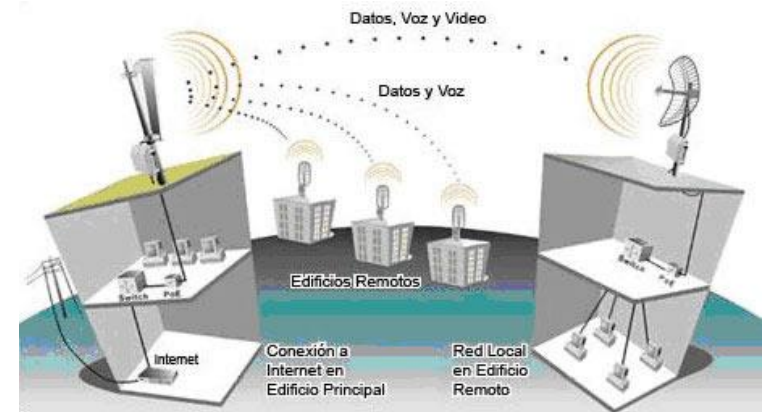
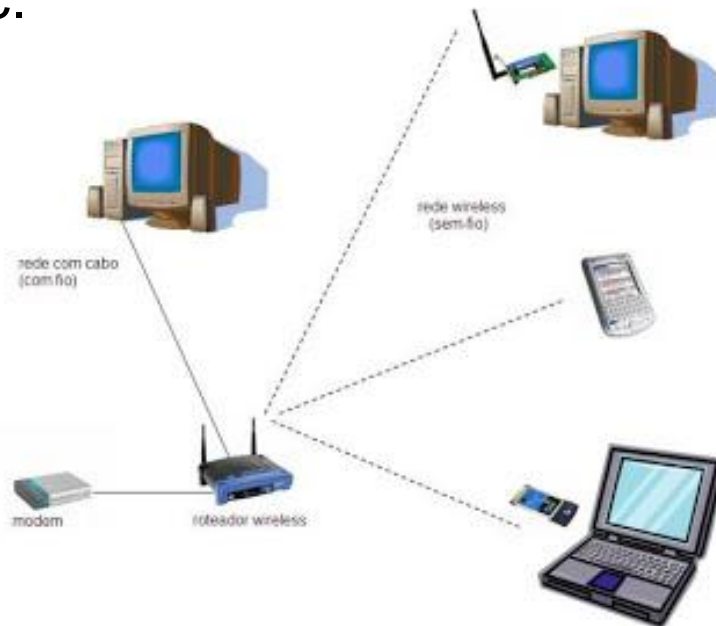
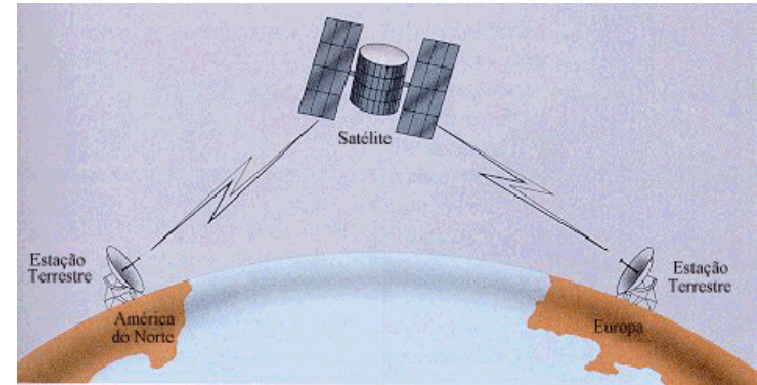

Modulo 07

Sistemas de Comunicação

8.1 Sistemas de Comunicação

- Rádio
- Televisão
- Telefone (fixo, celular)
- Redes de computadores
- Controle remoto (portões, eletrodomésticos, etc.)
- Etc.



Modulação analógica

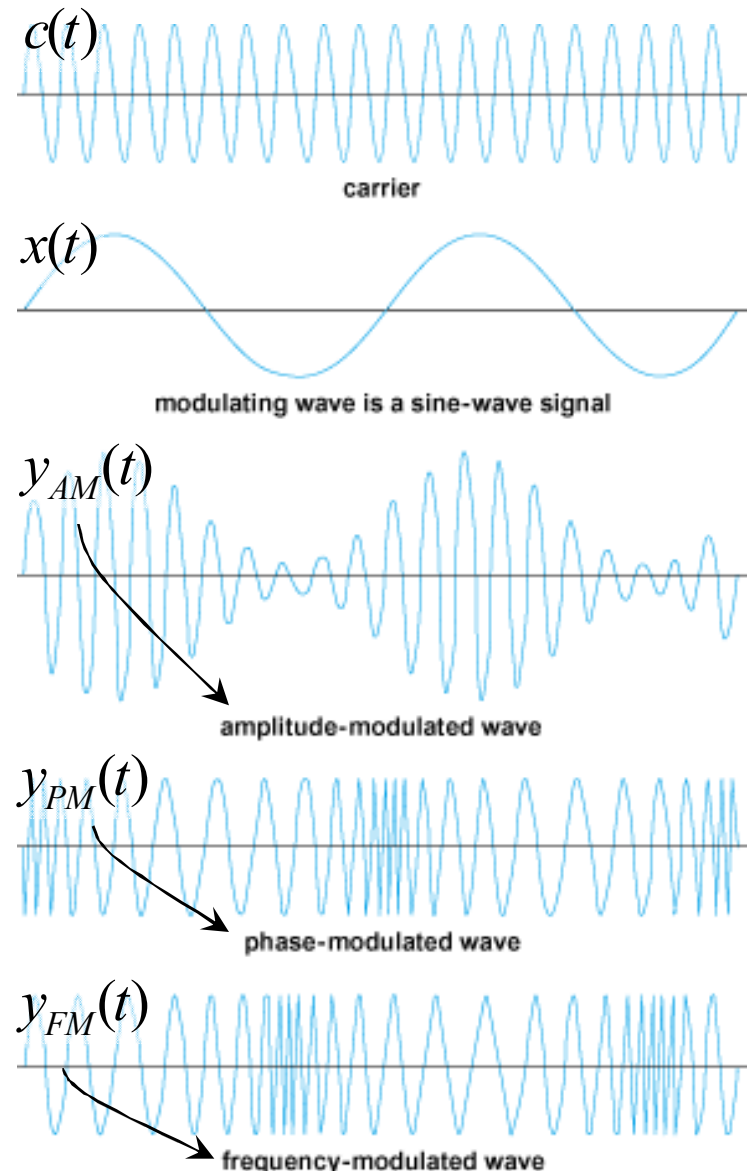
- **Portadora (carrier)**: sinal de “alta” frequência

$$c(t) = \cos(\omega_c t + \theta_c)$$

- **Sinal modulante**: $x(t)$

- Processo de **modulação** (amplitude, frequência ou fase)

