



# SEL 360 e 616

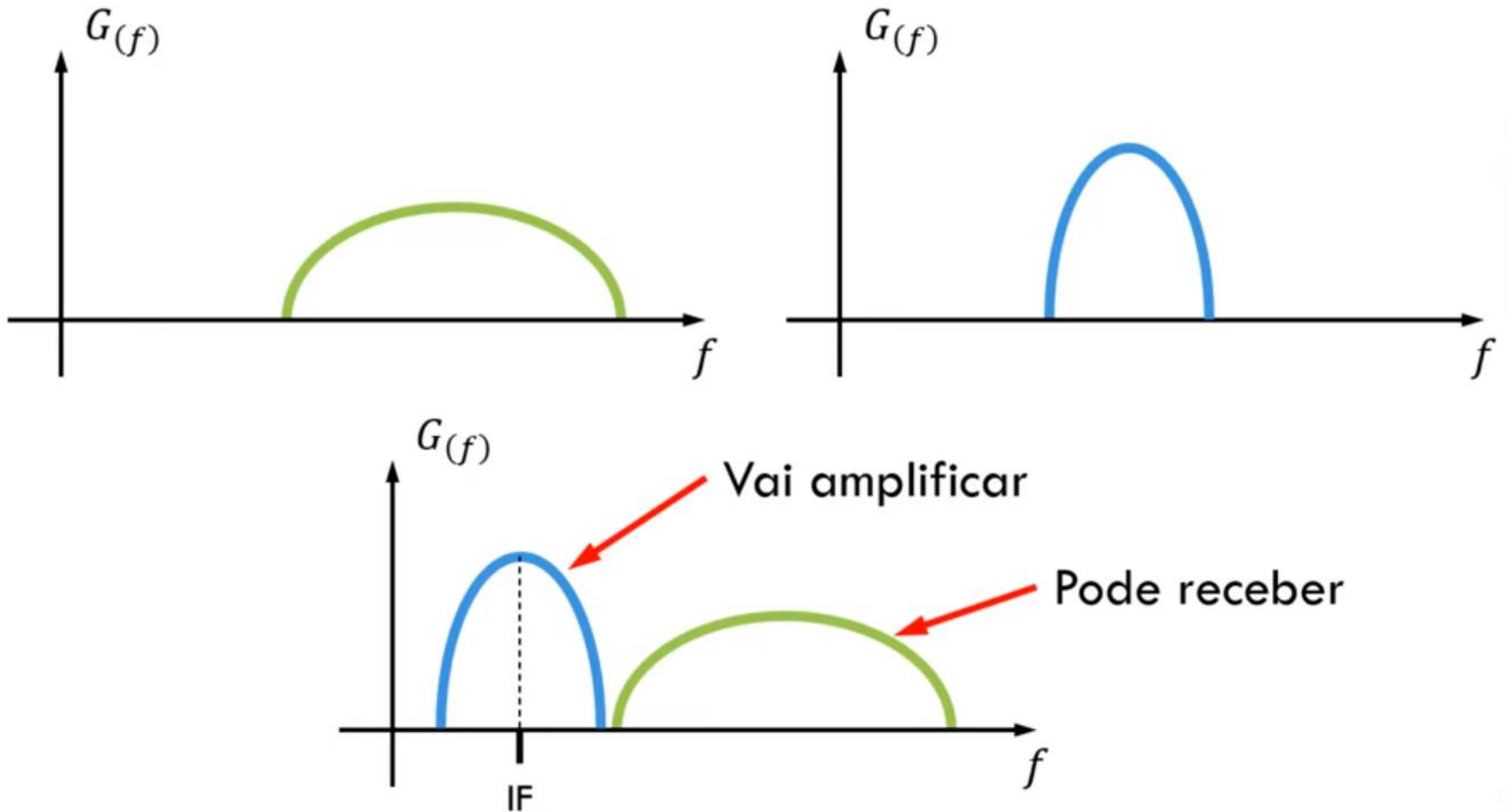
## Princípios de Comunicação

Tania Regina Tronco  
trtronco@gmail.com



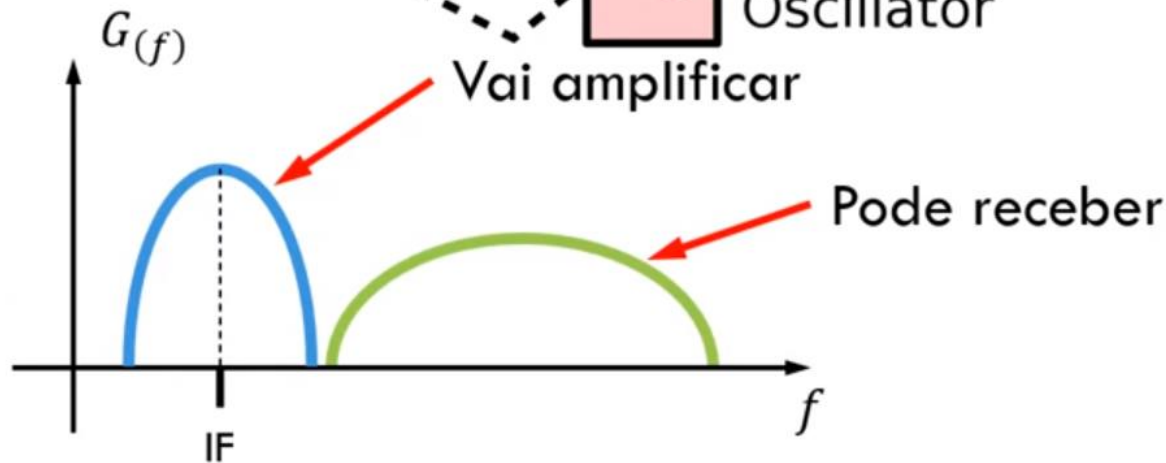
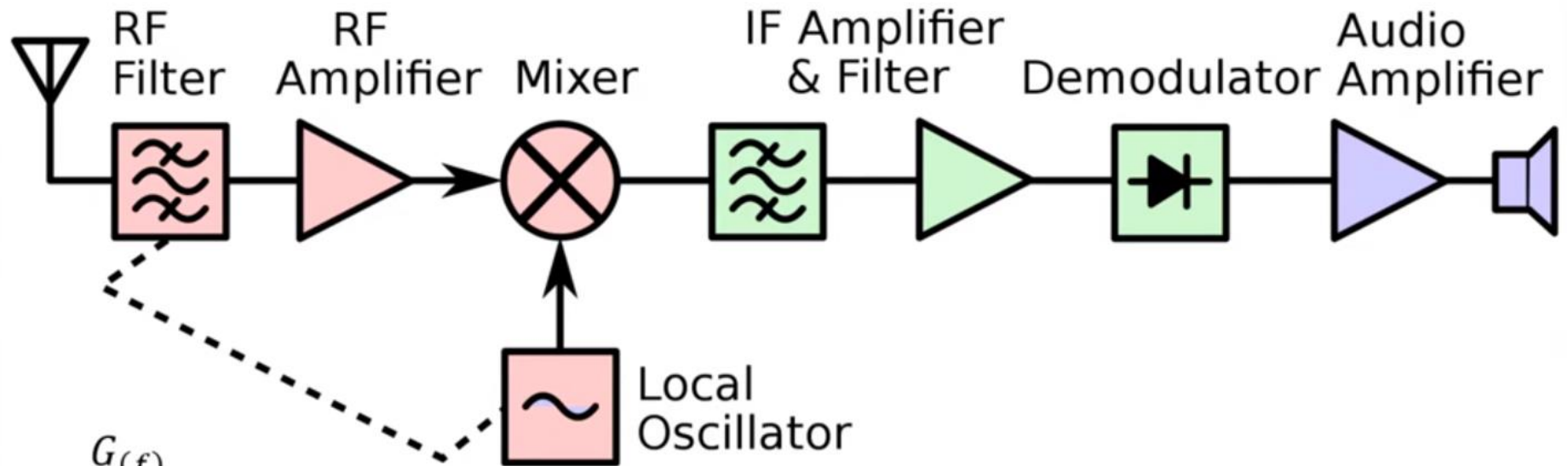


