



SEL 360 e 616

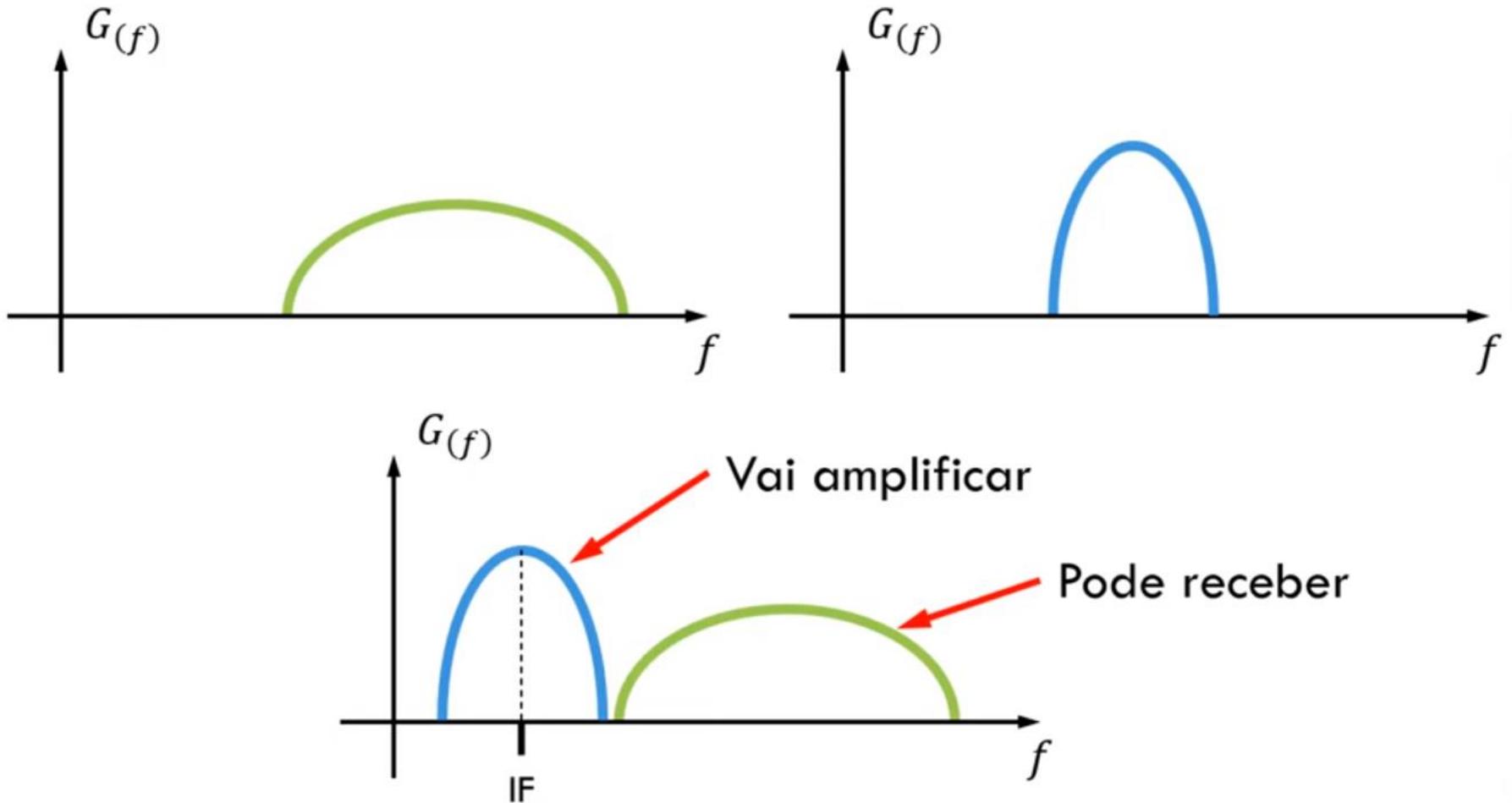
Princípios de Comunicação

Tania Regina Tronco
