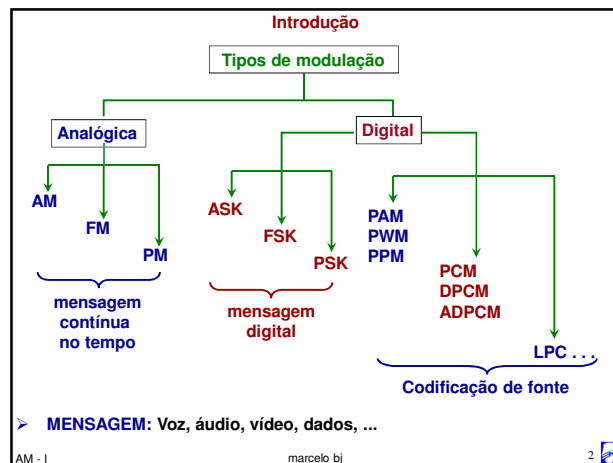


Modulação em Amplitude - I

AM - I

marcelo bj

1



AM - I

marcelo bj

2

❖ Modulação:

- Consiste em variar algum parâmetro de um sinal senoidal (chamado de portadora) com o sinal modulante (mensagem).

$$A\cos[\theta(t)] = A\cos(\omega_c t + \phi)$$

↑ AM ↑ FM ↑ PM

- Quando o sinal mensagem é contínuo no tempo (analógica)

❖ Aplicações da Modulação AM:

- AMDSB: (Rádio Comercial)
- AMDSB/SC: (FM e TV)
- SSB: (FDM telefonia)
- AMVSB: (TV)

AM - I

marcelo bj

3

Vantagens/benefícios da modulação

- ❖ Deslocamento espectral do sinal mensagem para uma banda mais adequada para transmissão.
 - As antenas irradiam com eficiência quando o comprimento de onda do sinal corresponde à sua abertura física.
- ❖ Facilidade de multiplexação de canais.
 - Permitindo que um número grande de usuários compartilhem o mesmo canal ou a mesma informação.
- ❖ Em alguns casos a modulação permite algum controle de ruído.
 - Observa-se esta vantagem na modulação com faixa lateral única e na modulação em ângulo.

AM - I

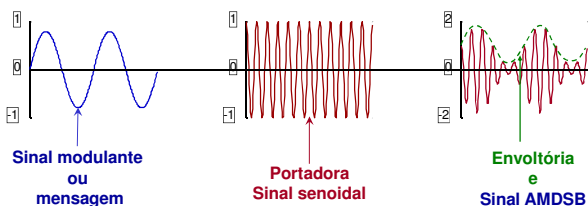
marcelo bj

4

Modulação em Amplitude com Portadora Presente - AMDSB

- ❖ Admitindo um sinal mensagem, $m(t)$, com valor máximo menor ou igual a 1, a equação do sinal modulado em amplitude com portadora presente é dada por:

$$s(t) = A_c [1 + m(t)] \cos(2\pi f_c t) \quad \text{em que : } |m(t)| \leq 1$$



AM - I

marcelo bj

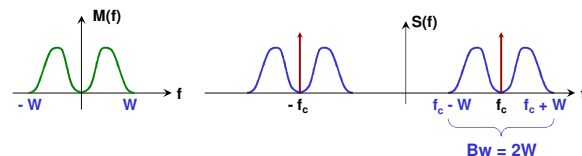
5

❖ Espectro de Amplitude

- Calculando a transformada de Fourier de $s(t)$ tem-se:

$$S(f) = \frac{A_c}{2} \delta(f \pm f_c) + \frac{A_c}{2} M(f \pm f_c)$$

- $M(f)$ é deslocado linearmente para as frequências: $\pm f_c$.