# Receptor Superheterodino



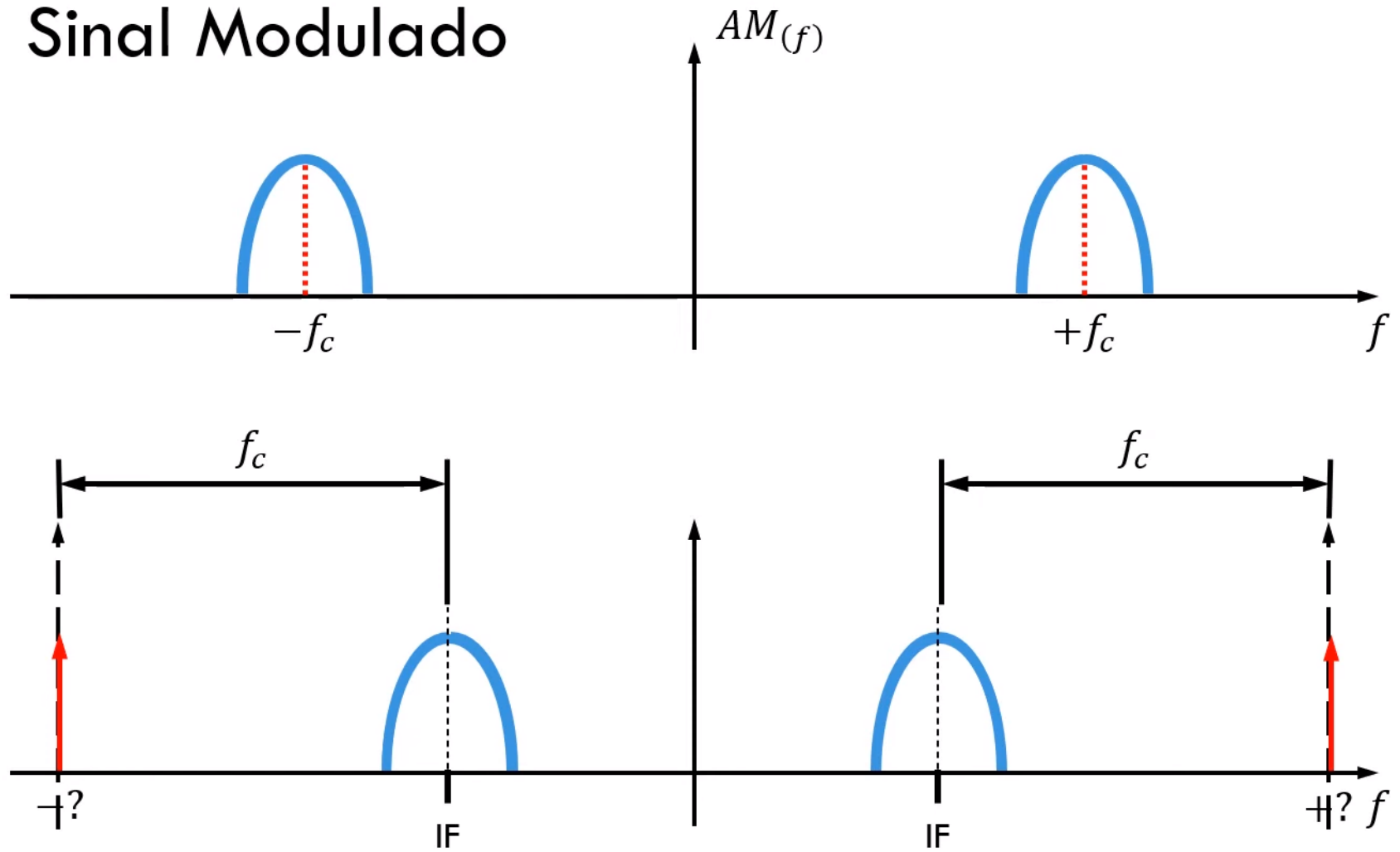


# Receptor Superheterodino



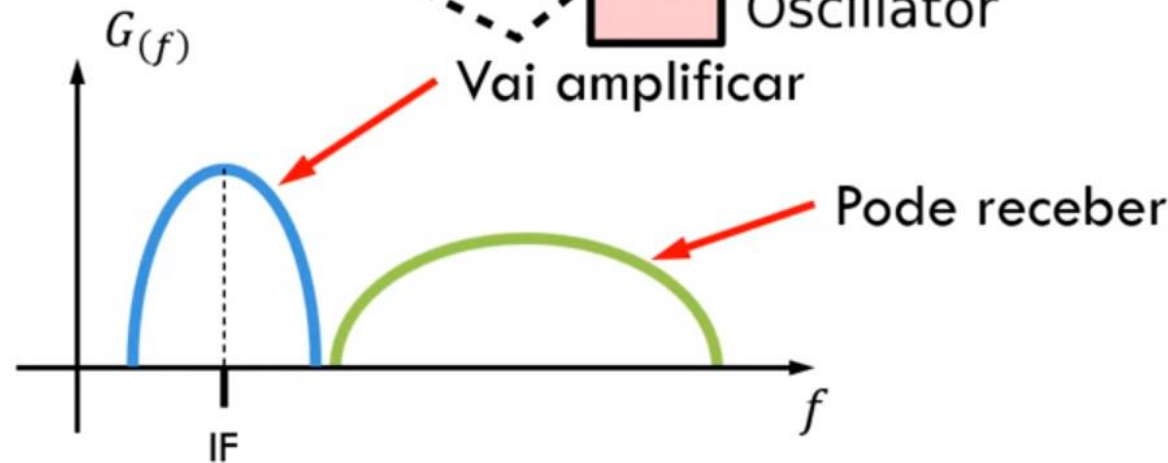
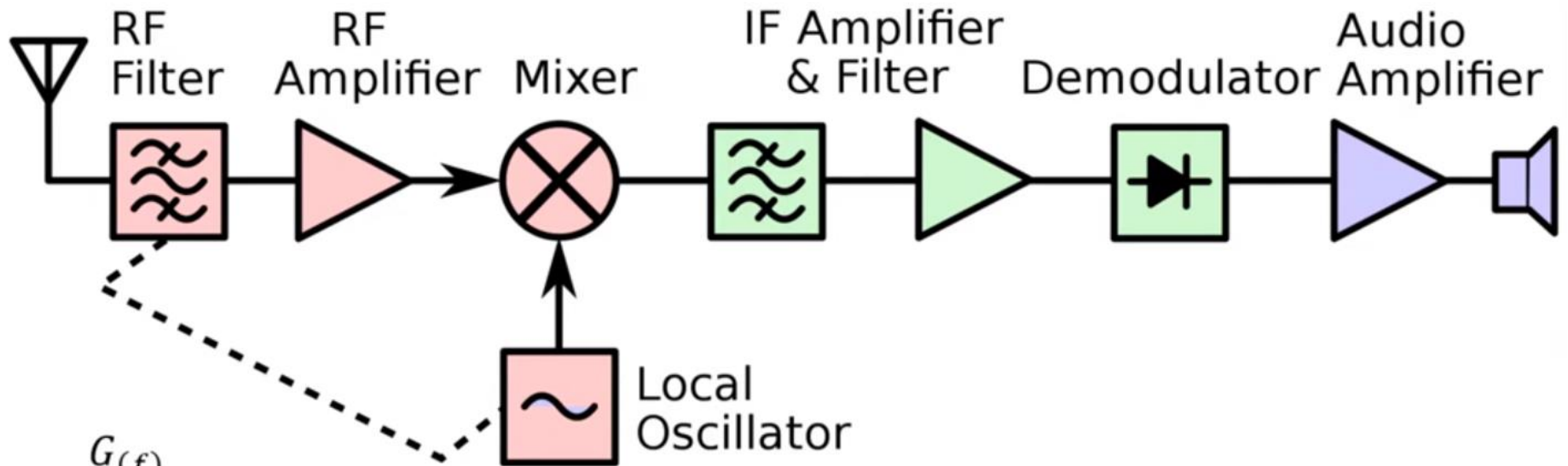


