# REDES E SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO 3

Prof Engº esp Luiz Antonio Vargas Pinto

# MODULAÇÃO

O processo

# DEFINIÇÃO

- É uma alteração que fazemos no sinal de áudio (informação) que aqui passamos a chamar de **modulante**, ajustando-o sobre um sinal de alta frequência (RF) a qual denominamos a partir daqui de **Portadora (Carrier)**.
- É possível obtermos modulação analógica de três formas:
  - Amplitude ... AM
  - Frequência .. FM
  - Fase ..... PM

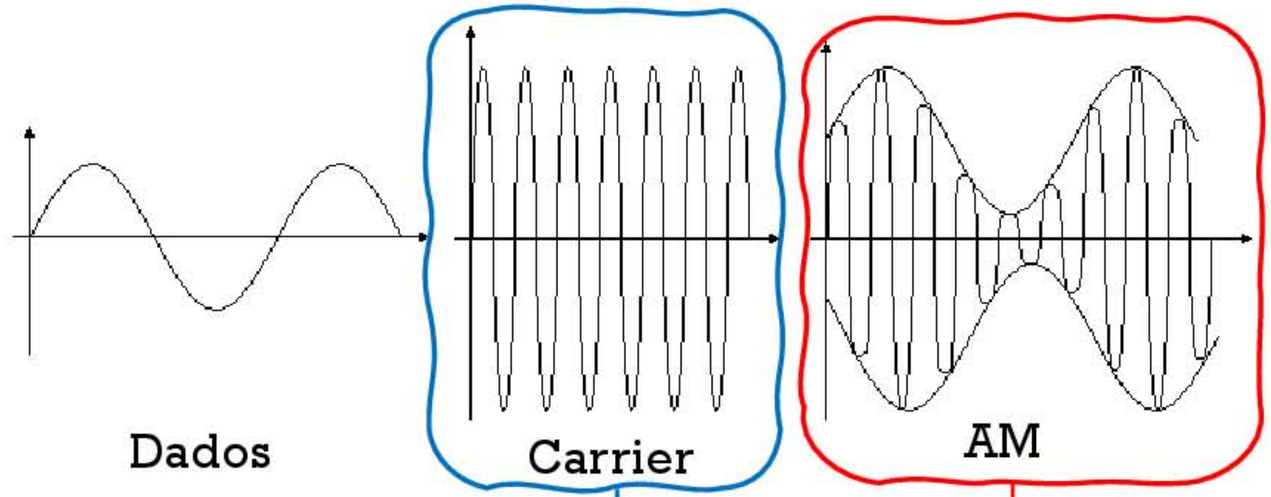
© Prof. Vargas

# AM

Amplitude
Modulada

# AM

- Dados os sinais:




$$\underbrace{V_{AM}(t) = V_C \cos(\omega_c t) + V_M \cos(\omega_m t) \cos(\omega_c t)}_{\text{Equação da modulação AM}}$$

$\omega_M$ ... $2\pi f_M$

$\omega_C$ ... $2\pi f_C$

© Prof. Vargas

- Colocando $Cos(\omega_C t)$ em evidência teremos:

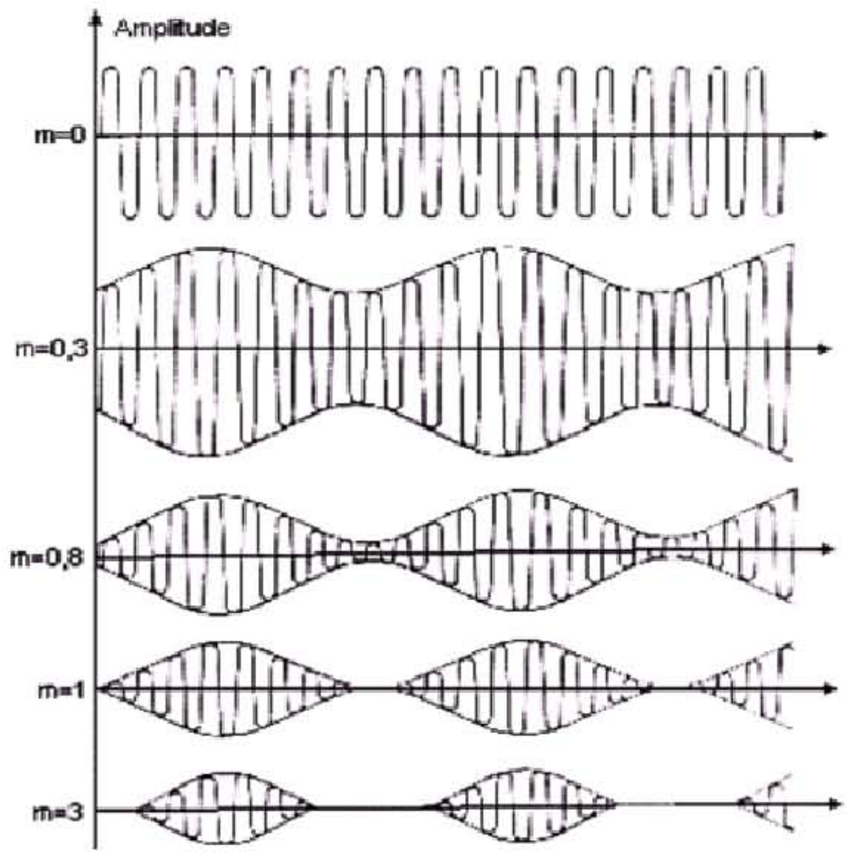
$V_{AM}(t) = [V_C + V_M Cos(\omega_M t)]\ Cos(\omega_C t)$