- Banda lateral dupla (DSB):
- Largura de faixa: $Bw = 2W$

AM - I

marcelo bj

6

Modulação por um único tom

❖ Sejam $[m(t)]$ o sinal modulante, e $[c(t)]$ a portadora dados por:

$$m(t) = A_m \cos(2\pi f_m t) \quad e \quad c(t) = A_c \cos(2\pi f_c t)$$

➤ A equação que descreve a modulação em amplitude com portadora presente é dada por:

$$s(t) = A_c \left[1 + \frac{A_m}{A_c} \cos(2\pi f_m t) \right] \cos(2\pi f_c t)$$

➤ A relação A_m/A_c é definida como **índice de modulação**:

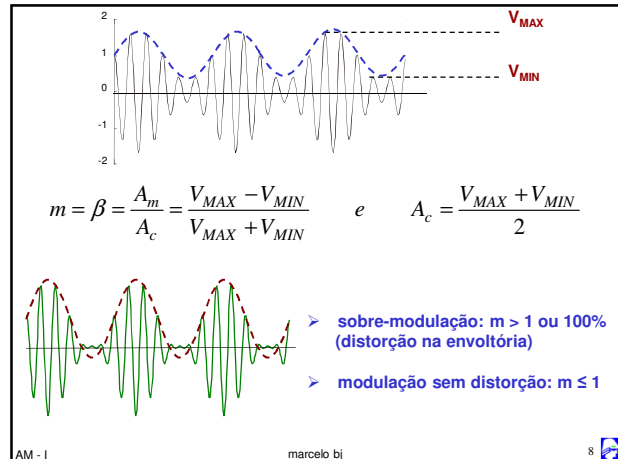
$$m = \beta = \frac{A_m}{A_c}$$

• Em que $m = \beta \leq 1$ para não ocorrer distorção

AM - I

marcelo bj

7



AM - I

marcelo bj

8

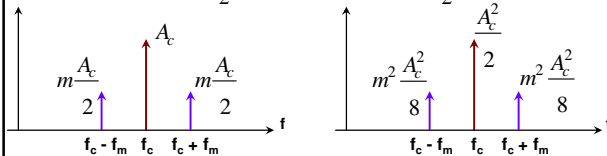
Espectro Unilateral de Amplitude e de Potência

$$s(t) = A_c \left[1 + \frac{A_m}{A_c} \cos(2\pi f_m t) \right] \cos(2\pi f_c t)$$

envoltória

❖ Como $m = A_m/A_c$, desenvolvendo a equação acima tem-se:

$$s(t) = A_c \cos(2\pi f_c t) + m \frac{A_c}{2} \cos[2\pi(f_c - f_m)t] + m \frac{A_c}{2} \cos[2\pi(f_c + f_m)t]$$



AM - I

marcelo bj

9

➤ **Potência Total:**

$$P_T = \frac{A_c^2}{2} + m^2 \frac{A_c^2}{8} + m^2 \frac{A_c^2}{8} = \left(1 + \frac{m^2}{2} \right) P_c$$

➤ **Potência das bandas laterais:**

$$P_{BL} = m^2 \frac{A_c^2}{8} + m^2 \frac{A_c^2}{8} = \frac{m^2}{4} P_c + \frac{m^2}{4} P_c = \frac{m^2}{2} P_c$$

➤ **Eficiência:**

$$E = \frac{P_{BL}}{P_T} \quad \text{Para um tom senoidal:} \quad E = \frac{m^2}{2 + m^2}$$

➤ Admitindo $m = 1$ (100%) $\Rightarrow E = 33\%$

AM - I

marcelo bj

10

Exercícios

AM - I

marcelo bj

11

Modulador Quadrático

❖ Um dispositivo cuja característica entre entrada e saída é quadrática pode ser utilizado para produzir a modulação AM.

$$y = Ax + Bx^2$$

Admitindo que a tensão de entrada seja a soma de uma portadora senoidal com o sinal modulante tem-se:

$$x = E_c \cos(2\pi f_c t) + m(t)$$

$$y = A[E_c \cos(2\pi f_c t) + m(t)] + B[E_c \cos(2\pi f_c t) + m(t)]^2$$

$$y = AE_c \cos(w_c t) + Am(t) + BE_c^2 \cos^2(w_c t) + 2BE_c m(t) \cos(w_c t) + Bm^2(t)$$