# Sinal Modulado





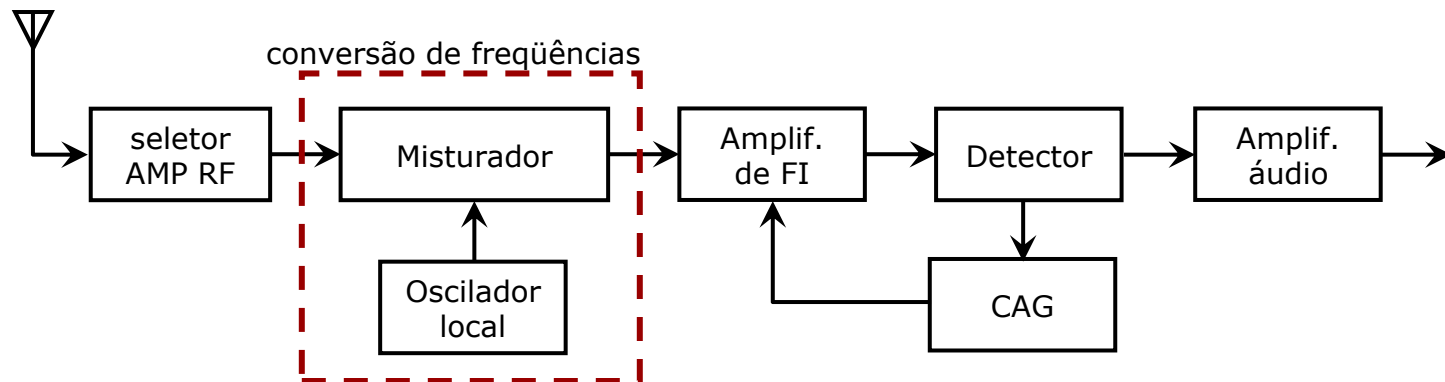
# Receptor Superheterodino





# Receptor Super-Heteródino

- É uma evolução do receptor de Rádio Frequência Sintonizada (RFS) e que até hoje permanece como padrão em receptores comerciais AM-DSB.
- A fim de evitar alteração da banda passante com a variação da frequência, neste tipo de receptor a maioria dos circuitos sintonizados funciona em uma frequência fixa e pré-determinada, chamada frequência intermediária (FI). Isso é possível já que a etapa de RF é um filtro que seleciona a estação desejada e, com conjunto com ela, é variada a frequência de oscilação do oscilador local. Essa variação simultânea é conseguida utilizando-se um capacitor variável de dupla seção, onde os eixos que efetuam a variação das duas capacitâncias são mecanicamente interligados.
- A função executada pelo misturador é de simplesmente efetuar o produto entre as duas tensões por ele recebidas, ou seja, o produto entre o sinal da emissora recebida e o selecionado pelo oscilador local.
- Como a frequência do sinal gerado pelo oscilador local varia juntamente com a frequência de sintonia da etapa de RF, é possível manter a diferença entre elas sempre constante e igual à frequência intermediária.



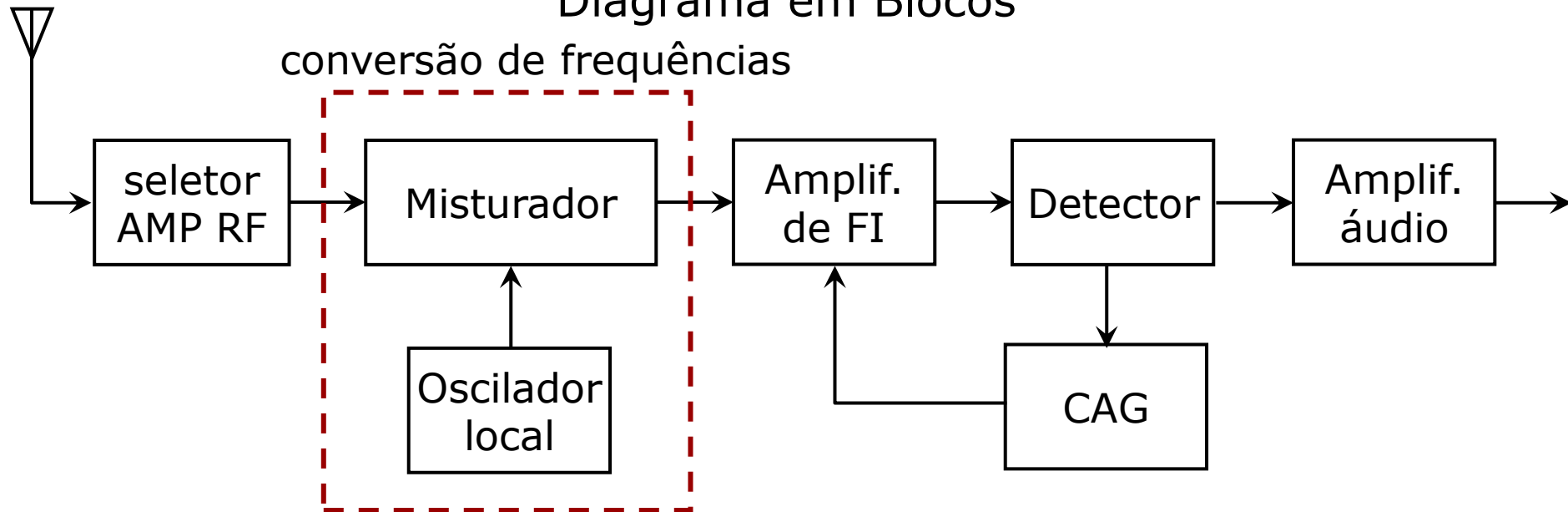


# Receptor Super-Heteródino

- ❖ 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  $f_c$ :  $f_0 = f_c + 455$  kHz.
  - CAG: amplitude constante (diferentes emissoras e *fading*)

## Diagrama em Blocos

conversão de frequências





# Etapa de RF

- É normalmente composta por um circuito LC de sintonia variável através do capacitor, enquanto o indutor exerce a função de acoplamento à antena, ou muitas vezes a própria função da antena.
- Nos receptores de maior penetração popular, pela sua portabilidade, baixo custo e desempenho satisfatório, o próprio indutor de RF é bobinado sobre um núcleo de ferrite, fazendo o papel de antena e mantendo o acoplamento magnético com um enrolamento secundário (enrolado sobre o mesmo núcleo), que irá transportar o sinal para o transistor misturador.
- O único inconveniente desse tipo de antena é que, pelo fato do ferrite tornar a recepção muito diretiva, o receptor pode sintonizar fracamente estações que não estejam na direção de sintonia preferencial do núcleo de ferrite, que é a perpendicular ao seu eixo longitudinal. Isso explica porque às vezes é necessário mudar a posição de um rádio portátil para melhorar a recepção de uma certa emissora.