Colocando $V_C$ em evidência, teremos:

$$\boxed{V_{AM}(t) = V_C\left(1 + \boxed{\frac{V_M}{V_C}} Cos(\omega_M t)\right) \times Cos(\omega_C t)}$$

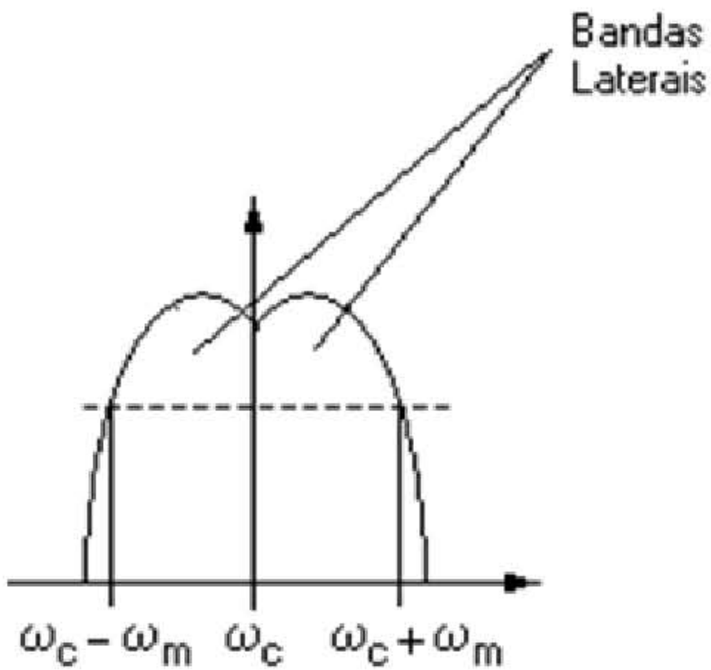
- É o índice de modulação:
- O intervalo útil para modulação é aquele onde $0 \leq m \leq 1$, sendo que:
- $m = 0$ ➔ Submodulação ou não modulação
- $m = 1$ ➔ Sobremodulação ... perda de informação.

© Prof. Vargas

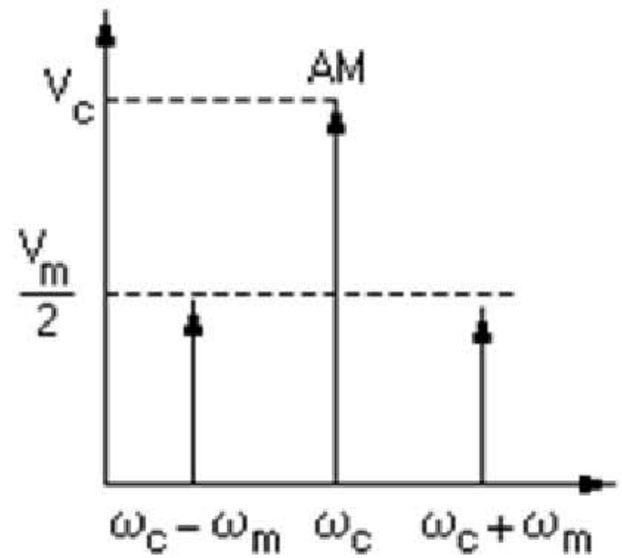



# INDÍCE DE MODULAÇÃO

# ESPECTRO DE POTÊNCIA



Sinal AM



Espectro de potência

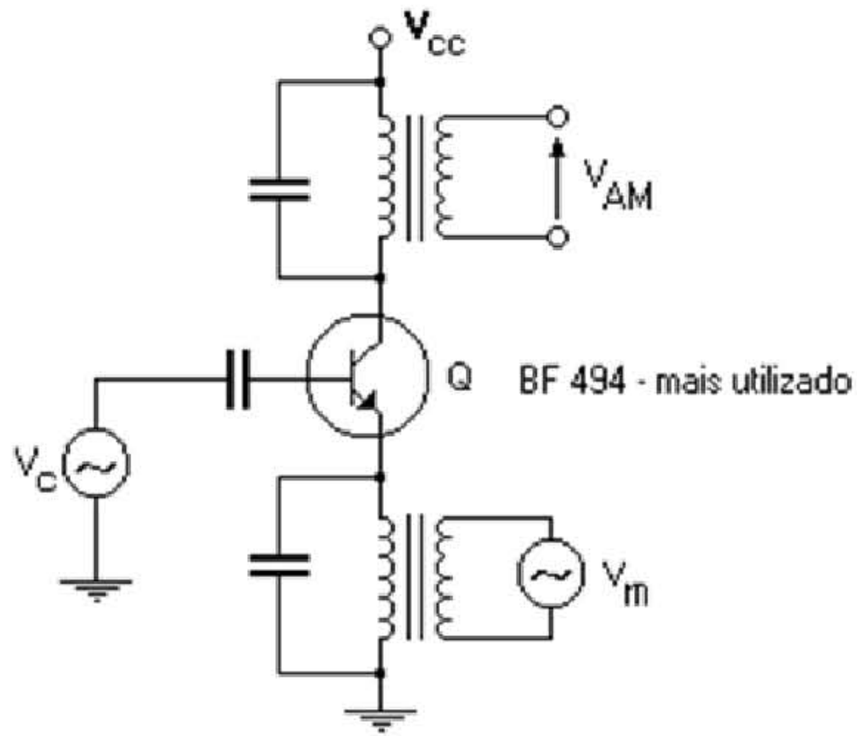
# CIRCUITOS DE AM

- A geração de sinal de AM não pode ser considerada ideal. Atualmente, circuitos digitais modernos o substituem gradualmente com enormes vantagens.
- Desvantagens
  1. Perdas de potência nas bandas laterais (quase 50%)
  2. Dependência da Ionosfera
  3. Alta sensibilidade a ruídos
- Vantagens
  1. Simplicidade nos processo de recepção e transmissão
  2. Baixo custo operacional