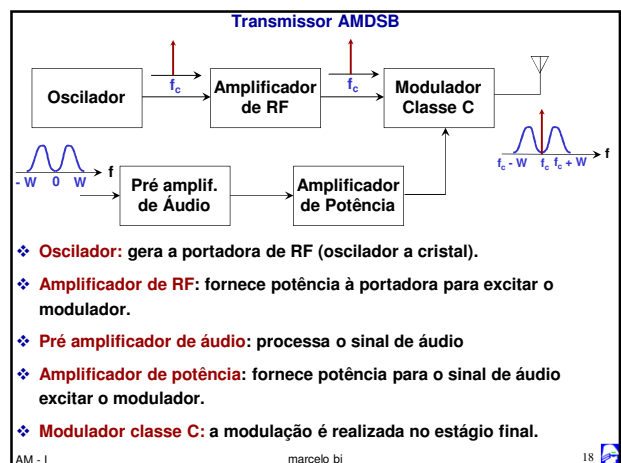
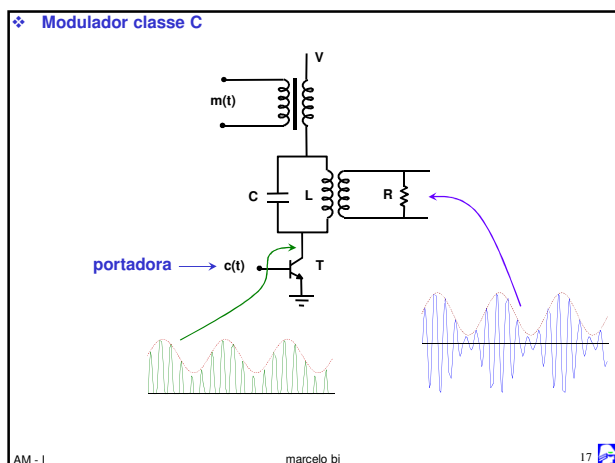
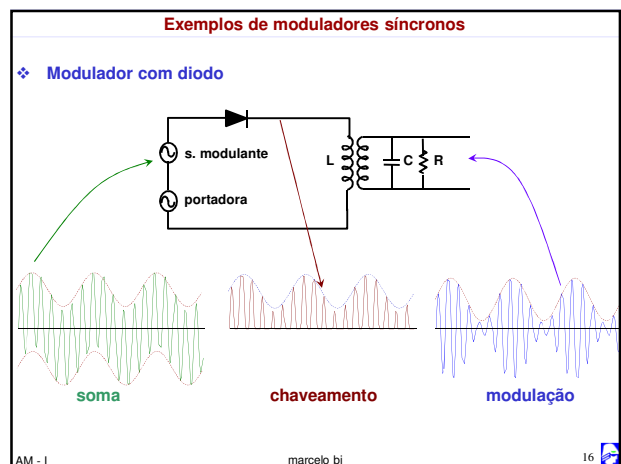
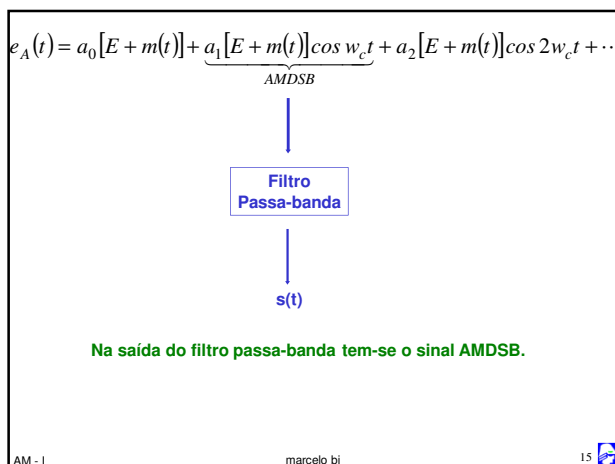
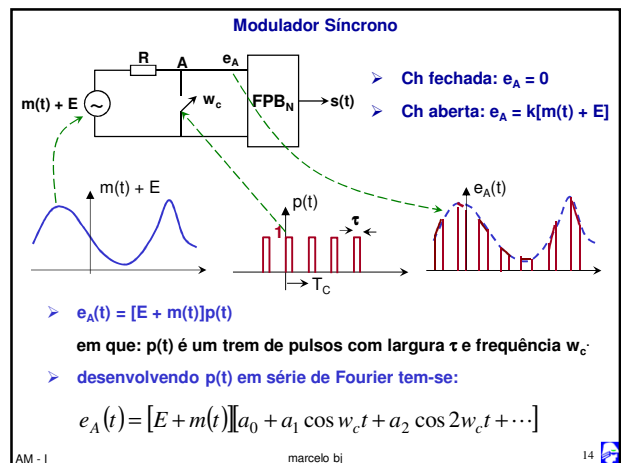
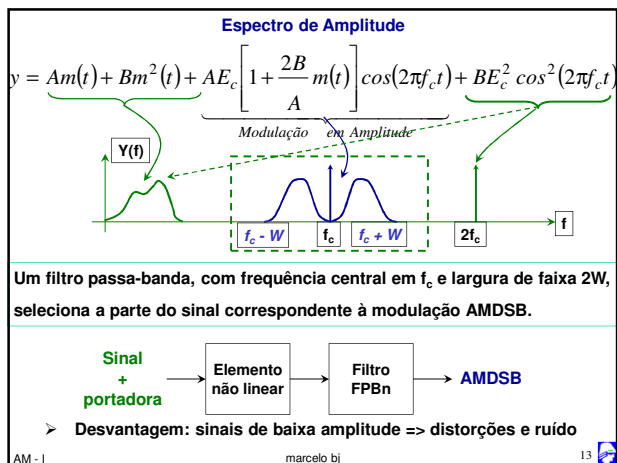
$$y = Am(t) + Bm^2(t) + AE_c \left[1 + \frac{2B}{A} m(t) \right] \cos(2\pi f_c t) + BE_c^2 \cos^2(2\pi f_c t)$$