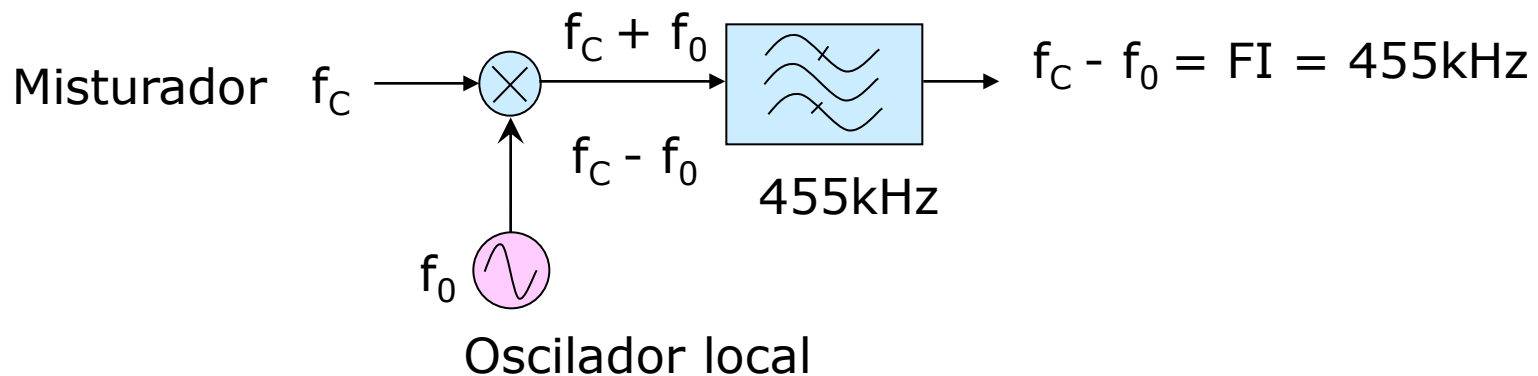
# Receptor super-heteródino

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 de RF recebido com o sinal do oscilador local e converte a frequência da portadora para uma FI=455kHz.

O misturador consiste de um transistor polarizado na região não linear de sua característica, e recebe na base o sinal de RF escolhido na etapa de entrada e recebe no emissor a frequência do OL. O misturador gera no coletor a diferença entre as frequências, pois trabalha com o coletor sintonizado na FI que vale 455 KHz.



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



# Oscilador Local

- Geralmente aproveita a corrente de coletor do transistor do misturador para realimentá-la através de um circuito sintonizado ao emissor daquele mesmo transistor, estabelecendo assim a realimentação positiva que leva o conjunto a oscilar.
- Existe também a possibilidade de se usar um oscilador convencional a transistor, cuja frequência varie em conjunto com a frequência da etapa de RF por meio de um capacitor variável de dupla seção.



# Etapa de FI

- É constituída, via de regra, por dois amplificadores transistorizados, com os coletores sintonizados em 455KHz por circuitos LC, com uma banda passante de aproximadamente 10 KHz.
- As funções desta etapa são basicamente aumentar a seletividade do receptor usando dois amplificadores sintonizados; proporcionar um alto ganho no sinal que sai do misturador, pois o ganho deste é muito baixo; e proporcionar a possibilidade de controle do ganho total dado pelo amplificador de FI.



# Detector

- É um simples detector de envoltória, conforme já vimos, com alguns aperfeiçoamentos, como melhor filtragem da portadora e fornecimento de tensão de saída com polaridade compatível para atuação do CAG.



