

Modulação em Amplitude

Edmar J Nascimento

Universidade Federal do Vale do São Francisco
Colegiado de Engenharia Elétrica

www.univasf.edu.br/~edmar.nascimento

September 25, 2020

Introdução

- Um sinal proveniente de uma fonte de informação ou de um transdutor é chamado de sinal em **banda base**
- Sinais em banda base não são adequados em geral para transmissão através de enlaces de rádio
 - Frequências mais altas são necessárias para garantir maior eficiência na propagação
 - Antenas menores podem ser utilizadas aumentando-se a frequência
- A comunicação em que o espectro em banda base é deslocado para frequências maiores é conhecida como **comunicação com portadora**

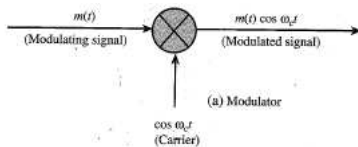
Introdução

- Neste tipo de comunicação, um sinal senoidal tem a sua amplitude, fase ou frequência modificada pelo sinal em banda base $m(t)$
- Para os sinais em banda base analógicos, as modulações principais são:
 - Modulação em Amplitude (AM, AM-DSB-SC, AM-SSB-SC, QAM e AM-VSB)
 - Modulação em Ângulo (FM e PM)
- Para os sinais digitais, há uma infinidade de tipos de modulação
 - ASK, FSK, PSK, DPSK, GMSK, OOSK, etc.

AM-DSB-SC

- Seja $m(t)$ um sinal em banda base com largura de banda igual a B Hz e $c(t) = \cos \omega_c t$ uma portadora senoidal
- Na modulação em amplitude com banda lateral dupla e portadora suprimida (AM-DSB-SC), o sinal modulado é dado por

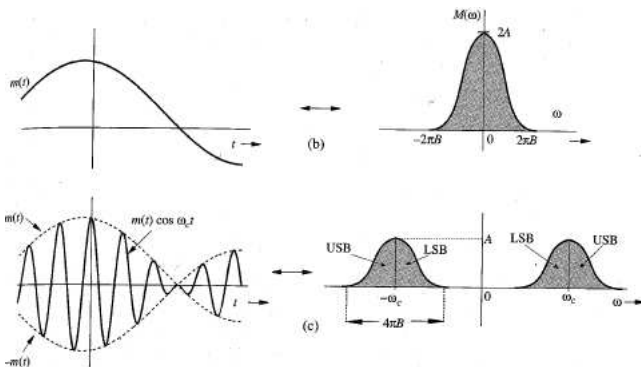
$$s(t) = m(t)c(t) = m(t) \cos \omega_c t$$



AM-DSB-SC (Espectro)

- Se $m(t) \iff M(\omega)$, então

$$m(t) \cos \omega_c t \iff \frac{1}{2}[M(\omega + \omega_c) + M(\omega - \omega_c)]$$



AM-DSB-SC (Espectro)

- Para $m(t)$ real, o espectro de amplitude $|M(\omega)|$ é uma função par
- A largura de banda do sinal modulado é de $2B$ Hz
- A parte superior do espectro (frequências acima de ω_c) possui a mesma informação que a parte inferior do espectro (frequências abaixo de ω_c)
 - Banda lateral superior (Upper SideBand - USB) -
 $\omega_c < |\omega| < (\omega_c + 2\pi B)$
 - Banda lateral inferior (Lower SideBand - LSB) - $(\omega_c - 2\pi B) < |\omega| < \omega_c$
- A portadora não aparece no espectro do sinal modulado (impulso em $\pm\omega_c$)

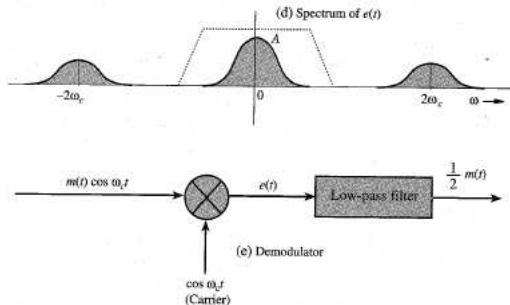
AM-DSB-SC (Demodulação)

- O processo de recuperação do sinal em banda base é chamado de **demodulação**
- Na demodulação, o espectro é transladado de volta para a origem e as componentes indesejadas são eliminadas por filtragem
- Seja $s(t)$ o sinal modulado, então:

$$\begin{aligned}e(t) &= s(t) \cos \omega_c t = m(t) \cos^2 \omega_c t \\&= \frac{1}{2}[m(t) + m(t) \cos 2\omega_c t] \\E(\omega) &\Longleftrightarrow \frac{1}{2}M(\omega) + \frac{1}{4}[M(\omega + 2\omega_c) + M(\omega - 2\omega_c)]\end{aligned}$$

AM-DSB-SC (Demodulação)