Modulação em Amplitude

AM - I

marcelo bj

12



Conversão de frequências

❖ Translada o espectro do sinal modulado para uma outra frequência.

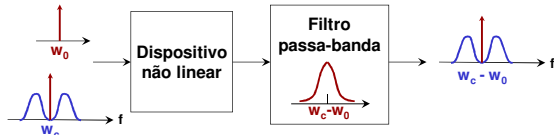
❖ Seja um dispositivo tal que: (dispositivo não linear)

$$e_s = Ae_i + Be_i^2 \quad \text{em que:} \quad e_i = f(t)\cos w_c t + E_0 \cos w_0 t$$

$$e_s = A[f(t)\cos(w_c t) + E_0 \cos(w_0 t)] + B[f(t)\cos(w_c t) + E_0 \cos(w_0 t)]^2$$

$$e_s = Af(t)\cos(w_c t) + AE_0 \cos(w_0 t) + Bf^2(t)\cos^2(w_c t) + BE_0^2 \cos^2(w_0 t) +$$

$$2BE_0 f(t)\cos(w_c + w_0)t + 2BE_0 f(t)\cos(w_c - w_0)t$$



AM - I

marcelo bj

19

Demoduladores AM

❖ **Demodulação:** É o processo de se extrair o sinal de informação da portadora de RF modulada.

❖ **Detector de produto:**

$$s(t) = A_c[1 + m(t)]\cos(2\pi f_c t) \rightarrow \text{multiplicado por } \cos(2\pi f_c t) \rightarrow \text{FPBx} \rightarrow \frac{A_c}{2} m(t)$$

$$s(t) = A_c[1 + m(t)]\cos(w_c t)\cos(w_c t)$$

$$= \frac{A_c}{2}[1 + m(t)] + \frac{A_c}{2}[1 + m(t)]\cos(2w_c t) \xrightarrow{\text{Após o FPBx}} \frac{A_c}{2} m(t)$$

❖ **Problemas:**

- Necessidade de sincronismo de frequência e de fase.
- Uso de Detector coerente.
- O detector de envoltória é mais simples → Utiliza só um diodo.

AM - I

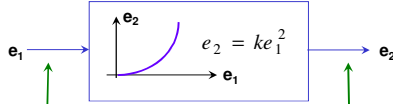
marcelo bj

20

Demodulador Quadrático

❖ Um dispositivo cuja característica entre entrada e saída é quadrática pode ser utilizado para produzir a demodulação AM.