© Prof. Vargas

# DESCRIÇÃO

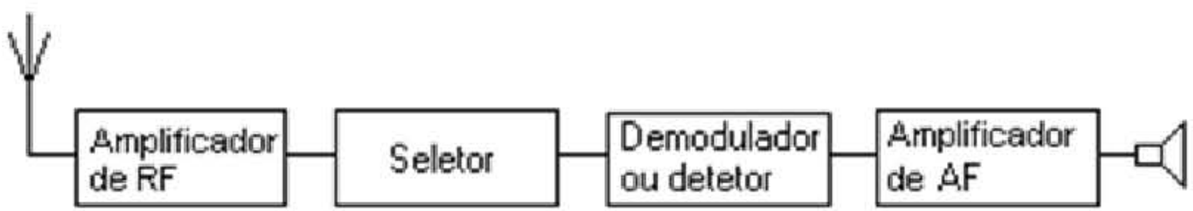
- O sinal da portadora ($V_C$) é modulado por $V_M$ (áudio) gerando através de Q o sinal $V_{AM}$ (nesse caso DSB Double Side Band)




© Prof. Vargas

# RECEPÇÃO

- O sinal OEM, embora de longo alcance é um sinal de baixa potência, e assim a recepção se processa em níveis de amplitude baixíssimas. Para a recepção devemos ter, no mínimo:

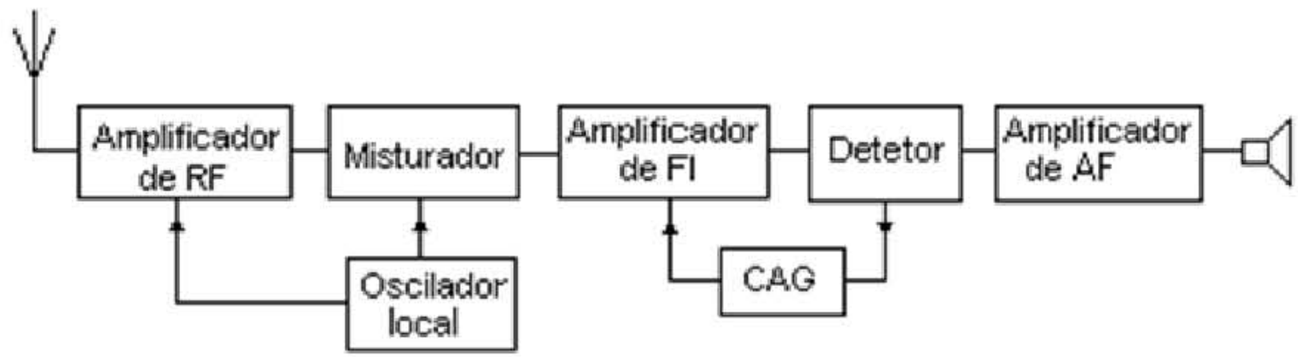



1. O seletor não é ideal, de modo que ele não só seleciona a frequência desejada mas também as adjacentes.
2. Isto significa que o amplificador de RF deve ser extremamente justo.

© Prof. Vargas

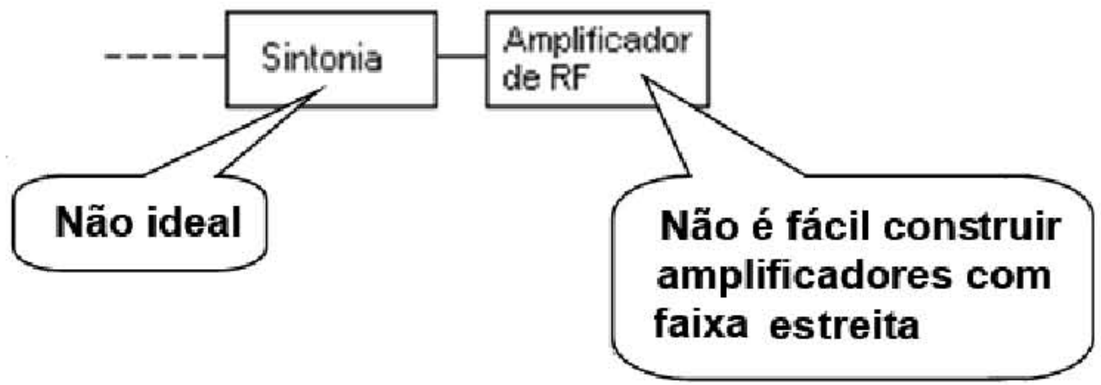
# RECEPTOR SUPER-HETERÓDINO

- Devido a tantos inconvenientes, somado ao crescimento do número de estações transmissoras, em 1933, o major Edwin Howard Armstrong, criou o sistema "super-heteródino", o qual utilizava uma técnica chamada de Batimento e complementa o processo seletivo com uma CAG Controle Automático de Ganho.