- **Sinal modulado**: $y_{\dots}(t) = f[x(t)]$

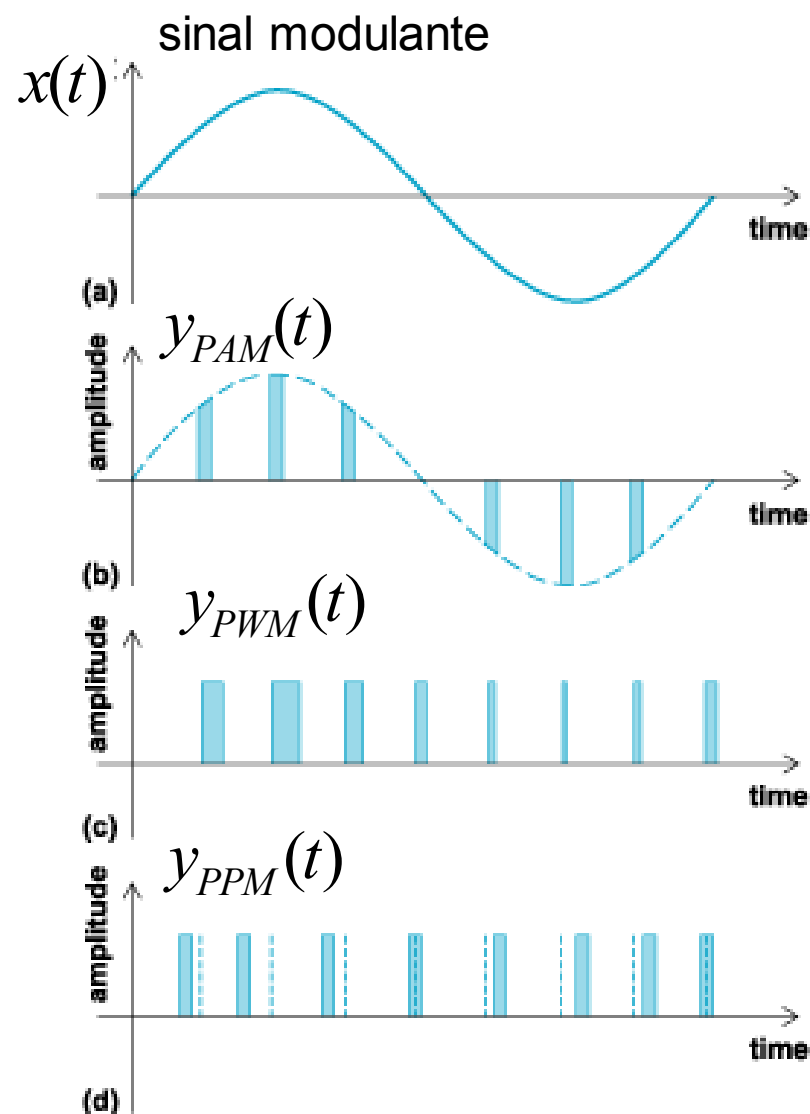


Relação entre sinais modulados em fase e frequência...

$$\omega_i(t) = \frac{d\theta(t)}{dt}$$

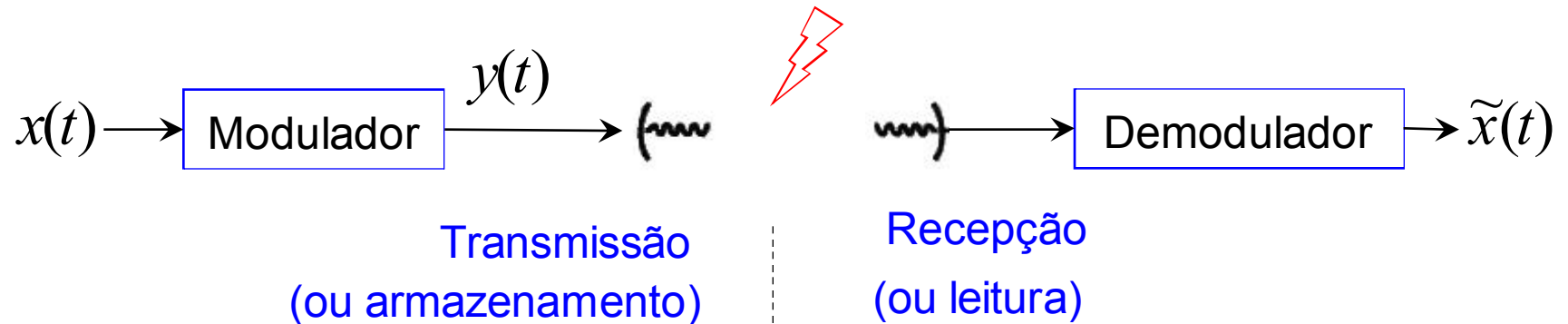
Modulação digital

- **Portadora**: trem de pulsos (não indicado na figura)
- **PAM** (*pulse amplitude modulation*): modulação por **amplitude de pulso** → levará ao PCM (pulse code modulation)
- **PWM** (*pulse width modulation*): modulação por **largura de pulso**
- **PPM** (*pulse position modulation*): modulação por **posição de pulso**
- Etc.



Modulação/demodulação

Ruído no canal de transmissão
(ou no meio de armazenamento)



- Idealmente, $\tilde{x}(t) = x(t)$
- Ruído causa distorção (erros) no sinal demodulado

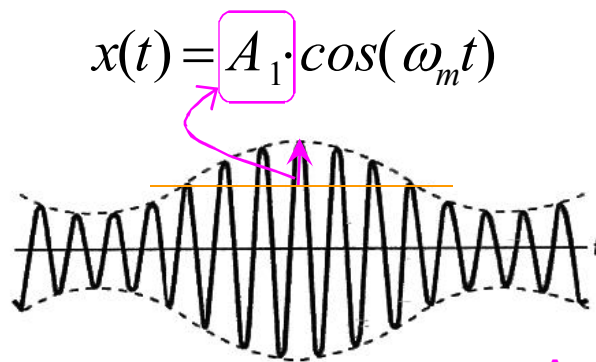
8.1, 8.2 e 8.5 Modulação em amplitude (AM)

- Variar a amplitude de uma **portadora senoidal** $c(t)$ de acordo com o **sin**al modulante $x(t)$

$$c(t) = A_c \cdot \cos(\omega_c t) \quad (\theta_c = 0) \quad \text{Fase nula para simplificar}$$

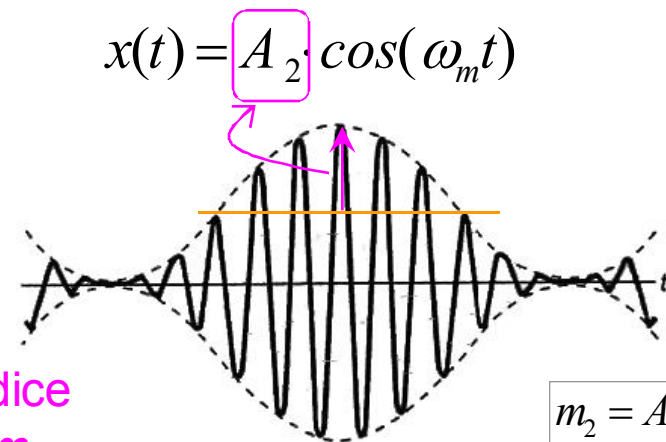
$$y_{AM}(t) = [A_c + x(t)] \cdot \cos(\omega_c t) = A_c \cdot \cos(\omega_c t) + x(t) \cdot \cos(\omega_c t)$$

Exemplos (sin

al modulante cossenoidal)