Elemento não-linear



$$e_1 = [A_c + m(t)]\cos(w_c t) \quad e_2 = k[A_c + m(t)]^2 \cos^2(w_c t)$$

$$e_2 = [kA_c^2 + 2kA_c m(t) + km^2(t)]\cos^2(w_c t)$$

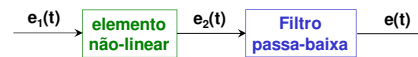
$$e_2 = [kA_c^2 + 2kA_c m(t) + km^2(t)] \frac{1 + \cos(2w_c t)}{2}$$

AM - I

marcelo bj

21

$$e_2 = \frac{k}{2} A_c^2 + kA_c m(t) + \frac{k}{2} m^2(t) + \frac{1}{2} [kA_c^2 + 2kA_c m(t) + km^2(t)] \cos(2w_c t)$$



Na saída do filtro:

$$e(t) = \frac{k}{2} A_c^2 + kA_c m(t) + \frac{k}{2} m^2(t)$$

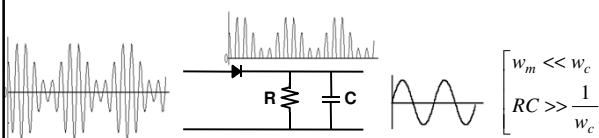
↖ nível DC ↗ sinal modulante ↘ distorção

AM - I

marcelo bj

22

Detector de envoltória:



❖ **Projeto:** Analisa as distorções provocadas pelo detector:

- Distorção devido à não-linearidade do diodo: $|s(t)| > 3 \text{ V}$.
- Utiliza-se diodos de germânio que apresentam menor tensão de condução.

➢ **Distorção por corte diagonal:**

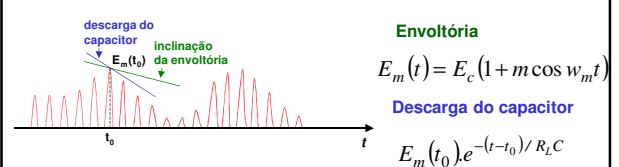
$$m\sqrt{w_m^2 R^2 C^2 + 1} \leq 1$$

AM - I

marcelo bj

23

❖ **Distorção por corte diagonal**



$$\left. \frac{d}{dt} E_m(t) \right|_{t=t_0} \geq \frac{d}{dt} [E_m(t_0)e^{-(t-t_0)/R_L C}]_{t=t_0}$$

$$mE_c w_m \sin(w_m t_0) \leq \frac{E_c}{R_L C} (1 + m \cos(w_m t_0))$$

$$m[w_m R_L C \sin(w_m t_0) - \cos(w_m t_0)] \leq 1 \rightarrow m\sqrt{w_m^2 R_L^2 C^2 + 1} \leq 1$$

AM - I

marcelo bj

24

❖ **Distorção devido ao carregamento do detector**

$$E_m \frac{R_1 + R_2}{R_1 R_2} < \frac{E_c}{R_1} \quad \rightarrow \quad m \leq \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

➤ R_2 é a resistência de carga do detector

AM - I marcelo bj 25

Receptor de rádio frequência sintonizada

❖ **Desvantagem:** a largura de faixa do seletor aumenta com a frequência da portadora, assim, estações adjacentes não são rejeitadas.

❖ **Causa:** O fator de qualidade do circuito tanque ($Q = x_L/R$) é aproximadamente constante.

$f_0 = 540 \text{ kHz} \rightarrow Q = \frac{f_0}{B} = \frac{540 \cdot 10^3}{10 \cdot 10^3} = 54$

$f_0 = 1600 \text{ kHz} \rightarrow B = \frac{f_0}{Q} = \frac{1600 \cdot 10^3}{54} = 30 \text{ kHz}$

AM - I marcelo bj 26

Receptor super-heteródino

❖ A amplificação de RF é realizada sempre em uma mesma frequência:

- Ondas médias: 535 a 1640 kHz.
- A frequência intermediária (FI): 455 kHz
- Largura de faixa constante: 10 kHz
- Oscilador local opera com freq. acima de f_c : $f_0 = f_c + 455 \text{ kHz}$.
- CAG: amplitude constante (diferentes emissoras e *fading*)

Diagrama de blocos

AM - I marcelo bj 27

Receptor super-heteródino

❖ **Amplificador de RF:** responsável pela sintonia e amplificação da emissora desejada.

❖ **Conversor:** consiste de um misturador e um oscilador local.