© Prof. Vargas

# PROPOSTA




- Para a modulação em AM, ficou aprovada uma Frequência Intermediária FI de 455 KHz.
- Mas um sistema misturador pode gerar duas frequências, a saber, a diferença e a soma:

$$\underbrace{|f_{OL} - f_S|}_{\text{Preferida}} \leq f_{FI} \leq |f_{OL} + f_S|$$

$f_{OL}$ = frequência do Oscilador Local

$f_S$ = frequência Sintonizada

$f_{FI}$ = frequência Intermediária

Em AM a faixa sintonizável está entre 535 KHz e 1620 KHz

© Prof. Vargas

# CONTINUANDO...

1. Se $f_{FI} = |f_{OL} - f_S|$

$$455 = f_{OL} - 535 \Rightarrow f_{OL} = 990 \text{ KHz}$$

$$455 = f_{OL} - 1620 \Rightarrow f_{OL} = 2075 \text{ KHz}$$

$$\boxed{\frac{990}{2075} \cong \frac{1}{2}}$$

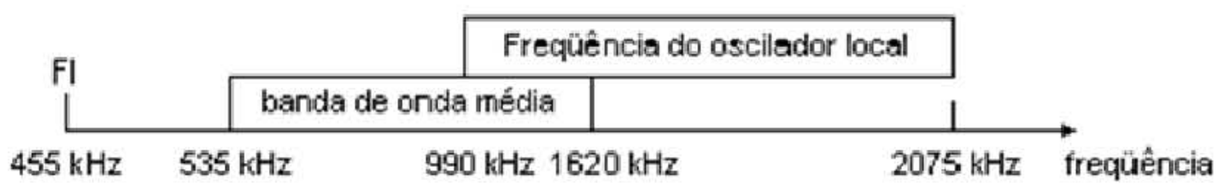
2. Se $f_{FI} = |f_{OL} + f_S|$

$$455 = f_{OL} + 535 \Rightarrow f_{OL} = 80 \text{ KHz}$$

$$455 = f_{OL} + 1620 \Rightarrow f_{OL} = 1165 \text{ KHz}$$

$$\boxed{\frac{80}{1165} \cong \frac{1}{15}}$$

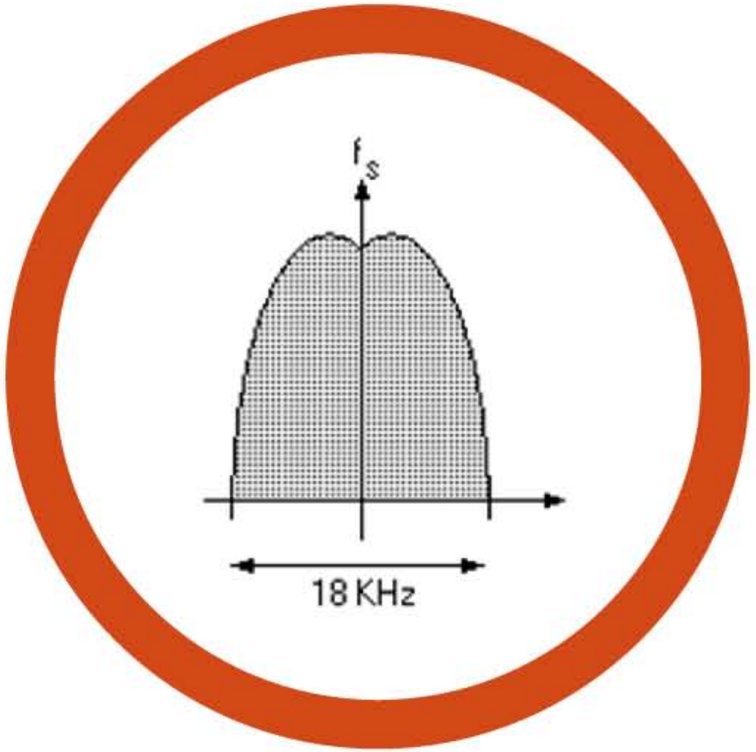
**Conclusão:** o 1º é mais fácil de construir por apresentar uma proporção máxima/mínima menor e daí o quadro de AM fica sendo:



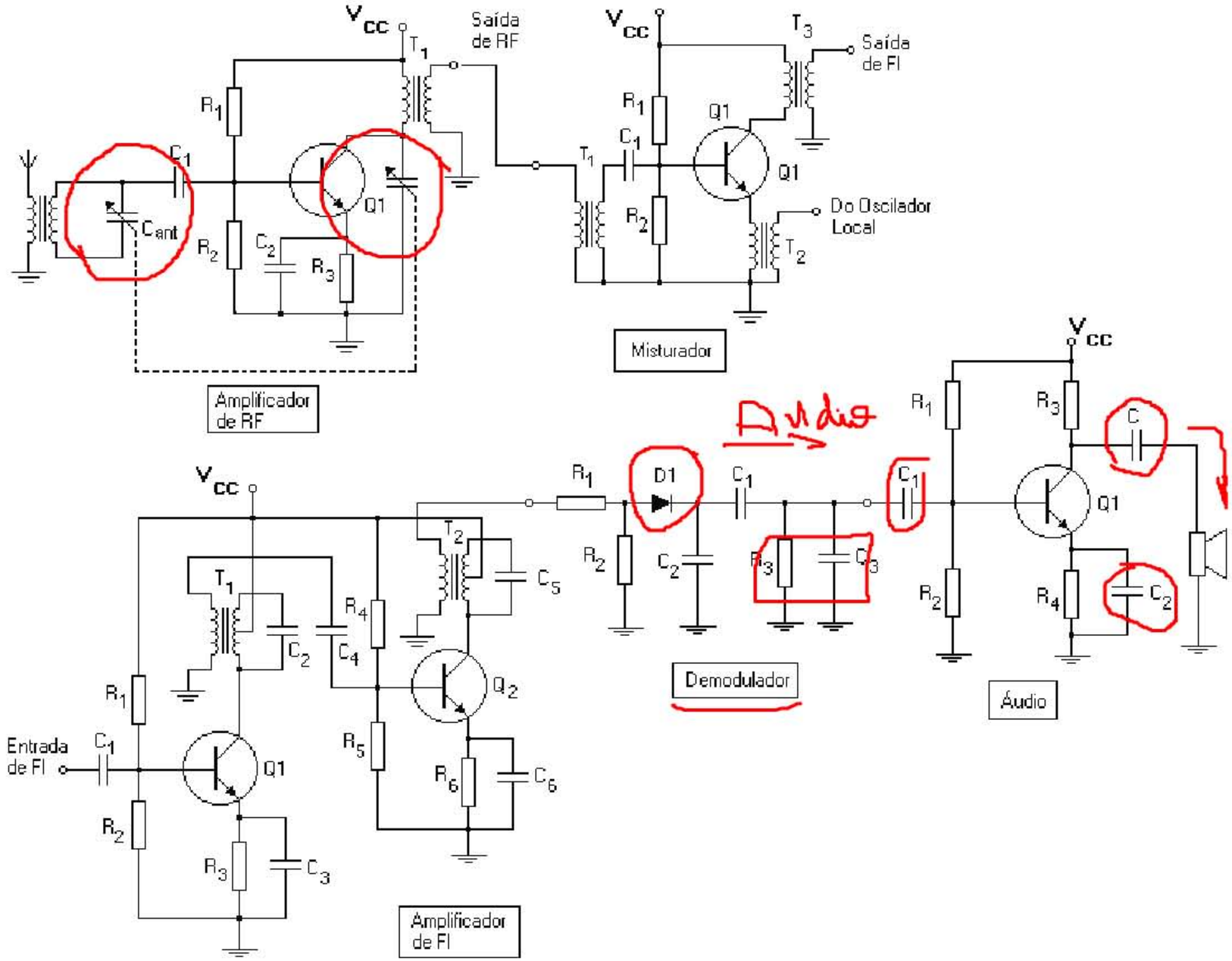

© Prof. Vargas

# ALÉM DISTO:

A faixa ideal de cada $f_S$ é 9 KHz para cada banda lateral



# CIRCUITO COMPLETO



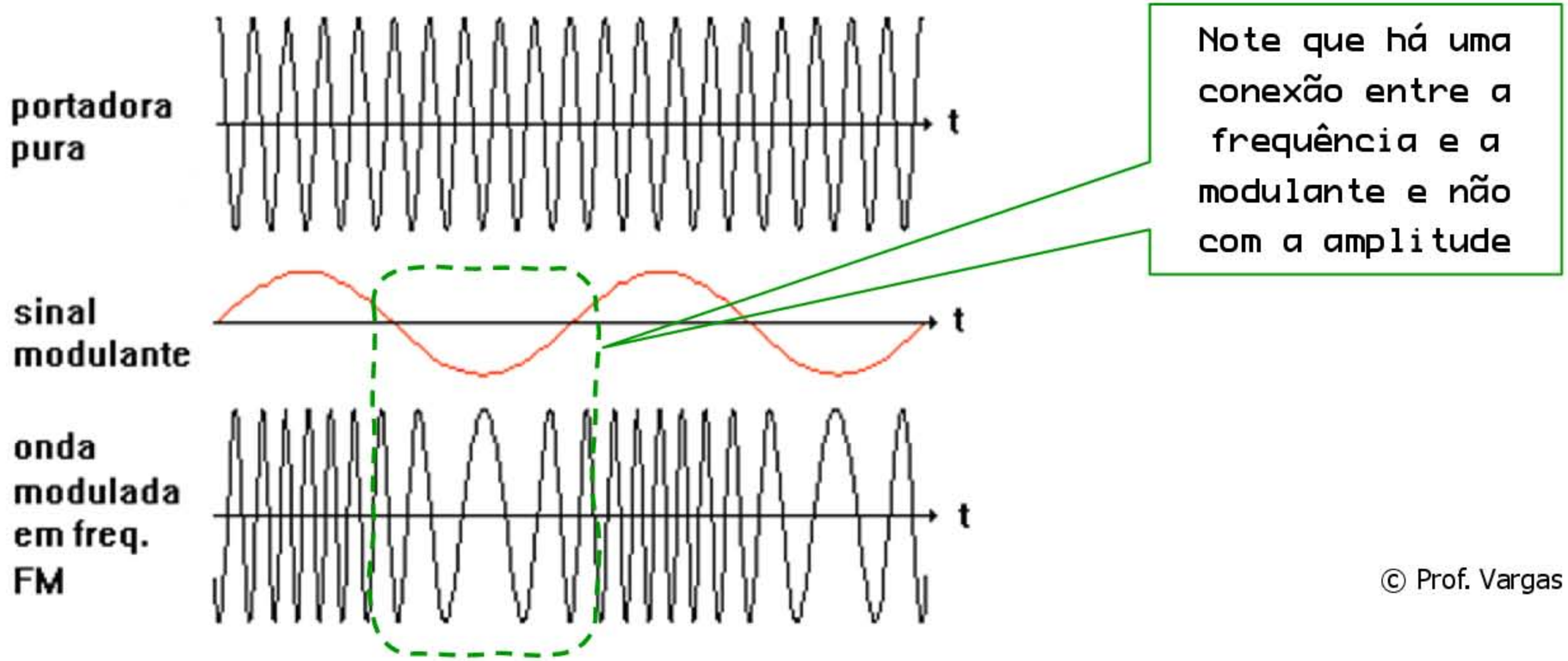

© Prof. Vargas

# Frequência Modulada

$$V_{FM}(t) = V_C \cos\left[\omega_C(t) + k_F V_m \int_{-\infty}^{t} \cos \omega_m \lambda \, d\lambda\right]$$