$$m_1 = A_1 / A_c$$

Aumento do índice
de modulação m

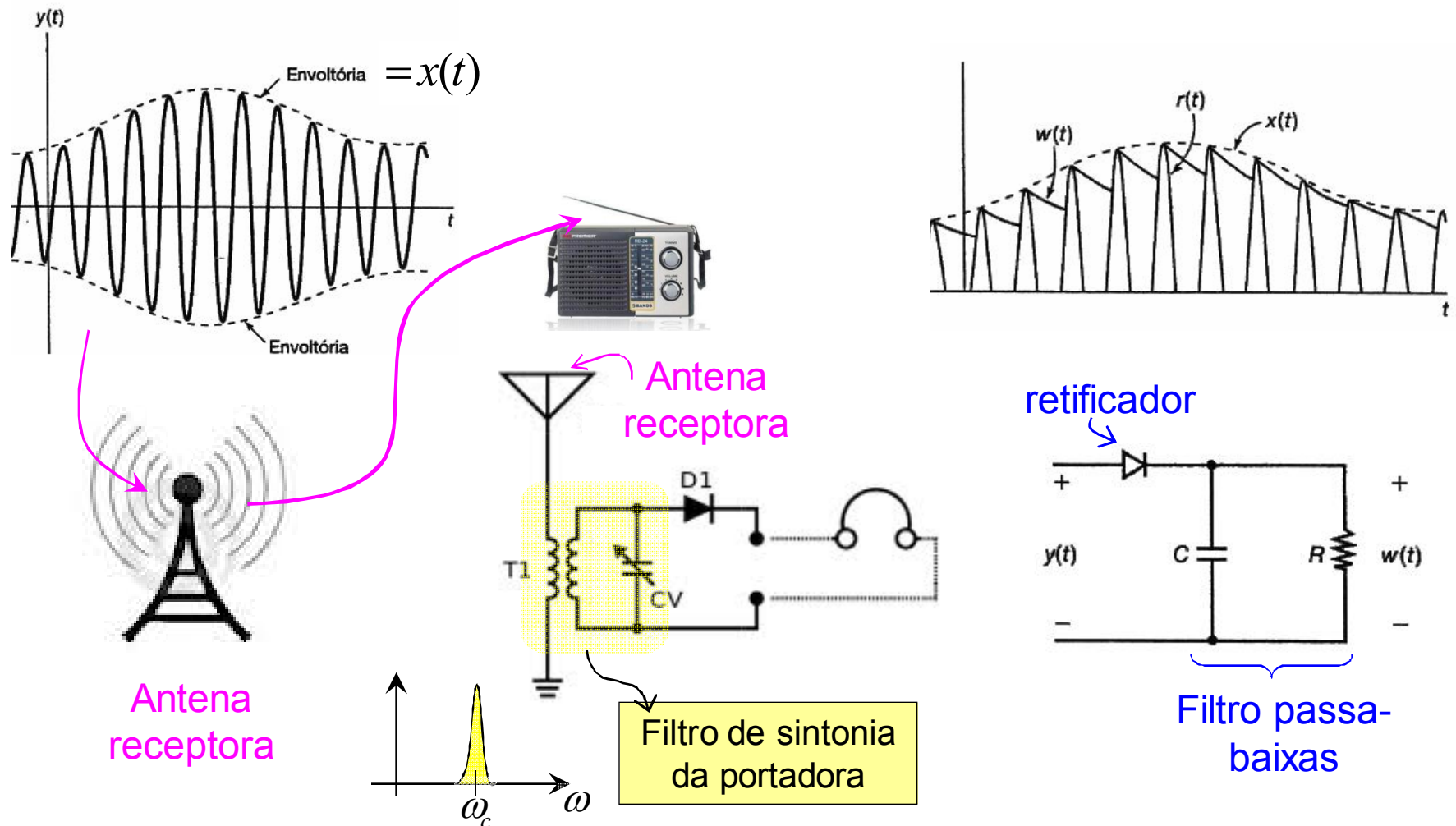


$$m_2 = A_2 / A_c$$

Modulação assíncrona (significado será explicado à frente)

Demodulação AM assíncrona

■ Detector de envoltória



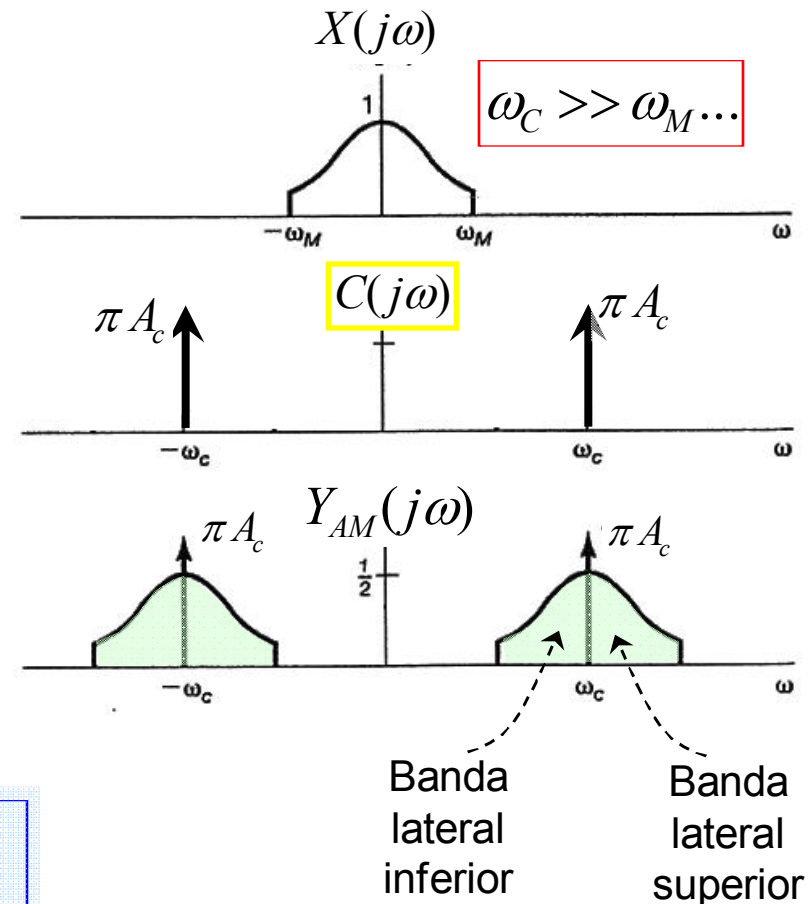
AM: análise do espectro (portadora senoidal)

$$y_{AM}(t) = [A_c + x(t)] \cdot \cos(\omega_c t)$$

$$= A_c \cos(\omega_c t) + x(t) \cdot \cos(\omega_c t)$$

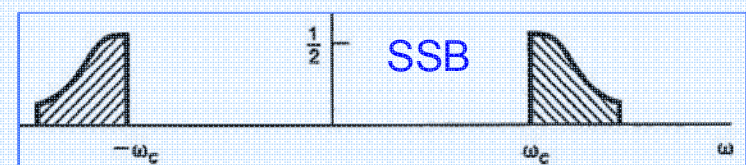
\mathcal{F}

$$Y_{AM}(j\omega) = C(j\omega) + \frac{1}{2\pi} X(j\omega) * C(j\omega)$$



A redundância de informação nas bandas laterais é removida na técnica **SSB (single side band – banda lateral única)** – detalhes na

seção 8.4



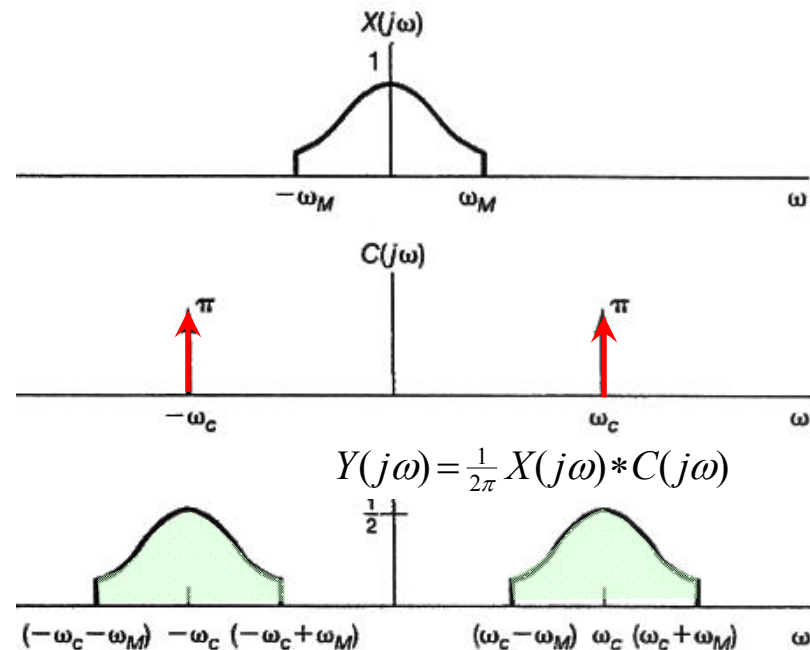
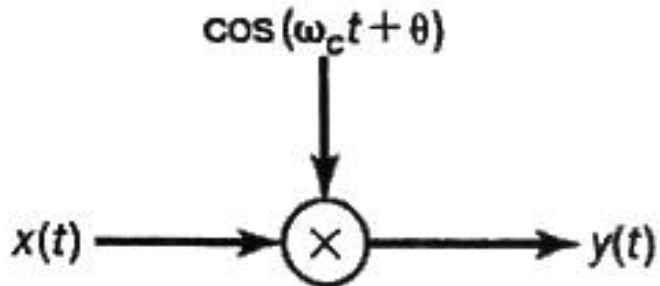
AM com banda lateral dupla (DSB – *Dual Side Band*)

AM síncrono (portadora suprimida)

- Reduz gasto com potência para transmitir portadora

$$y_{AM}(t) = x(t) \cdot \cos(\omega_c t + \theta_c) \quad \xleftrightarrow{\mathcal{F}} \quad Y_{AM}(j\omega) = \frac{1}{2\pi} X(j\omega) * C(j\omega)$$