trtronco@gmail.com



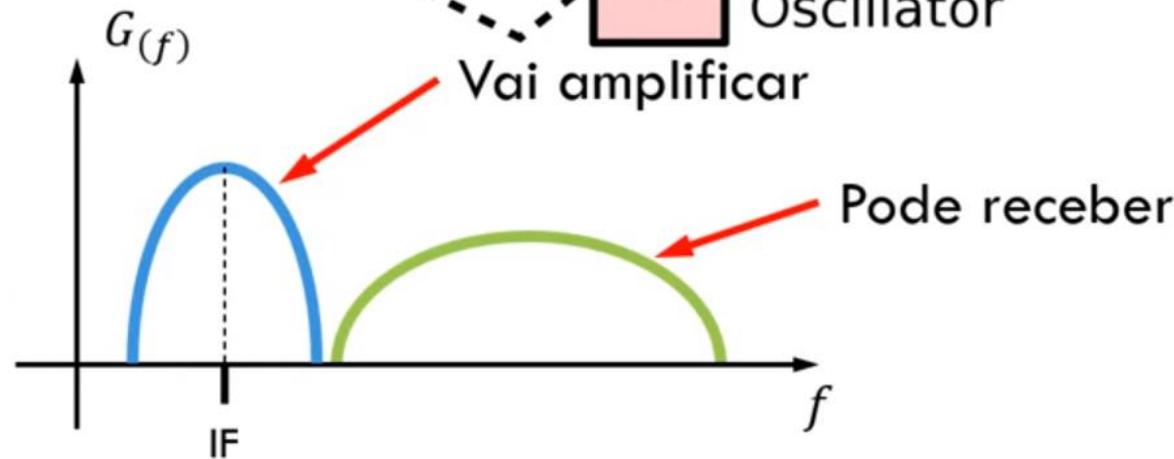
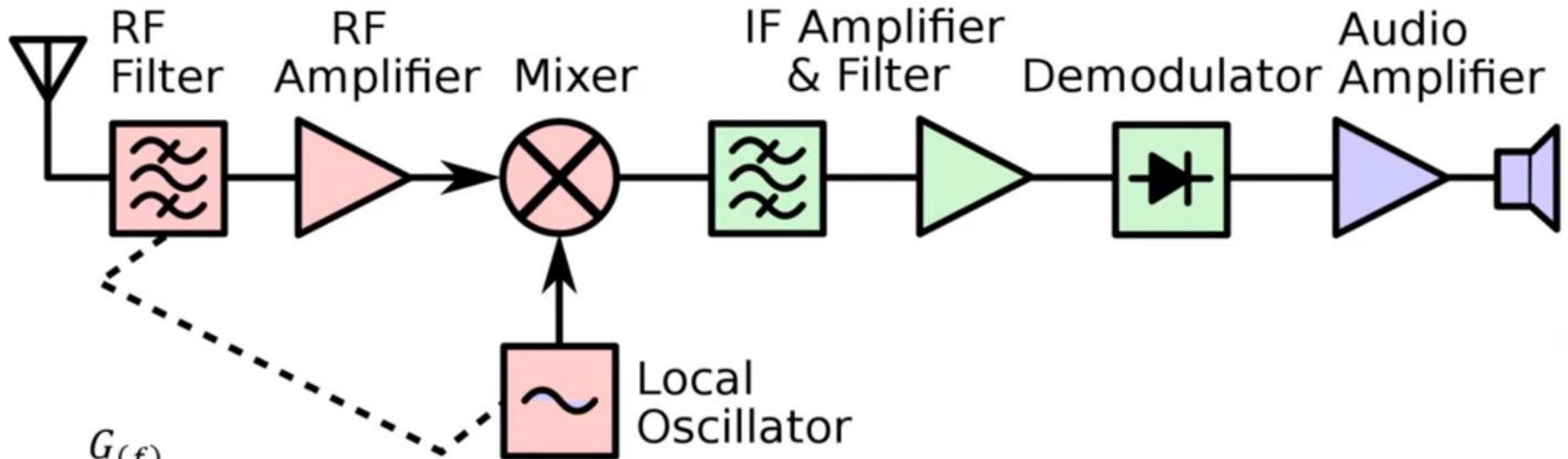