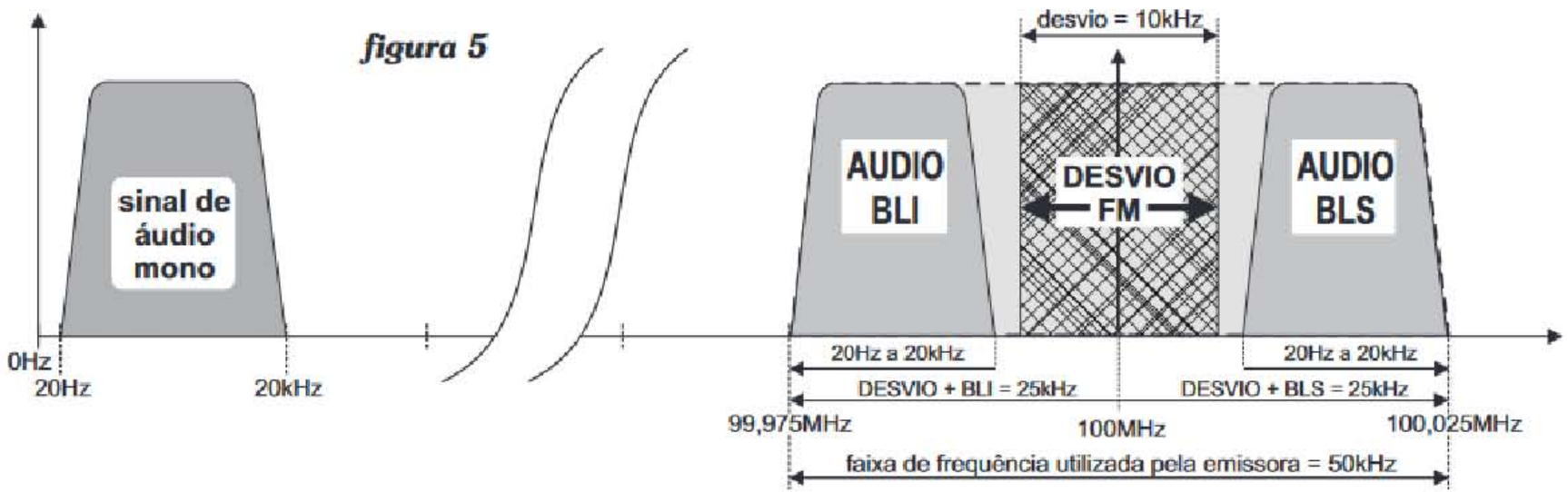
# FREQUÊNCIA MODULADA

- Basicamente, muitos circuito de FM tem as mesmas características de AM
- Por essa razão basearemos nosso estudo apenas naquelas características que diferem de AM.
- A modulação em FM é muito mais imune a ruídos do que a modulação AM devido ao fato que a informação (Modulante) está na frequência e não na amplitude. Fato interessante esse aliás porque a amplitude de um sinal de FM é constante, sendo que o que muda é apenas a frequência.




© Prof. Vargas

# MODULAÇÃO EM FM

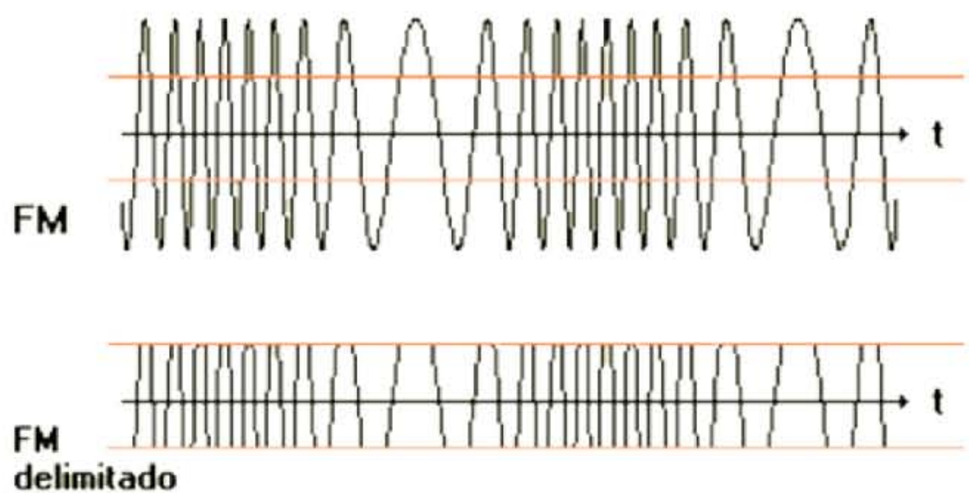



- Conforme podemos observar o sinal modulante estará em torno da frequência da portadora delimitador por uma Banda Lateral de 40 KHz