- Faz o batimento do sinal recebido com o oscilador local e converte a portadora para uma FI de 455 kHz.
- O misturador consiste de um transistor polarizado na região não linear.

misturador

$f_c \rightarrow f_c + f_0$
 $f_0 \rightarrow f_c - f_0$
 $f_c - f_0 = FI = 455 \text{ kHz}$

oscilador local $f_0 = f_c + FI$

$f_0 > f_c$: caso contrário o oscilador interfere na faixa de FI.

AM - I marcelo bj 28

Receptor super-heteródino

- **Amplificador de FI:** Responsável pela maior parte do ganho e seletividade do receptor: FI = 455kHz e B = 10kHz
- **Demodulador:** O mais empregado é o detector de envoltória.
- **CAG:** Utilizado para manter o volume constante apesar das variações na intensidade do sinal na entrada do receptor.
 - Sinal na antena varia de 10 uV a 100mV.
 - Fading ou desvanecimento – variações do sinal ao longo do tempo.
 - Utiliza o nível DC na saída do detector de envoltória.

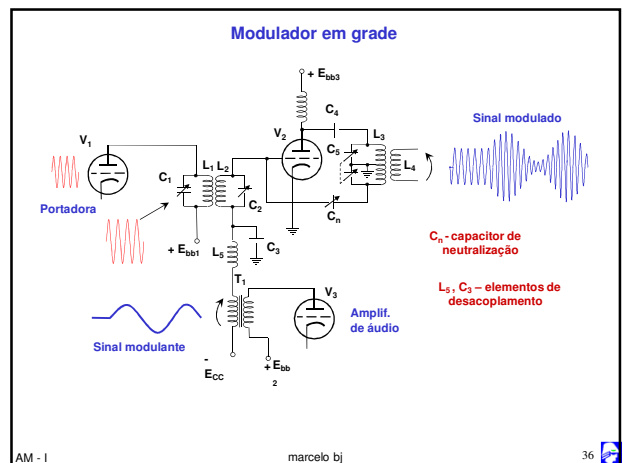
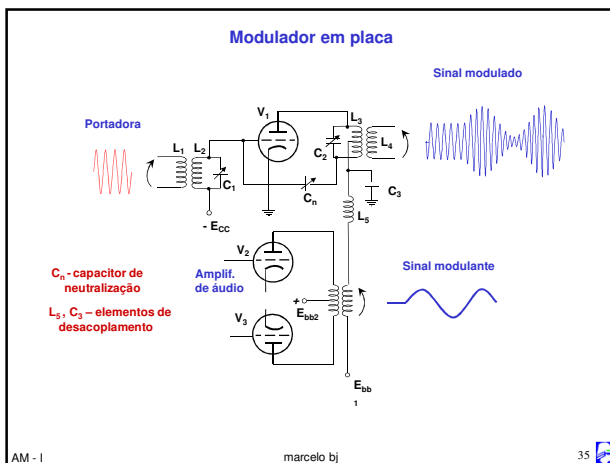
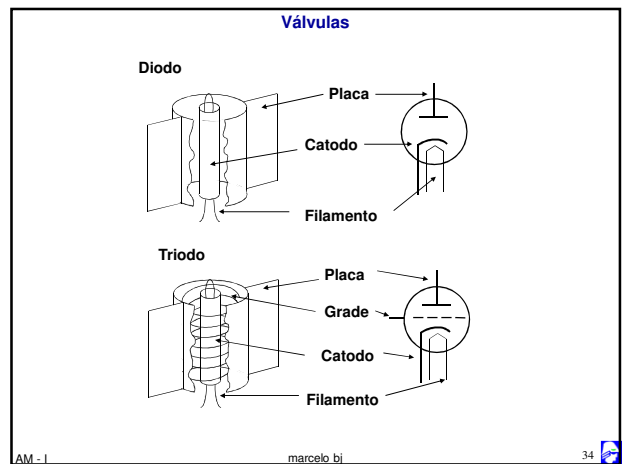
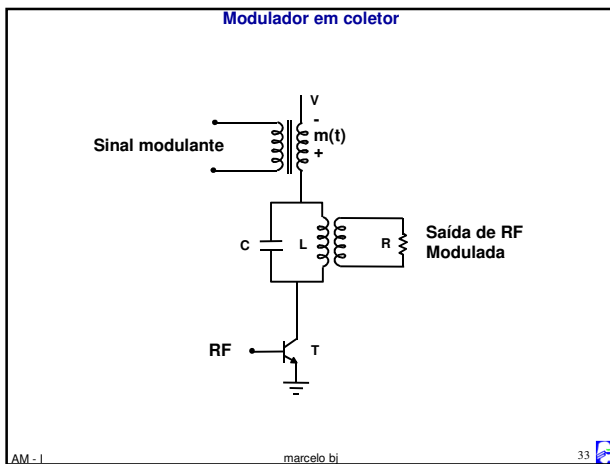
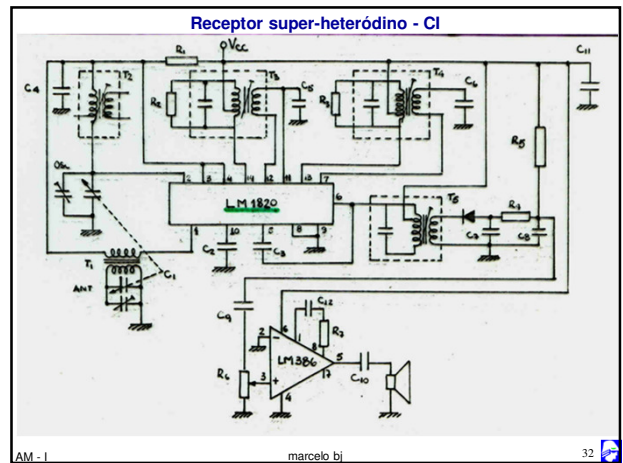
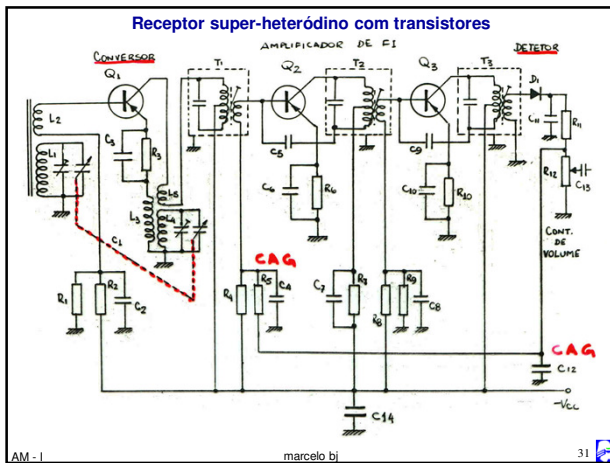
❖ **Frequência Imagem:**