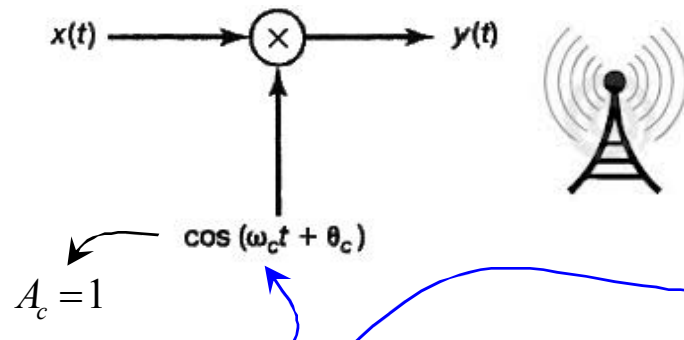
\uparrow
 $A_c = 1$



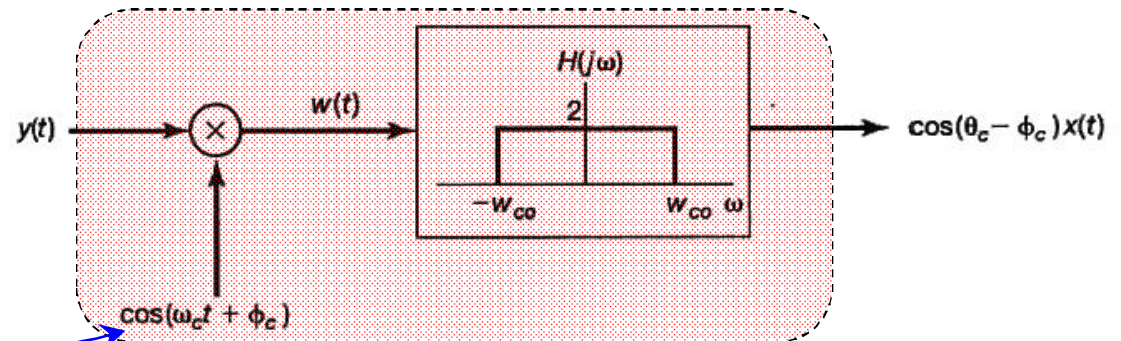
- Dificuldades na recepção (demodulação)...

AM (portadora suprimida): demodulação síncrona

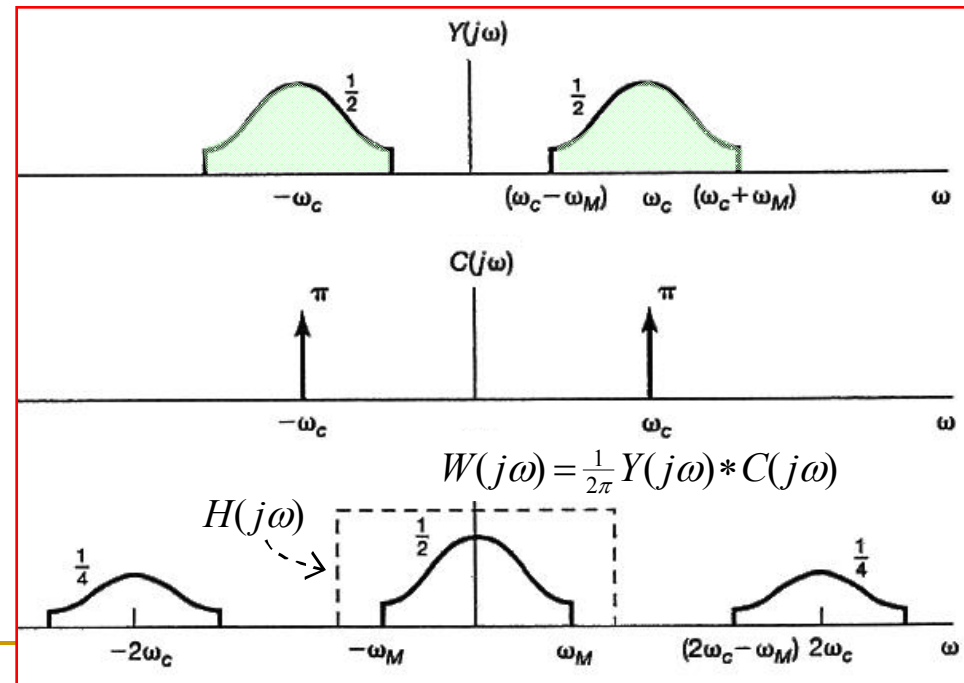
Modulador (Tx)
(multiplicar pela portadora)



Demodulação (Rx)
(multiplicar pela portadora e filtrar)

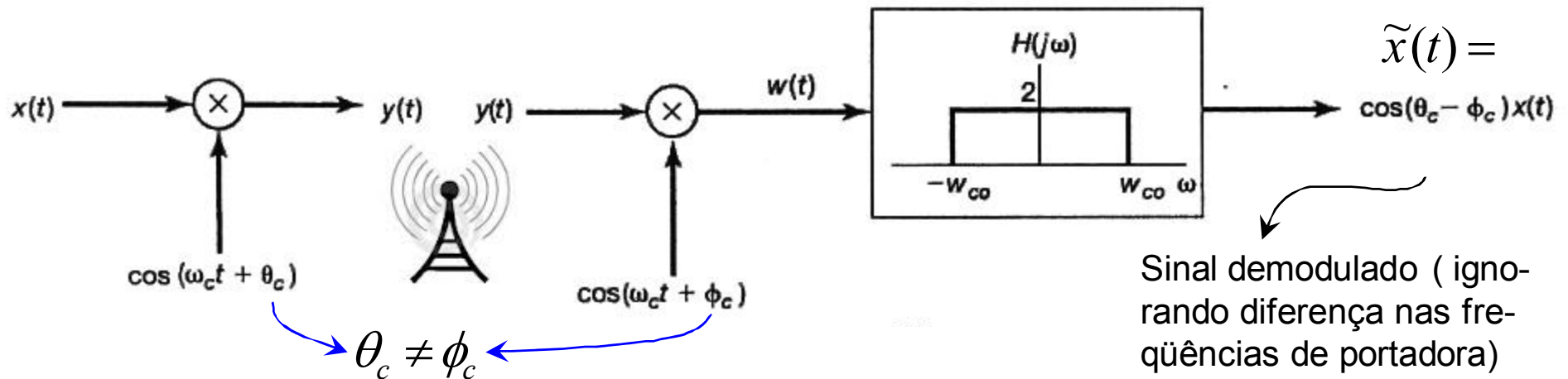


- A **portadora** não existe no sinal modulado $y(t)$ na saída do transmissor Tx
- Precisa ser **sintetizada** com **mesma frequência e fase** no demodulador do receptor Rx
- **Problemas** na sincronização das portadoras...



Demodulação síncrona

- Em geral, a **fase e/ou frequência** de Tx e Rx podem ser diferentes
- **Defasagem é mais crítica** (varia com o percurso do sinal transmitido)



- Se houver diferenças de fase, sinal de saída será multiplicado por **fator** com módulo entre 0 e 1