© Prof. Vargas

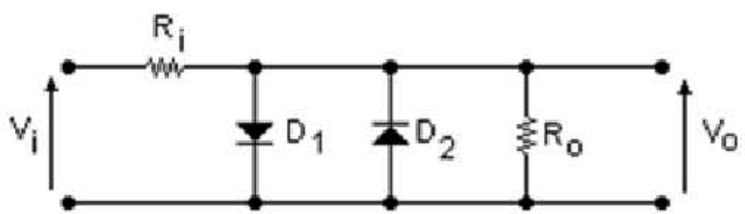
# CIRCUITO LIMITADOR

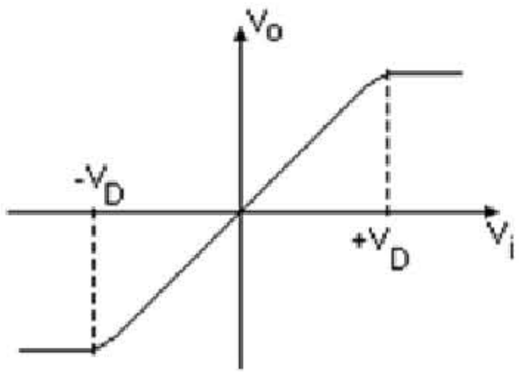
- Um detector de FM deve recuperar as informações da frequência e/ou fase da onda de FM e, ainda, ignorar as variações de amplitude.
- Infelizmente a maioria dos detectores (ou demoduladores) de FM também demodulam AM em uma certa proporção
  - E dado que a envolvente de uma onda de FM também é afetada por ruído, falta de linearidade de etapas amplificadoras, etc., estas variações de amplitude podem ser detectadas e aparecerão na saída como distorção ou ruído.
- Receptores de FM incorporam um circuito limitador que elimina as variações de amplitude da envolvente antes de efetuar a detecção propriamente dita




© Prof. Vargas

# LIMITADOR



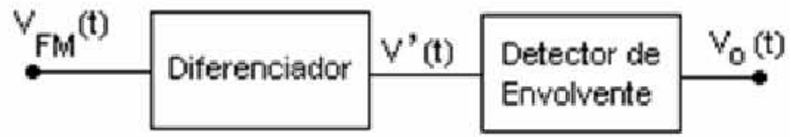




- Em muitos casos o limitador não é um circuito separado
  - É parte integral dos amplificadores de FI
- No limitador ideal qualquer sinal de entrada é convertido em um sinal de saída de amplitude constante.
- No limitador real, a amplitude do sinal de entrada deve estar em um nível específico - limiar de limitação
- FI que no circuito de FM será FI = 10.7 MHz para a faixa comercial de FM
  - de 87.8 MHz a 108 MHz
- E ainda utiliza o mesmo princípio de AM com um circuito Oscilador Local (OL) para fazer o batimento e obter o sinal de informação oriundo da frequência

© Prof. Vargas

# DEMODULADOR

- De modo geral, a técnica dos demoduladores de FM usam este modelo:




- O sinal de FM com amplitude limitada é **diferenciada** e o sinal resultante passa por um **detector de envolvente** para recuperarmos a informação de áudio. Para entender bem, derivaremos a equação do sinal de FM.

valor proporcional ao sinal original da informação.

$$V_{FM}(t) = V_C \cos\left[\omega_C(t) + k_F V_m \int_{-\infty}^{t} \cos\omega_m \lambda \, d\lambda\right]$$

$$\frac{d}{dt}[V_{FM}(t)] = -V_C\,(\omega_c + k_F V_m \cos\omega_m t) \times \sin\left[\omega_C(t) + k_F V_m \int_{-\infty}^{t} \cos\omega_m \lambda \, d\lambda\right]$$

- Passando o sinal (equação) através de um detector de envolvente
- Só permanece $V_C(\omega_C + k_F V_M \cos \omega_m t)$

- Colocando $\cos(\omega_C t)$ em evidência ter

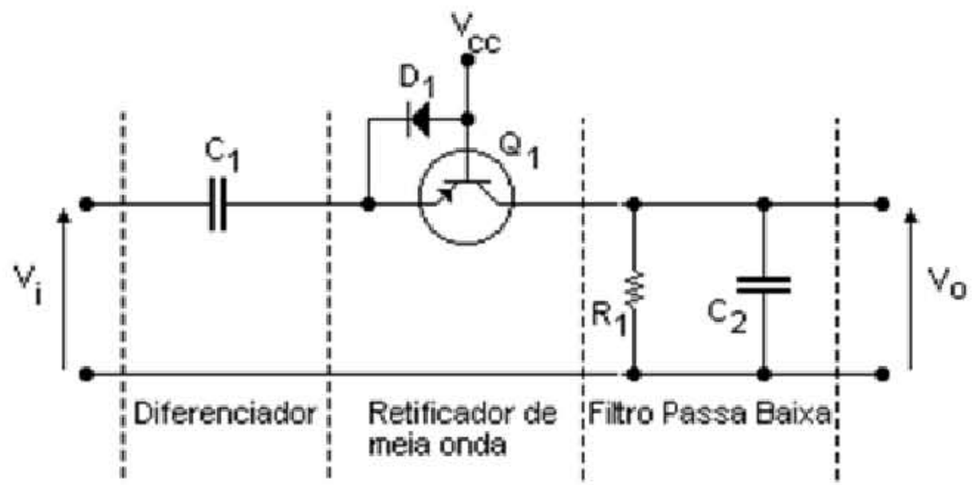
$V_{AM}(t) = [V_C + V_M \cos(\omega_M t)] \cos(\omega_C t)$