- $f_{\text{IMAG}} = f_c + 2FI$

AM - I marcelo bj 29

Apêndices

AM - I marcelo bj 30



Histórico

- ❖ 3000 AC: Linguagem Escrita
- ❖ 1844: Telegrafia (Morse)
- ❖ 1876: Telefone (Bell)
- ❖ 1897: Telegrafia sem Fio (Marconi)
- ❖ 1890: Transmissão da voz em São Paulo. (Pe. Landell de Moura. 1861-1928)
- ❖ 1918: Receptor AM superheteródino (Armstrong)
- ❖ 1928: Televisão
- ❖ 1928: (Nyquist)
- ❖ 1933: Rádio FM (Armstrong)
- ❖ 1937: PCM (Alex Reeves)
- ❖ 1948: Teoria Matemática da Comunicação (Shannon)
- ❖ 1950: TDM (Bell)
- ❖ 1962: Primeiro PCM (Bell)
- ❖ 1963: Comunicações por Satélite (Bell)
- ❖ 1979: Telefonia Celular (Motorola AT&T)
- ❖ 1996: Personal Communications System



fórmulas

$$\cos(A) \cos(B) = \frac{1}{2} \{ \cos(A+B) + \cos(A-B) \}$$

$$\cos^2(\theta) = \frac{1}{2} [1 + \cos(2\theta)]$$

$$m = \sqrt{m_1^2 + m_2^2 + \dots} \quad \text{para mais de 1 tom senoidal}$$

$$m = \frac{V_{rms} \text{ mensagem}}{V_{rms} \text{ portadora}}$$

$$w_o = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