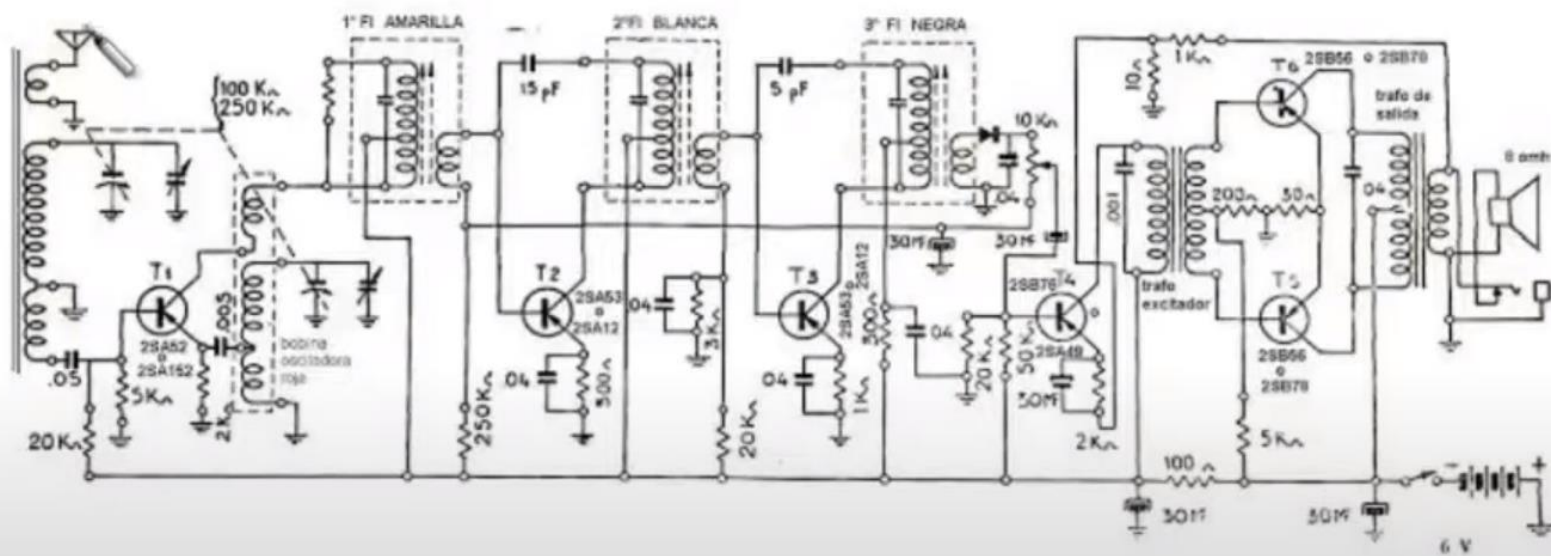
# CAG

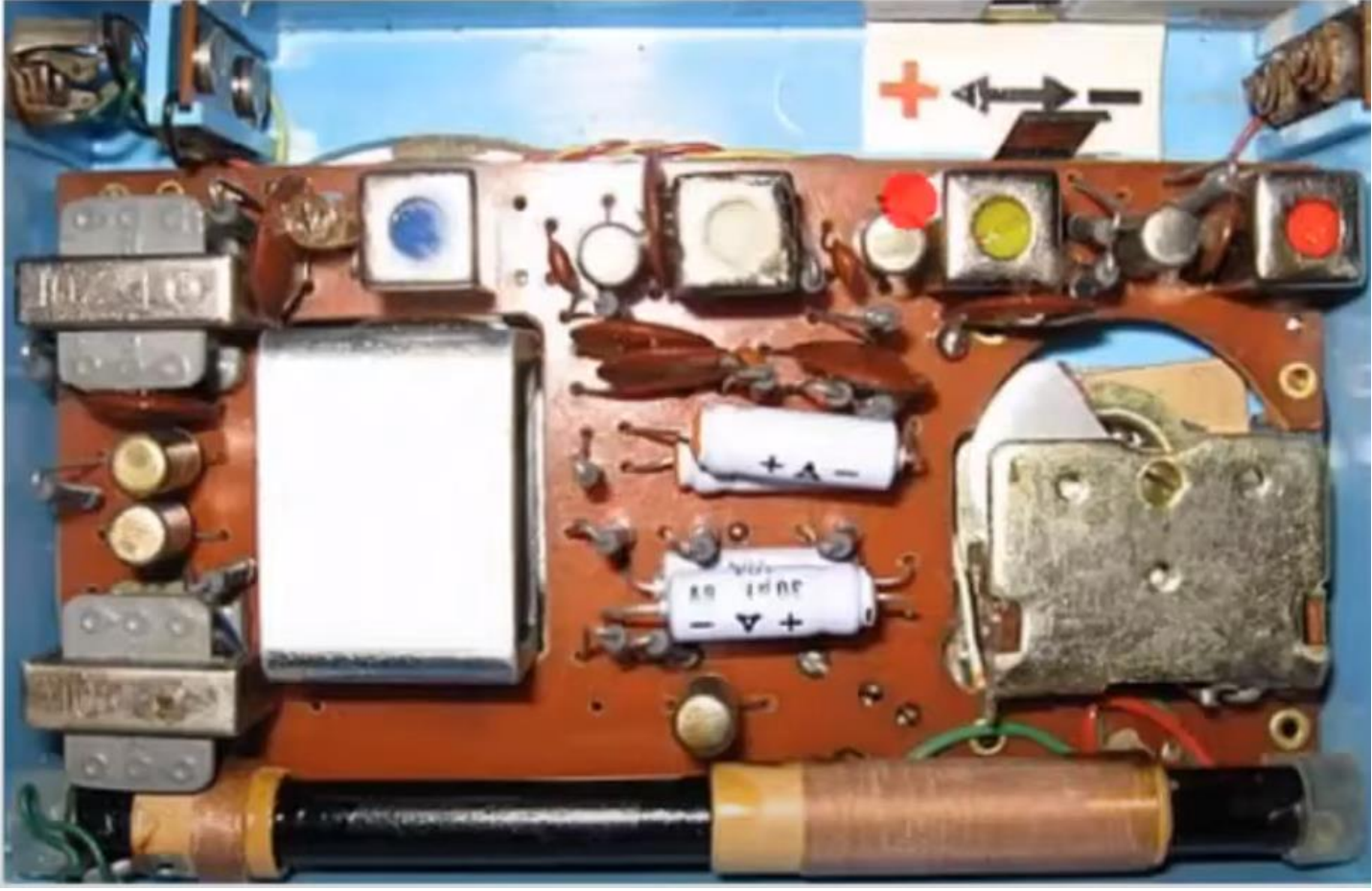
- É um filtro passa baixas que recupera o valor médio do sinal resultante da demodulação (ou detecção) e o aplica à base do primeiro transistor de FI.
- O que se tenciona solucionar com essa ação é o inconveniente causado pela não uniformidade das potências colocadas no ar pelas emissoras e pela localização das mesmas em relação ao receptor. Isso significa que, por estarmos mais próximos de uma emissora, ou por ela transmitir seus sinais com potências mais elevadas, estamos sujeitos a captar em nossa antena sinais de amplitude totalmente diferentes. Quando essa amplitude for muito alta, corre-se o risco de saturar os amplificadores de FI e, assim, torna-se necessária a ação do CAG, que faz com que quanto maior for o valor médio do sinal demodulado, maior seja a atenuação imposta na etapa de FI, até que a polarização DC daquela etapa, juntamente com o CAG, atinjam um ponto de equilíbrio e o sinal de áudio demodulado não sofra alteração sensível de amplitude ou distorção de uma emissora para outra.



# Etapa de áudio

- Composta pelo amplificador de áudio e alto-falante, tendo como função o tratamento final do sinal de áudio demodulado e sua adequação ao gosto do ouvinte que utiliza o receptor.









# Frequência Imagem

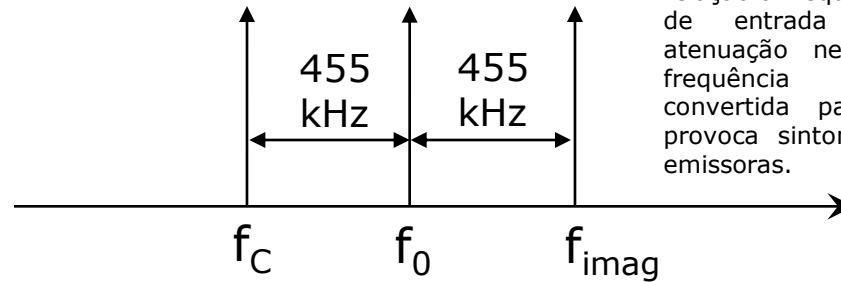
- O misturador realiza o batimento das frequências do oscilador local e do filtro de RF, filtrando assim apenas a diferença entre elas, que deve ser sempre de 455kHz.
- Ocorre que nem sempre é apenas a diferença entre uma única portadora sintonizada e o OL que dá como resultado o valor da FI.
- Se o filtro de entrada não atenuar suficientemente as estações de frequências próximas àquela sintonizada, pode ocorrer o que veremos a seguir.



# Receptor super-heteródino

## Frequência Imagem

$$f_{\text{imag}} = f_C + 2FI$$



Desejamos sintonizar a emissora  $f_c$ , mas o filtro de RF não é muito seletivo.

Logo após observa-se a conversão da portadora para 455kHz, efetuada pelo misturador.

Problema: outra emissora tem a portadora distanciada 455kHz em relação à frequência do OL e o filtro de entrada não lhe impõe atenuação necessária: esta é a frequência imagem, também convertida para 455kHz e que provoca sintonia simultânea de 2 emissoras.

Amplificador de FI: Responsável pela maior parte do ganho e seletividade do receptor.

$$FI = 455\text{kHz e } B = 10\text{kHz}$$

Demodulador: O mais empregado é o detector de envoltória

CAG: Controle automático de ganho, utilizado para manter o volume constante apesar das variações da intensidade de sinal na entrada do receptor.

- Sinal na antena varia de  $10\mu\text{V}$  a  $100\text{mV}$ .

- "fading" ou desvanecimento- variações do sinal ao longo do tempo.

- Utiliza o nível DC na saída do detector de envoltória.