$$\tilde{x}(t) = x(t) \cdot \cos(\theta_c - \phi_c)$$

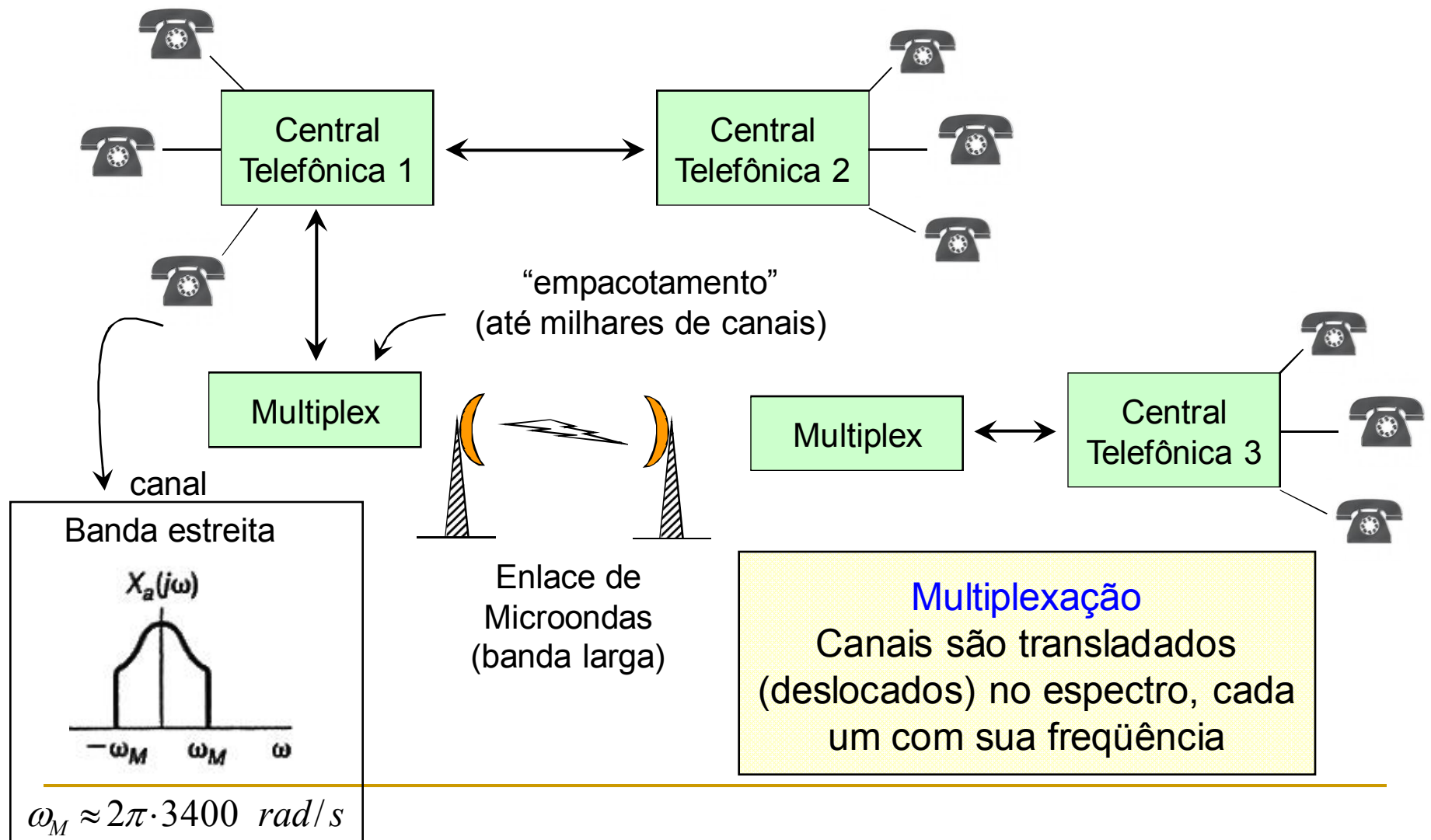
- **A sincronização pode mudar em função do local e ao longo do tempo. Requer ajustes manuais no receptor.**

Sony ICF-SW7600GR

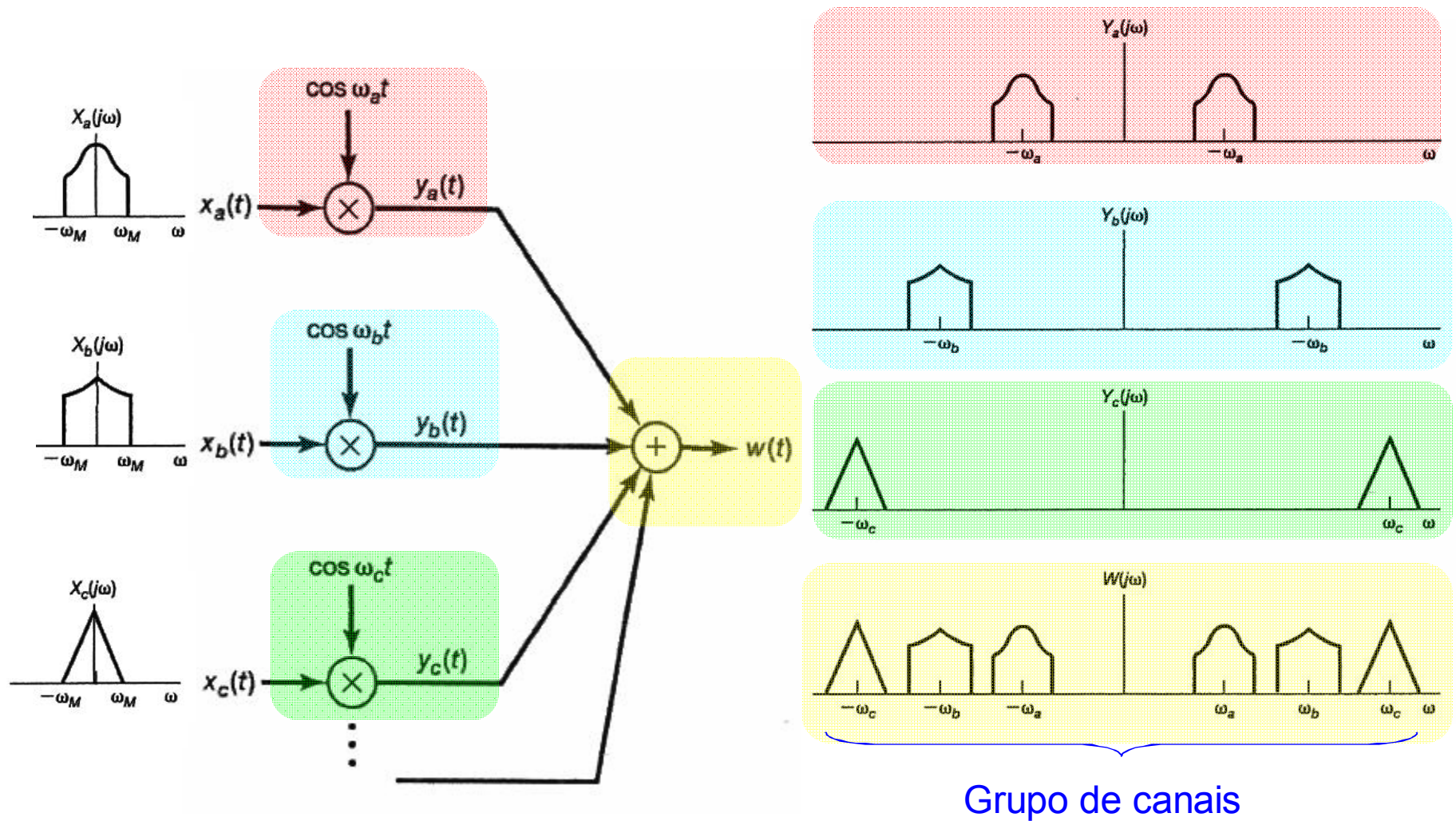


Demodulação síncrona é usada em receptores especiais

8.3 Noção de sistemas telefônicos analógicos



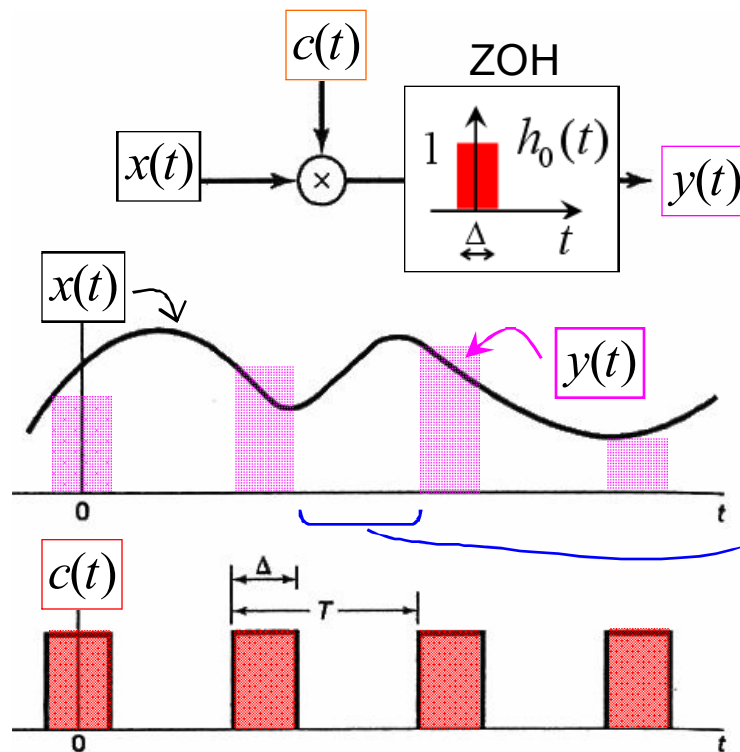
Multiplexação por divisão de frequências (FDM)



Equipamentos comerciais usam SSB para melhor uso do espectro!