- Passando o sinal $e(t)$ através de um filtro passa-baixas, o sinal $\frac{1}{2}m(t)$ é recuperado
- Este processo é conhecido como demodulação síncrona ou coerente
 - É necessário na demodulação uma senóide com a mesma fase e frequência usada na modulação



AM Tradicional

- Na demodulação de um sinal AM-DSB-SC, é necessário gerar uma portadora na recepção com a mesma frequência e fase usadas na modulação
 - Demodulação síncrona
- Na prática, isso exige que o transmissor possua circuitos de recuperação da portadora, tornando a sua construção mais complexa
- Em algumas situações, é de interesse que os receptores sejam mais simples e consequentemente mais baratos
 - Comunicação por difusão (*broadcast*)

AM Tradicional

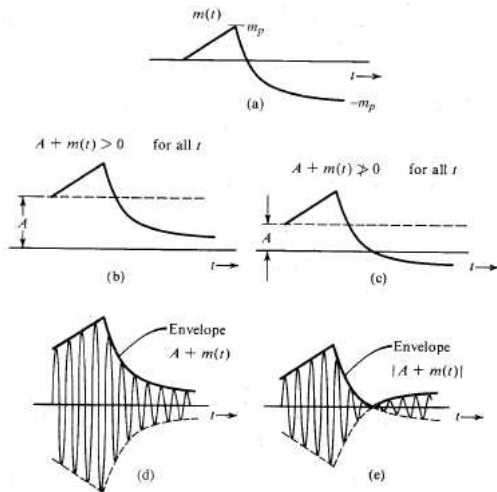
- Uma alternativa é enviar o sinal da portadora junto com o sinal modulado
 - Receptor mais simples
 - O transmissor precisa gastar mais potência na transmissão
- Na AM tradicional, o sinal modulado é dado por:

$$\varphi_{AM}(t) = A \cos \omega_c t + m(t) \cos \omega_c t = (A + m(t)) \cos \omega_c t$$

- O espectro do sinal modulado é dado por:

$$\varphi_{AM}(t) \iff \frac{1}{2}[M(\omega + \omega_c) + M(\omega - \omega_c)] \\ + \pi A[\delta(\omega + \omega_c) + \delta(\omega - \omega_c)]$$

AM Tradicional (Domínio do Tempo)



AM Tradicional

- Para que seja possível realizar a demodulação através da detecção de envelope, é necessário que:
 - $f_c \gg$ largura de banda de $m(t)$
 - $A + m(t) \geq 0$ para todo t
- Se $m(t)$ assume valores na faixa $(-m_p, m_p)$, então

$$A \geq m_p$$

- Definindo-se o **índice de modulação AM** μ como

$$\mu = \frac{m_p}{A}$$

AM Tradicional (Detecção de Envelope)

- Então a condição seguinte assegura que o sinal possa ser demodulado por detecção de envelope

$$0 \leq \mu \leq 1$$

- Quando $m_{min} \neq -m_{max}$, então μ é definido como

$$\mu = \frac{m_{max} - m_{min}}{2A + m_{max} + m_{min}}$$

AM Tradicional (Detecção de Envelope)

- Quando $\mu > 1$, então o sinal AM não pode ser demodulado por detecção de envelope
 - Essa condição é chamada de sobremodulação
 - Nesse caso, só é possível realizar a demodulação síncrona
- Para todos os casos é possível realizar a demodulação síncrona

AM Tradicional (Eficiência)

- O sinal AM é composto de dois elementos
 - A portadora - $A \cos \omega_c t$
 - As bandas laterais - $m(t) \cos \omega_c t$
- A potência do termo da portadora (P_c) e do termo das bandas laterais (P_s) são dadas por

$$P_c = \frac{A^2}{2}; \quad P_s = \frac{1}{2} P_m$$

AM Tradicional (Eficiência)

- A eficiência da modulação AM é dada por

$$\eta = \frac{P_{Util}}{P_{Total}} = \frac{P_s}{P_c + P_s} = \frac{P_m}{A^2 + P_m} 100\%$$

- A eficiência máxima é obtida para $\mu = 1$
- Para os sinais empregados na prática, a eficiência é da ordem de 25%

- Na modulação em amplitude de quadratura (QAM), dois sinais são modulados na mesma banda

$$\varphi_{QAM}(t) = m_1(t) \cos \omega_c t + m_2(t) \sin \omega_c t$$

- Na demodulação, os dois sinais são separados usando detecção síncrona

$$x_1(t) = \varphi_{QAM}(t) \cdot 2 \cos \omega_c t \rightarrow \text{FPB} \rightarrow m_1(t)$$

$$x_2(t) = \varphi_{QAM}(t) \cdot 2 \sin \omega_c t \rightarrow \text{FPB} \rightarrow m_2(t)$$

QAM (Modulação e Demodulação)