# Frequência Imagem

- Nos receptores convencionais de radiodifusão comercial este problema não se faz sentir com muita frequência, pois na faixa reservada de 535kHz a 1650kHz, a frequência imagem do início da faixa só começa a aparecer em torno de 1435kHz, ou seja, bem no final da faixa. Esse é um dos motivos para a escolha da FI em 455kHz.
- Este problema se faz sentir principalmente em outros sistemas de comunicações que utilizam o AM-DSB como meio de modulação e pode ser resolvido ou minimizado de duas maneiras: ou se melhora a seletividade do filtro de RF ou então se realiza dupla conversão, que consiste em transladar o sinal recebido para uma FI mais alta, a fim de evitar o problema, e depois converter mais uma vez, para uma FI definitiva, na qual trabalham os amplificadores de FI.

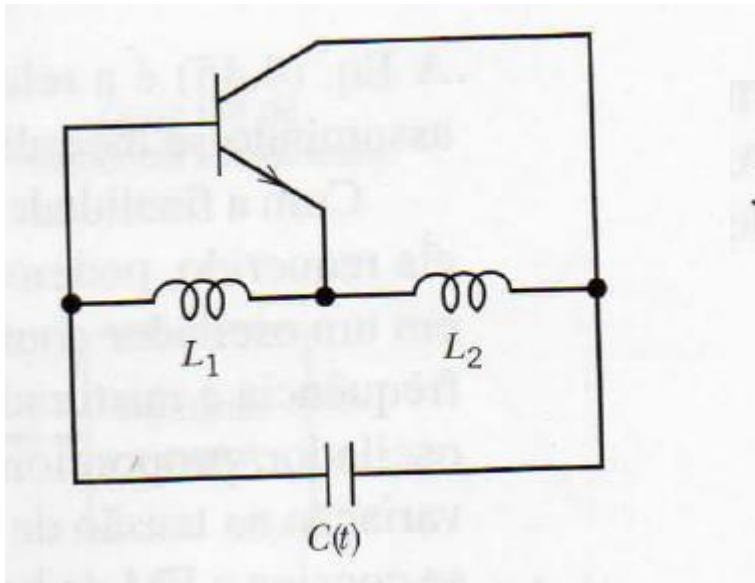


# Geração de Sinais FM

- Em FM direta, a frequência instantânea da onda portadora varia diretamente com o sinal de mensagem por meio de um oscilador controlado por tensão;
- Utilização de um oscilador controlado por tensão;
- Oscilador senoidal que tenha uma rede ressonante altamente seletiva e controlar o dispositivo pela variação incremental dos componentes reativos dessa rede.



# Oscilador Hartley



$$f_i(t) = f_0 \left[ 1 + \frac{\Delta C}{C_0} \cos(2\pi f_m t) \right]^{-1/2}$$

$$f_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{C_0(L_1 + L_2)}}$$

$$f_i(t) = \frac{1}{2\pi \sqrt{(L_1 + L_2)C(t)}}$$

$$f_i(t) \simeq f_0 \left[ 1 - \frac{\Delta C}{2C_0} \cos(2\pi f_m t) \right]$$

$$C(t) = C_0 + \Delta C \cos(2\pi f_m t)$$

$$\frac{\Delta C}{2C_0} = -\frac{\Delta f}{f_0}$$

Varactor ou varicap  
Capacitância depende da tensão aplicada

$$f_i(t) \simeq f_0 + \Delta f \cos(2\pi f_m t)$$



## Oscilador Hartley controlado por tensão (opcional)

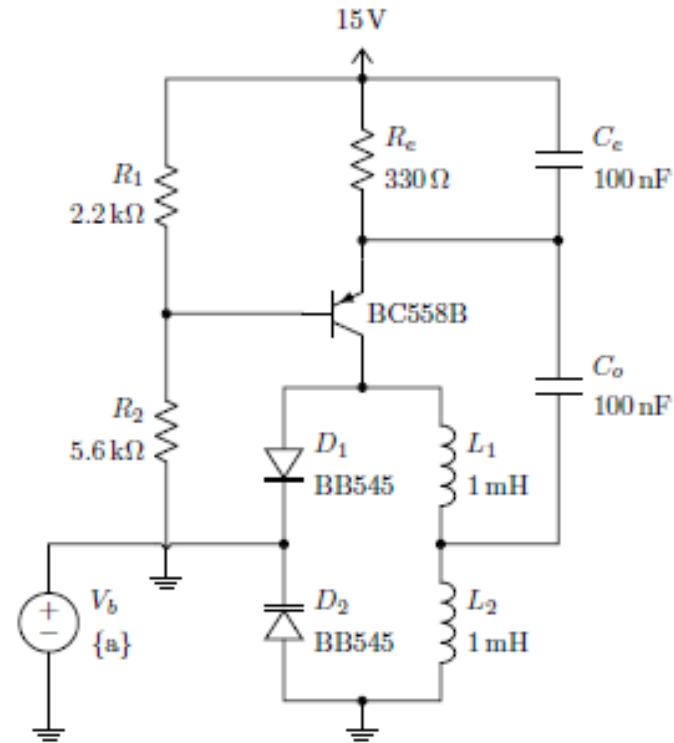


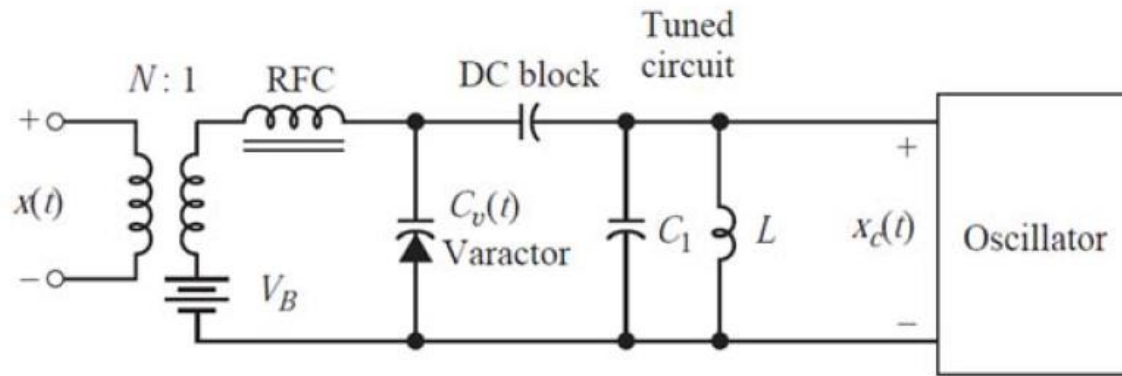
Figura 5: VCO Hartley

Quando reversamente polarizados, os diodos apresentam em sua junção PN uma capacitância devido à presença de portadores de carga separados pela região de depleção; ao se variar a tensão nos terminais do diodo, varia-se a largura da camada de depleção (o que equivale a aumentar o meio dielétrico entre as placas de um capacitor), e daí, sua capacitância.

Os varicaps\* são construídos de modo a se ampliar esse efeito capacitivo, tornando-os mais sensíveis a variações de tensão.



Na Fig. 5.3-1 tem-se um oscilador com um diodo varactor polarizado para se obter  $C_x(t)$ .



**Figure 5.3-1** VCO circuit with varactor diode for variable reactance.

O transformador de entrada, choque de RF e bloqueio DC servem para isolar a baixa frequência de  $[x(t)]$ , a alta frequência de  $[x_c(t)]$ , e o termo DC ( $V_B$ ) entre si.