8.5 Modulação por amplitude de pulso (PAM)

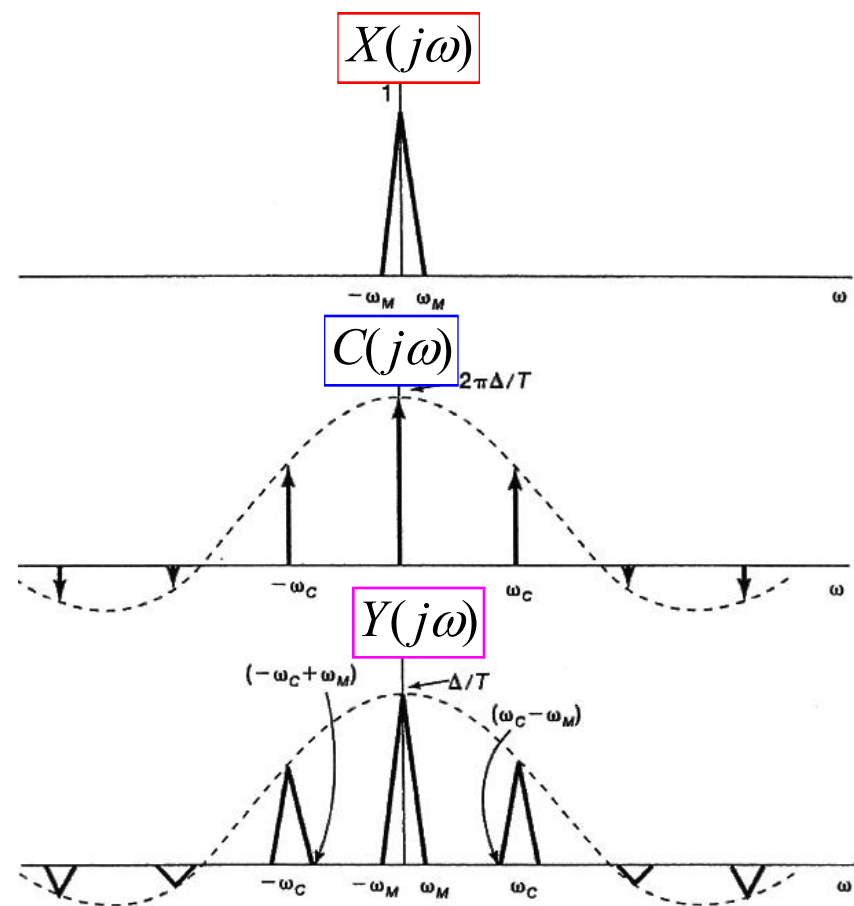
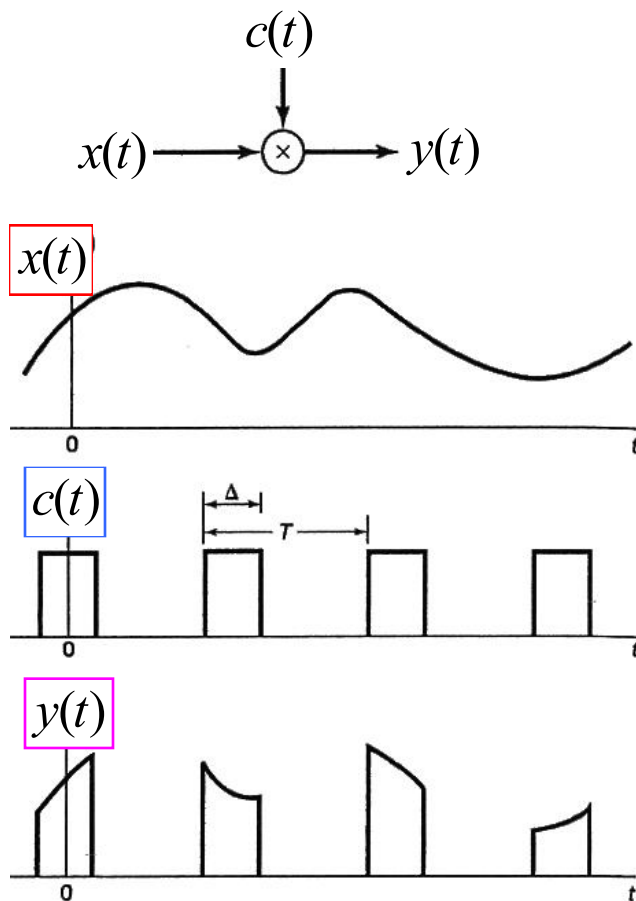
- Sinal $x(t)$ é amostrado por um trem de pulsos = portadora $c(t)$
- Uso de um retentor de ordem zero (ZOH) (Cap 7)



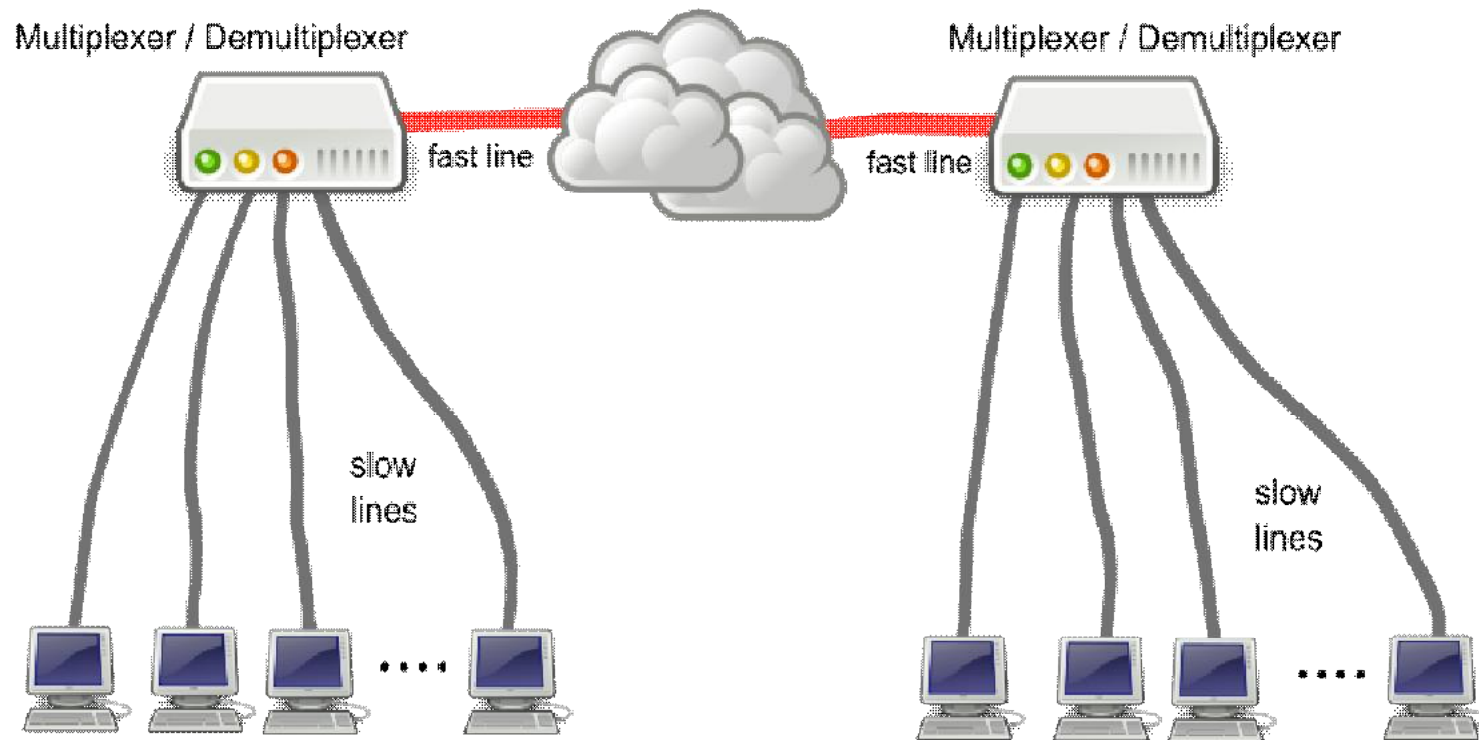
- Na transmissão de dados, o **intervalo** entre as amostras pode ser **preenchido com amostras de outro sinal** →
- Multiplexação por divisão de tempo (TDM)

Modulação por amplitude de pulso (PAM)

- Distorções semelhantes às do segurador de ordem zero (ver cap. 7)

