como já mencionado anteriormente.

2.3. Índice de Modulação de uma Onda AM

O índice de modulação m de uma onda modulante qualquer é definido como

$$m = \frac{\Delta A}{A_c} \quad (6)$$

Onde ΔA é a máxima variação do sinal modulante em torno da amplitude da onda portadora e A_c é a amplitude da onda portadora sem modulação. Uma maneira alternativa de se calcular o índice de modulação é usando

$$m = \frac{A_{m\acute{a}x} - A_{m\acute{i}n}}{A_{m\acute{a}x} + A_{m\acute{i}n}} \quad (7)$$

onde $A_{m\acute{a}x}$ e $A_{m\acute{i}n}$ são as amplitudes máxima e mínima da onda modulada, respectivamente.

2.4. Medida do Índice de Modulação para Modulação Tonal

Considere uma portadora modulada por um sinal senoidal $x(t) = A_m \cos(\omega_m t)$. Sem perda da generalidade, seja $A_m = 1$. No analisador de espectro, o índice de modulação m é obtido medindo-se a amplitude de uma das raias laterais $m A_c / 2$ e a amplitude A_c da portadora e fazendo-se a razão entre essas medidas. Note que a escala vertical do analisador de espectro deve estar selecionada em LINEAR. A Figura 6 mostra o espectro em frequência da onda modulada $x_c(t) = A_c [1 + m \cos(\omega_m t)] \cos(\omega_c t)$.

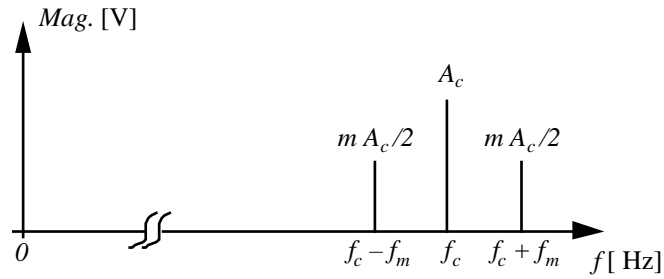
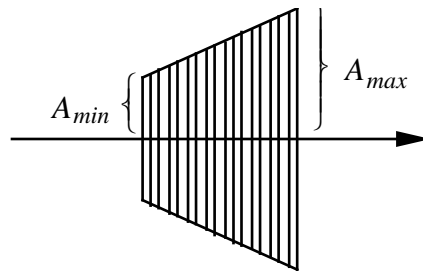
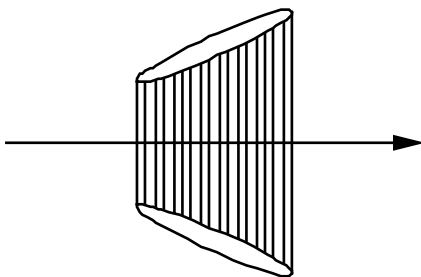


Figura 6: Espectro de Freqüência de uma Modulação Tonal

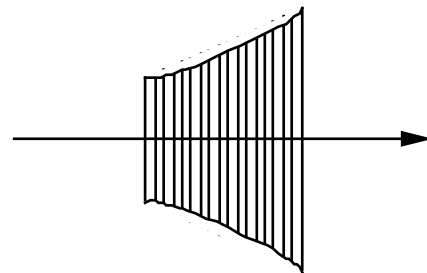
No osciloscópio, o índice de modulação m é obtido medindo-se as variações máxima e mínima da amplitude da onda portadora e utilizando-se (7). Uma maneira de se medir essas variações de amplitudes da portadora pode ser feita injetando a onda modulada no eixo vertical do osciloscópio e o sinal modulante no eixo horizontal. Se não há defasagem entre o a envoltória e o sinal modulador, obtém-se na tela do osciloscópio um trapézio como dado na Figura 7a. Se ocorrer rotação de fase ou se a modulação apresentar distorção, teremos na tela um dos possíveis casos dados nas Figuras 7b e 7c.



a) Sinal Modulado sem Distorção



b) Rotação de Fase entre o Sinal Modulante e a Envoltória



c) Distorção na Modulação

Figura 7: Medida do índice de modulação pelo método do osciloscópio

Parte Prática

1. Ajuste o gerador de funções Agilent 33220A para que em sua saída haja uma onda senoidal (portadora) com amplitude A_c igual a $1 V_{pp}$ e frequência $f_c = 1$ MHz. Ajuste em seguida o sinal modulante (informação) para uma frequência $f_m = 20$ kHz e índice de modulação igual a 50%. Use a própria modulação interna do gerador.
 - Visualize esta onda modulada no osciloscópio e meça o índice de modulação.
 - Visualize a onda modulada no analisador de espectro. Meça o índice de modulação, compare com o obtido no item anterior.
 - Mude a onda modulante para quadrada, triangular e rampa. Observe-as no osciloscópio e no analisador de espectro.
 - Mude a onda modulante para ruído. Obtenha o espectro do sinal modulado com ruído em dBm.
 - Comente os resultados obtidos.
2. Com a onda modulante senoidal em 20 kHz, coloque uma portadora quadrada com $1 V_{pp}$ e frequência $f_c = 1$ MHz.
 - Veja o que acontece no osciloscópio e no analisador de espectro. Expanda o range do analisador para 10 MHz.
 - Sintonize as frequências harmônicas da onda quadrada e use um SPAN adequado para visualizar as raias laterais.
 - Comente os resultados obtidos.
3. Usando a portadora senoidal em 1 MHz e índice de modulação igual a 100%, utilize o gerador de funções 33120A para injetar um sinal modulante senoidal externo de $2 V_{pp}$, com varredura de 100 Hz a 4 kHz e com duração de 50 s, na entrada externa do gerador de funções 33220A.
 - Trace o espectro deste sinal modulado.
 - Comente os resultados obtidos.