© Prof. Vargas

# MÉTODOS DE DIFERENCIAÇÃO

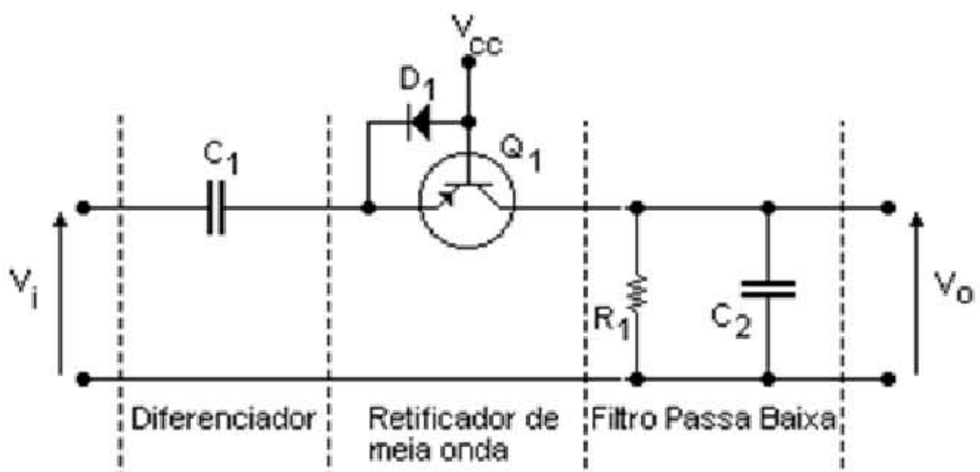
- Existem 3 métodos básicos:
  1. (a) Diferenciação direta
  2. (b) Diferenciação no domínio da frequência
  3. (c) Diferenciação com retardo de tempo

- Para estudo, veremos apenas o Diferenciação Direta:




© Prof. Vargas

# CIRCUITO DIFERENCIADOR




$$V_c(t) = \frac{1}{C}\int_0^t i(t)\,dt \quad \text{ou}$$

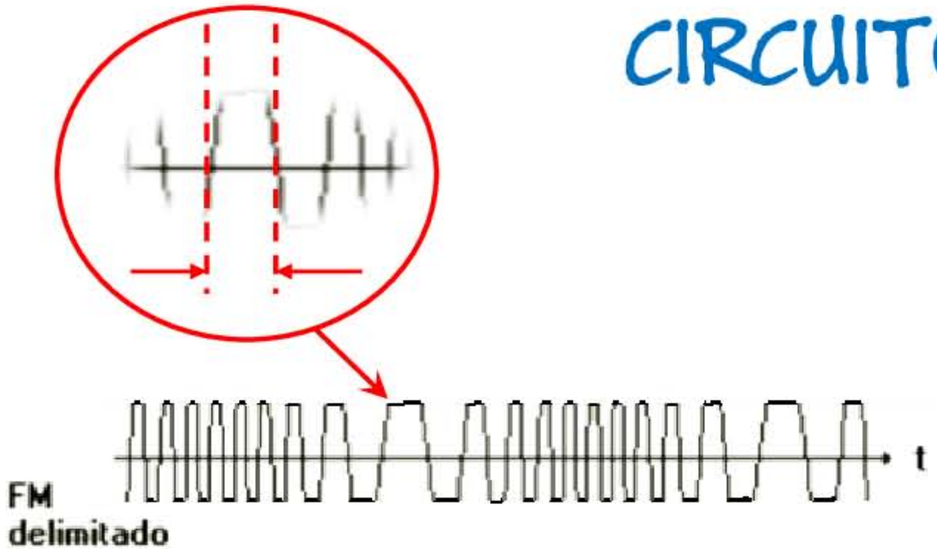
$$i(t) = C\frac{dV(t)}{dt}$$

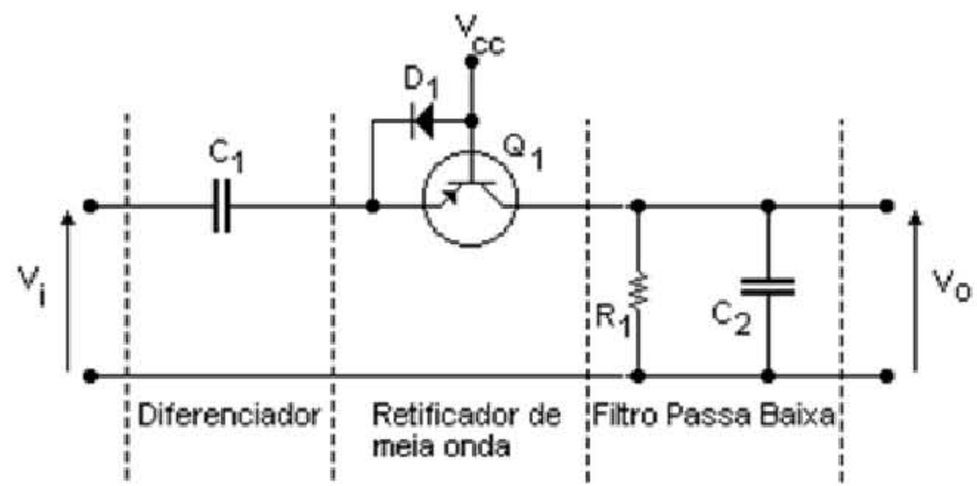
- O capacitor $C_1$ é o elemento de diferenciação. O emissor de $Q_1$ está conectado a terra para CA através de $D_1$.
  - A junção base-emissor de $Q_1$.
- Portanto a corrente através de $C_1$ é dada por:

$$i_C(t) = \frac{dV_i(t)}{dt}$$

© Prof. Vargas

# CIRCUITO DIFERENCIADOR




- Somente quando $i_C$ está indo em direção à $Q_1$ e circulará através deste (sentido direto), o que mostra que o circuito opera como um retificador de meia onda.
- $R_1$ e $C_2$ filtram a onda retificada e a saída é portanto o sinal de informação requerida.
- Este demodulador tem a desvantagem de distorcer o sinal de saída já que o diodo $D_1$ e a junção BE de $Q_1$ não são ideais, e assim $C_1$ não é um diferenciador ideal.

© Prof. Vargas

# REFERÊNCIAS


- Vargas Pinto, L.A. - Apostila de telecomunicação 2021 www.vargasp.com\download

Até a próxima !

© Prof. Vargas