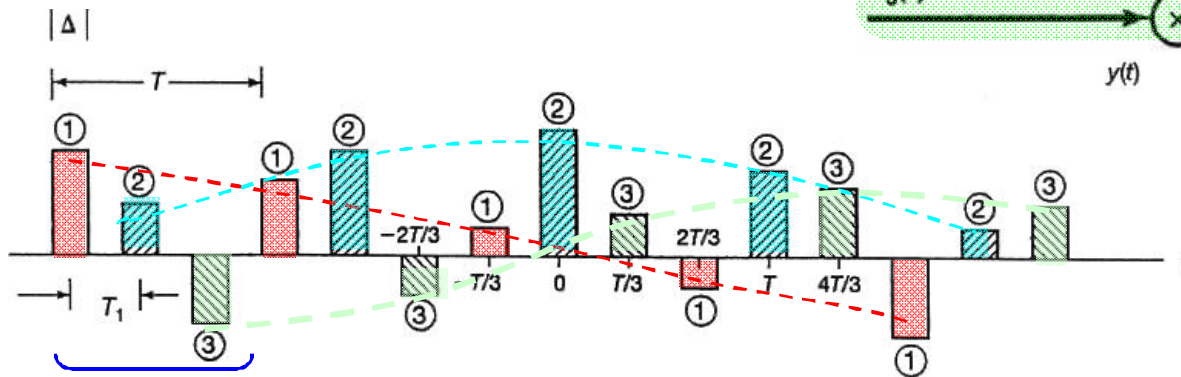
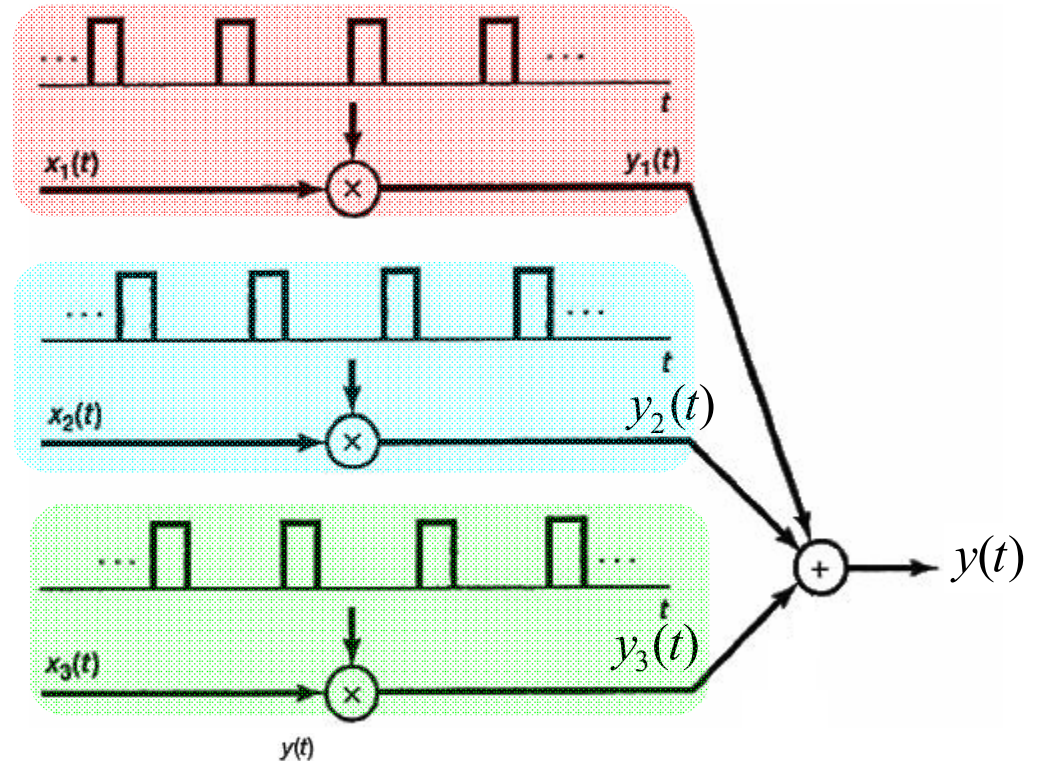
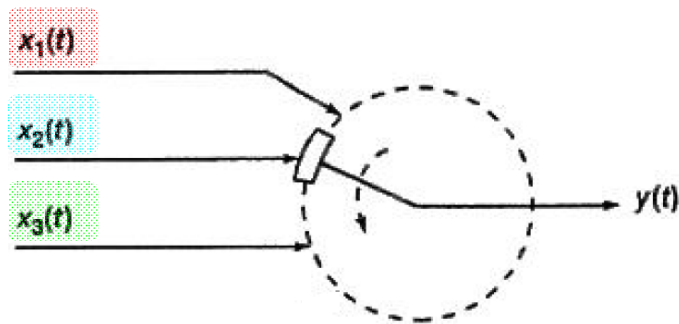


Multiplexação por divisão de tempo



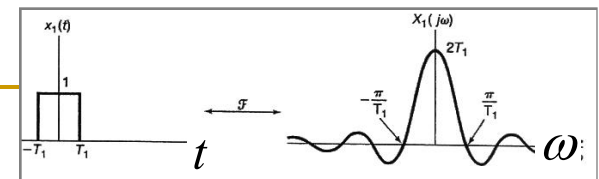
Multiplexação por divisão de tempo

Multiplexador
(modelo conceitual)



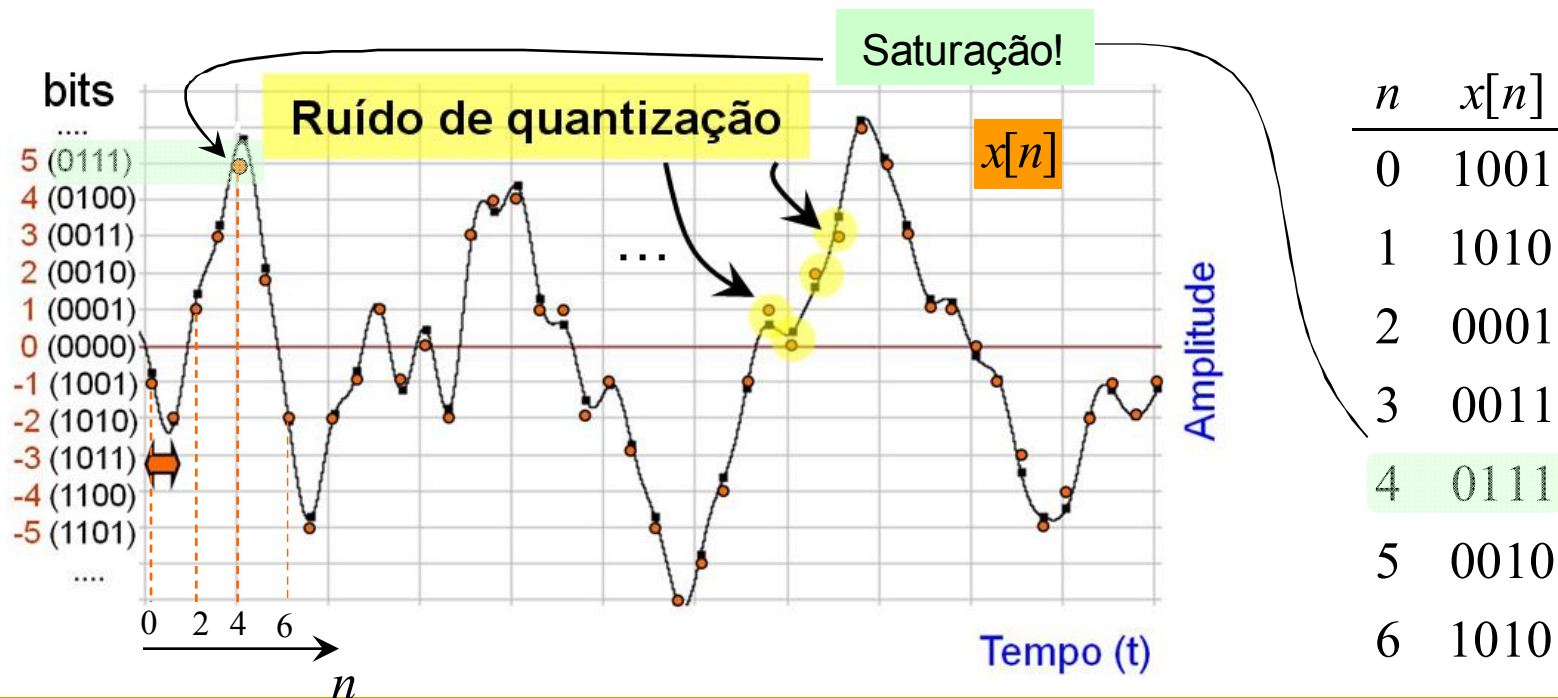
Canais intercalados
(multiplexados)