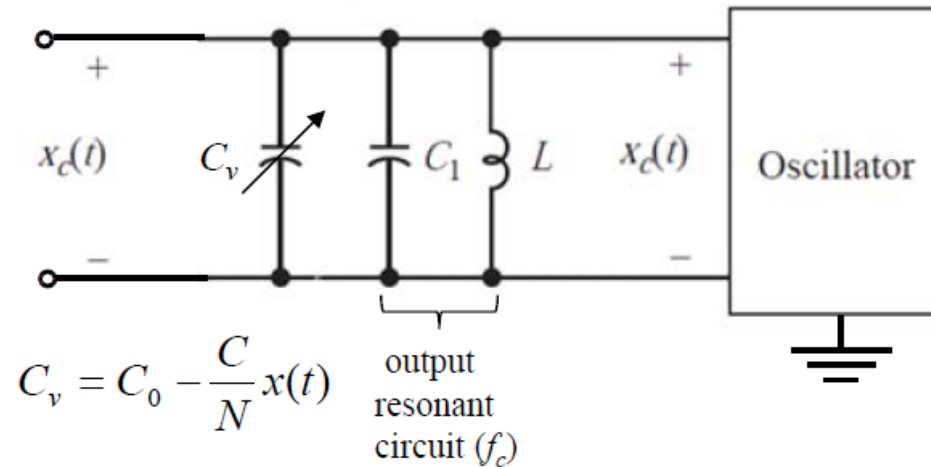
A fonte  $V_B$  polariza reversamente  $C_v$  no ponto quiescente; o trafo e o bloqueio DC impedem  $V_B$  de atingir  $x(t)$  ou  $x_c(t)$ .

O choque RFC se comporta como um curto-circuito para o sinal de baixa frequência  $x(t)$  no secundário do trafo, e assim, modula  $C_v$  de acordo com  $x(t)/N$ .

Por ser de baixa frequência, este sinal não consegue atravessar o bloqueio DC.

O sinal de RF  $x_c(t)$ , “olhando para traz” percebe  $L$ ,  $C_1$  e  $C_v(t)$ , pois DC block entra em curto e RFC se abre para altas frequências.

O circuito oscilador percebe em sua saída o seguinte sistema equivalente:



A frequência da portadora é definida por:  $f_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{L(C_1 + C_0)}}$  expressão um pouco diferente do caso do oscilador anterior

A frequência instantânea deve ser:

$$f(t) = \frac{1}{2\pi\sqrt{L[C_1 + C_v(t)]}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L[C_1 + C_0 - \frac{C}{N}x(t)]}}$$

**Desvantagem:** como o varactor é um semicondutor,  $C_0$  é susceptível à variações de temperatura, e assim, a frequência portadora  $f_c$  tende a sofrer deriva e precisa ser estabilizada por controle de frequência realimentado.

Osciladores controlados por tensão à base de circuito integrado linear podem gerar uma forma de onda FM direta que é relativamente estável e exata.





# Transmissor FM

- Os circuitos moduladores podem ter uma característica comum pouco desejável: região linear de operação relativamente pequena, o que nos obriga a trabalhar com pequenos índices de modulação que levam o sistema para uma tendência a serem de faixa estreita.
- Assumindo esta característica, podemos tentar obter o sinal FMFL a partir de um sinal FMFE, mediante a multiplicação de frequência.



# Transmissor FM

- Se multiplicarmos a freq. deste sinal por um fator “n”, teremos:

$$e(t) = E_0 \cos n[(\omega_0 t) + \beta \text{sen}(\omega_m t)]$$

$$e(t) = E_0 \cos [n\omega_0 t + n\beta \text{sen}(\omega_m t)]$$

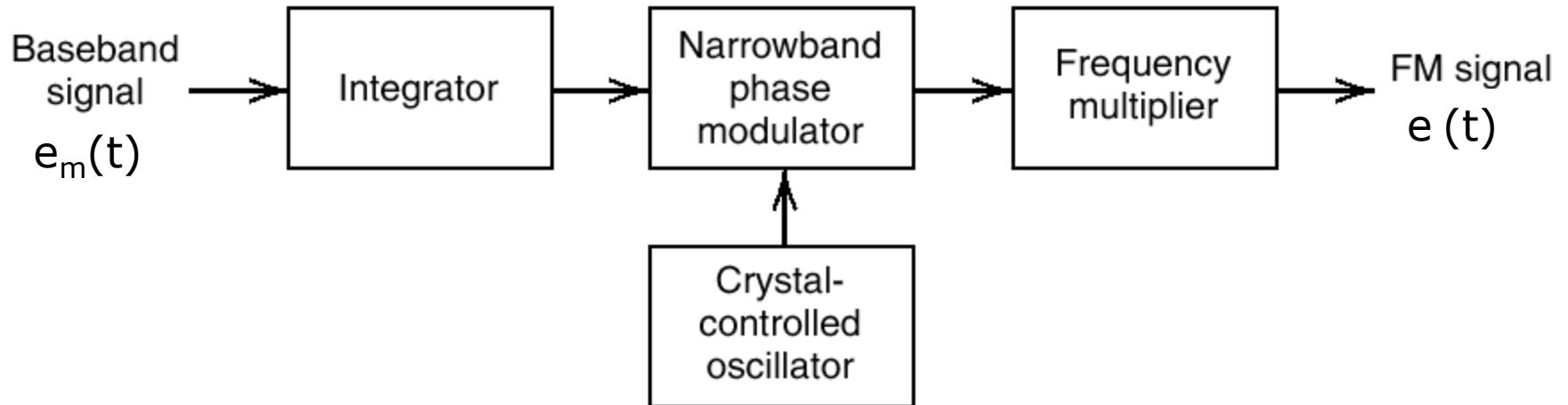
- Onde verificamos que tanto a frequência da portadora quanto o índice de modulação ficam multiplicados pelo fator “n”. Sabemos que

$$\Delta_f = \beta f_m$$

- E, assim, para uma mesma frequência do sinal de informação conseguimos, pela multiplicação de frequência, provocar um desvio de frequência maior no sinal modulado.



## Diagrama de blocos da geração indireta do sinal de FM – Método de Armstrong





# Método de Armstrong

- Um multiplicador de ordem  $n$  terá o seu espectro em  $\omega_c, 2\omega_c, \dots, n\omega_c$  com desvio em frequência de  $\Delta f, 2\Delta f, \dots, n\Delta f$
- O método indireto de Armstrong consiste em gerar um sinal FM de banda estreita (NBFM) e depois aumentar a sua frequência e o seu desvio em frequência





# Modulador Indireto

- Projete um modulador FM indireto de Armstrong para gerar um sinal FM com portadora 98,1MHz e  $\Delta f=75\text{kHz}$ . Temos à disposição um gerador de FM banda estreita com frequência de portadora 100kHz e  $\Delta f=10\text{Hz}$ .
- Podemos utilizar também um oscilador com frequência ajustável entre 10 e 11MHz, assim como duplicadores, triplicadores e quintuplicadores de frequência.