- Mais canais →
- Pulsos estreitos →
- Maior largura de banda



Modulação de pulsos codificados (PCM)

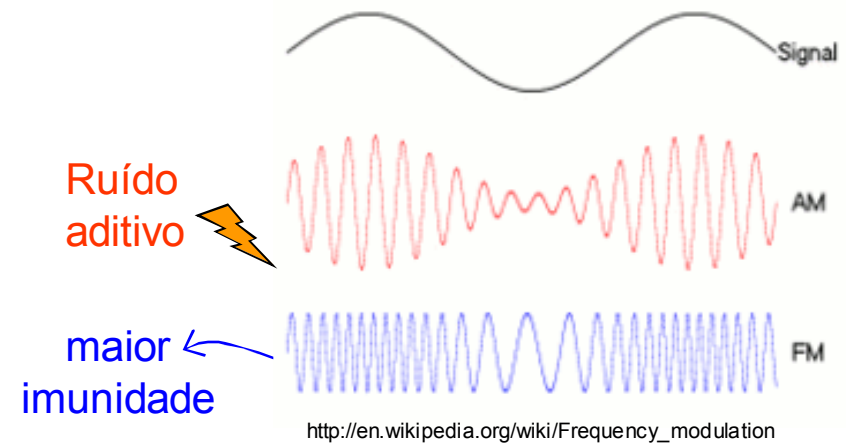
- Amplitudes do sinal amostrado são quantizadas
- Quantização: representação aproximada da amplitude com uma palavra binária (conjunto finito de bits)
- Erro de quantização diminui com o aumento do número de bits
- Escala vertical (código): linear ou logarítmica



Arquivos de áudio pcm (.wav, MS Windows): cabeçalho + dados ...

8.7 Modulação em frequência (FM) – um pouco de história

- **Edwin Armstrong**: patentes em circuitos para AM e FM
- **Disputa** com a empresa RCA em torno do FM (melhor qualidade sonora ameaçava o AM)
- Dono de emissoras em FM
- **Mudanças “legais”** (faixa de frequência) → receptores inutilizados
- Perda dos direitos de patente
- **Disputa judicial/falência/suicídio**
- Reconhecimento póstumo

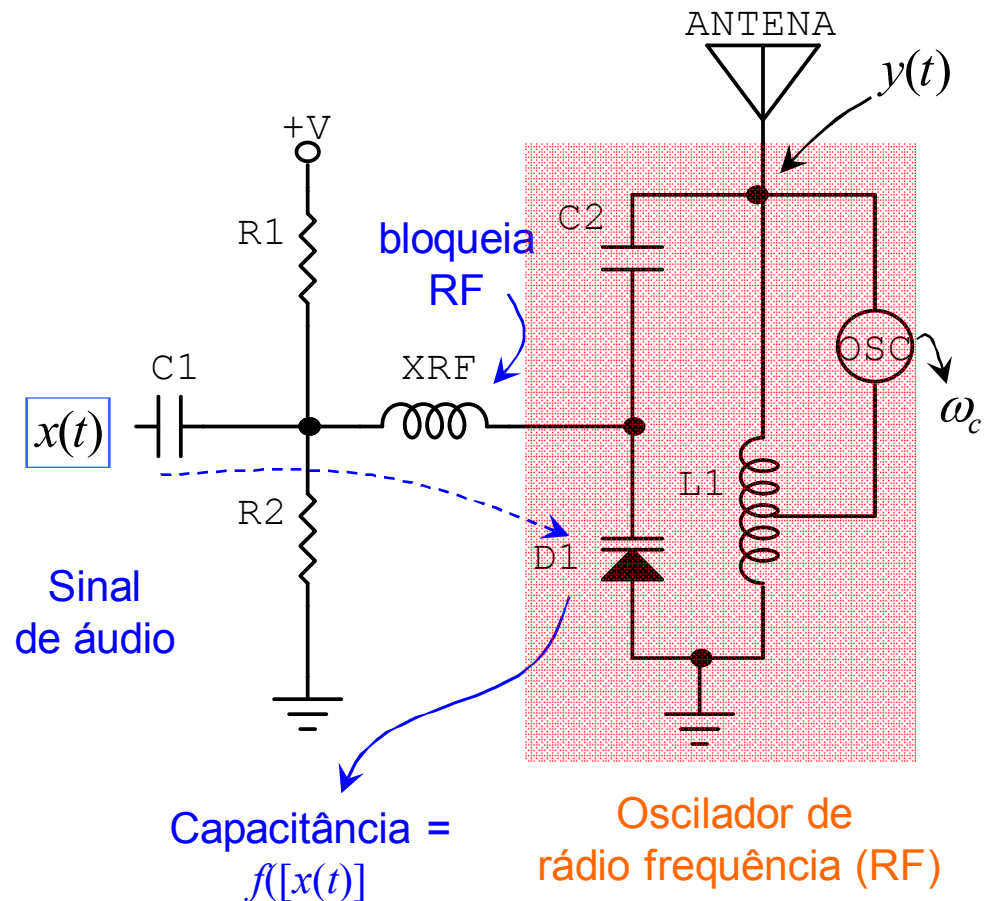


Edwin H. Armstrong
(1890-1954)



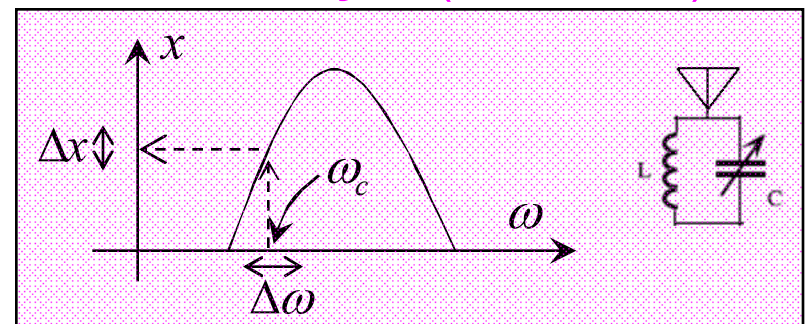
FM – características gerais

■ Geração e recepção do sinal FM (simplificados!)



- Há uma parte de **RF** e uma de **áudio**
- Partes isoladas pela reatância de XRF
- Frequência de OSC depende de $L1$, $C2$ e $D1$ (varicap)
- Capacitância de $D1$ (e portanto ω_c) variam com $x(t)$

Demodulação (conceitual)



$x(t)$ varia $\rightarrow \omega_c$ varia

ω_c varia $\rightarrow x(t)$ varia

FM (banda larga) – características gerais

- “Grande” imunidade a ruído (aditivo)
- Relação com modulação em fase (ver livro-texto)
- Espectro do sinal modulado $X(j\omega)$: cálculo elaborado

Exemplo:

$$x(t) = A_m \cos(\omega_m t)$$

$$y(t) = A_c \cos[\omega_i t]$$

$$\omega_i = \omega_c + k \cdot x(t)$$

“frequência instantânea”

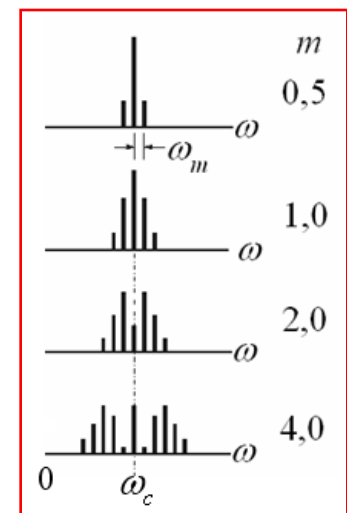
$\Delta\omega$

$$m = \frac{\Delta\omega_{\max}}{\omega_c} = \frac{k \cdot A_m}{\omega_c} =$$

$X(j\omega)$: largura variável: depende da amplitude e espectro de $x(t)$

$$y(t) = A_c \cos[\omega_c t + k \cdot A_m \cos(\omega_m t)]$$

Cálculo de $X(j\omega)$
requer uso de
Funções de Bessel



Índice de modulação

simétrico em $\omega < 0$