# Modulador Indireto

- Para gerar um sinal FM com frequência da portadora de  $91,2\text{MHz}$  e  $\Delta f = 75\text{kHz}$  são realizados os seguintes passos:
  - Gera-se um sinal NBFM com  $f_{c_1} = 200\text{kHz}$
  - Para garantir que  $|k_f a(t)| \ll 1$  (condição para NBFM) é necessário que  $\beta \ll 1$
  - Escolhe-se então  $\Delta f_1 = 25\text{Hz}$ , pois como em geral para sinais de áudio  $50\text{Hz} < B < 15\text{kHz}$ , tem-se que  $0,5 < \beta < 0,0017$
  - Para se obter um  $\Delta f$  final de  $75\text{kHz}$ , é necessário um fator multiplicativo de no mínimo 3000
  - Isto é feito em dois estágios, multiplicações por 64 e 48 ( $64 \times 48 = 3072$ ), resultando em  $\Delta f = 76,8\text{kHz}$

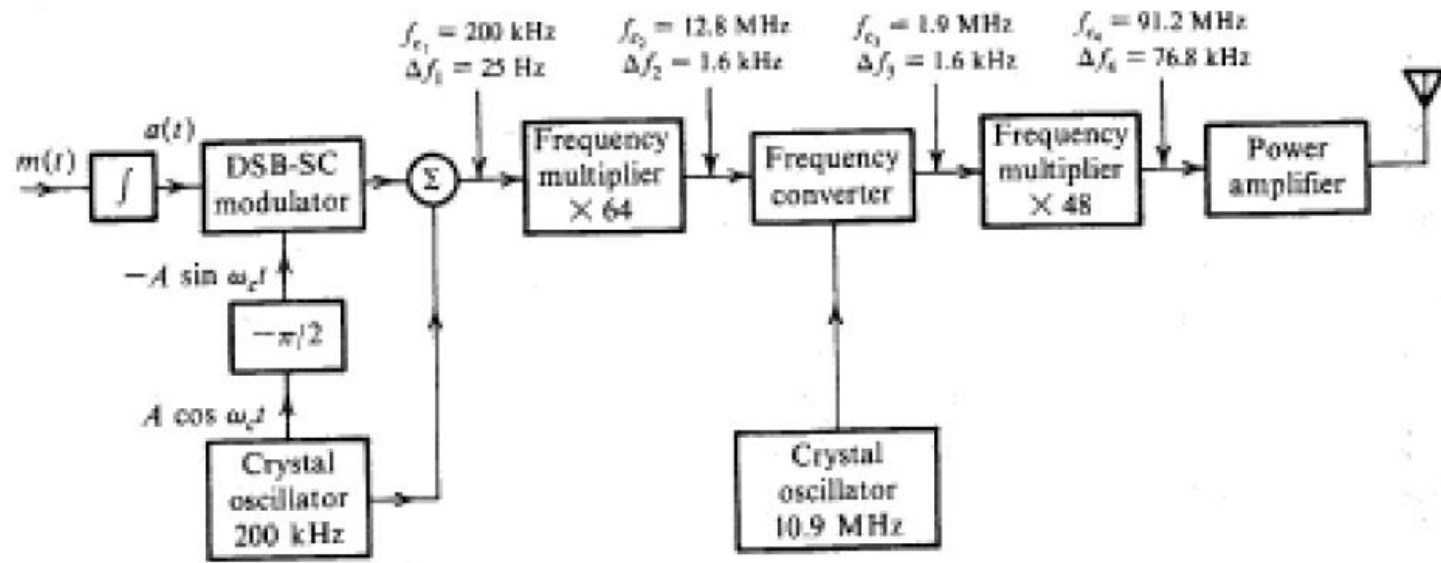


# Modulador Indireto

- Na saída do primeiro estágio,  
 $f_{c_2} = 64 \times 200kHz = 12,8MHz$  e  
 $\Delta f_2 = 64 \times 25Hz = 1,6kHz$
- Antes do segundo estágio, é necessário baixar a frequência da portadora através de um misturador
  - $f_{mix} = f_c - f_l = 12,8MHz - 1,9MHz = 10,9MHz$  é escolhida como frequência do oscilador local
- Assim, na saída do misturador, tem-se  $f_{c_3} = 1,9MHz$  e  
 $\Delta f_3 = 1,6kHz$
- Na saída do segundo estágio, tem-se  
 $f_{c_4} = 48 \times 1,9MHz = 91,2MHz$  e  
 $\Delta f_4 = 48 \times 1,6kHz = 76,8kHz$



# Modulador Indireto





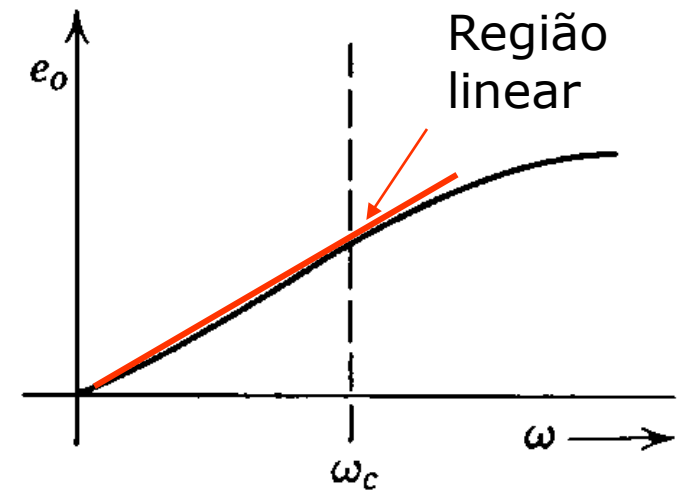
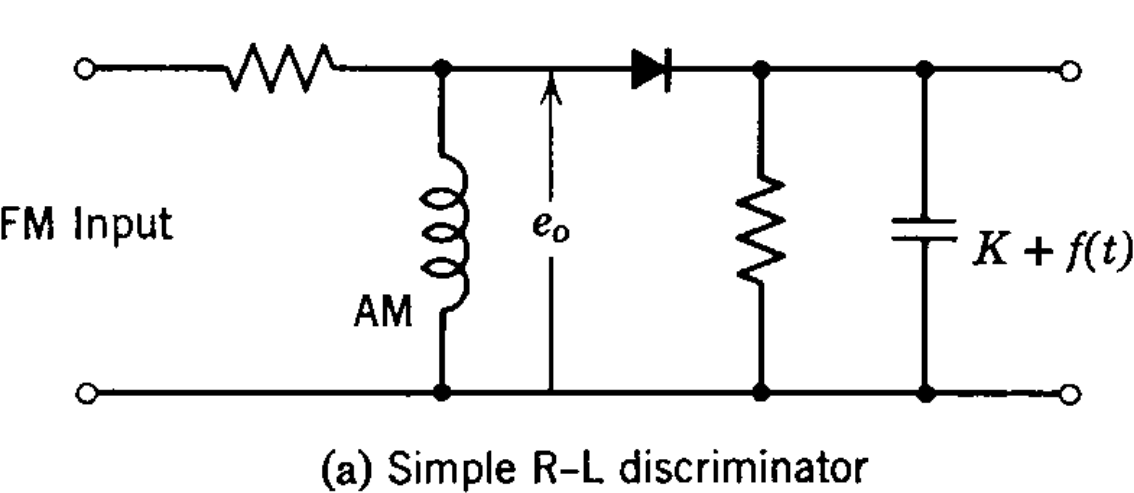


# Demodulação FM

- O método mais simples para recuperar a informação contida num sinal modulado em frequência é o aproveitamento da inclinação praticamente linear da região não-ressonante de um circuito sintonizado.
- Assim, convertemos as variações de frequência do sinal modulado (em outras palavras, convertemos o FM em AM) em variações de amplitude e recuperamos a envoltória da forma convencional como é realizada em AM.



# Demodulação FM básico



(b) Characteristic of an R-L discriminator

Demodulação FM – variações:  
detector balanceado



# Receptor FM