Receptor Superheterodino



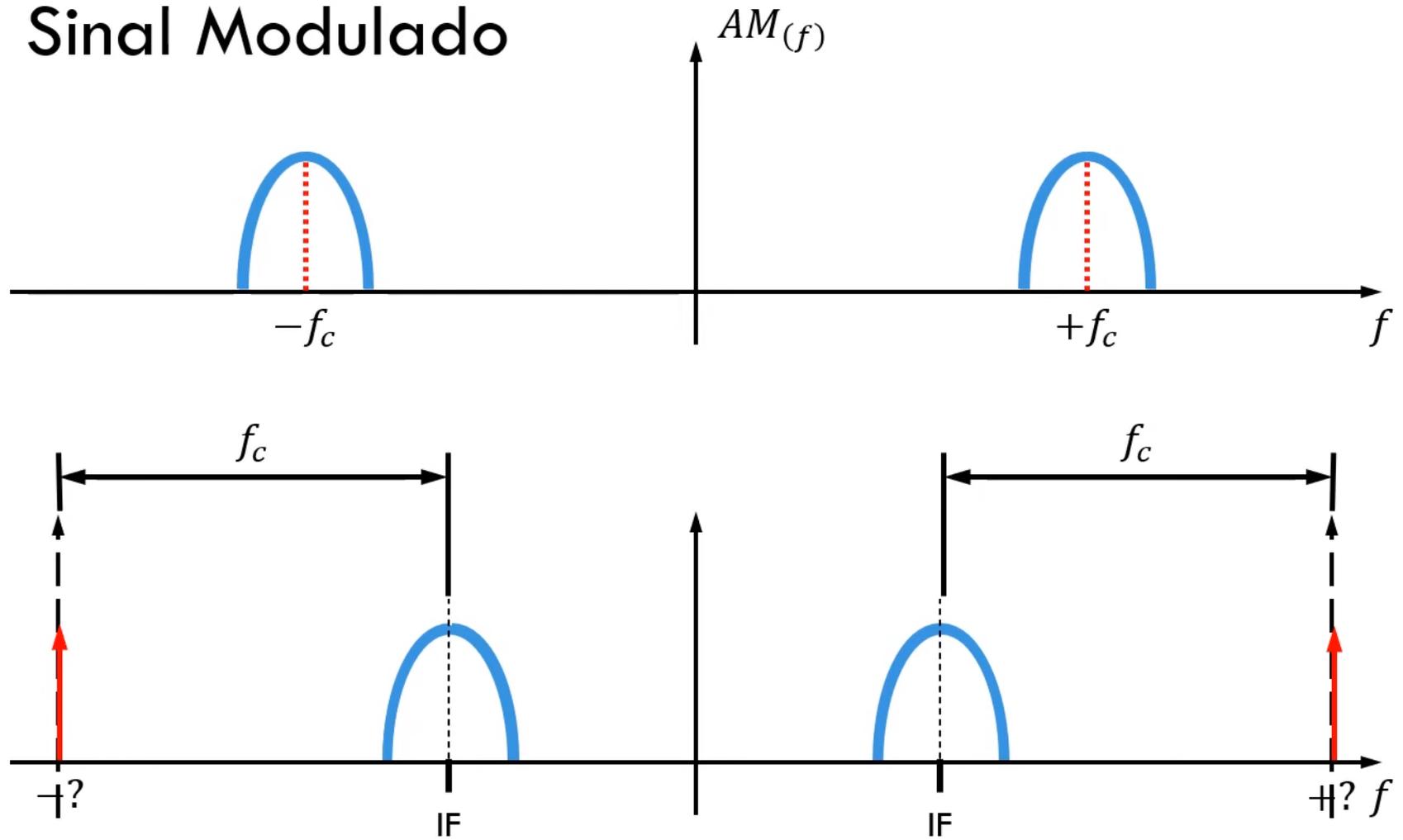


Receptor Superheterodino



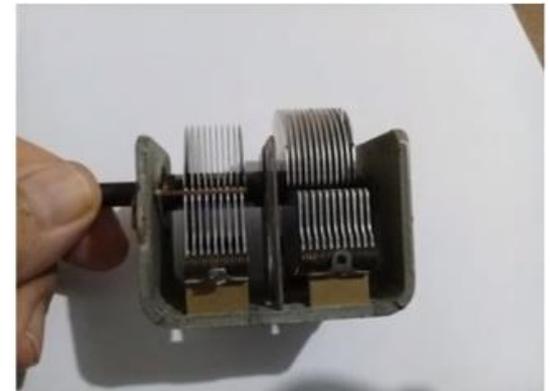
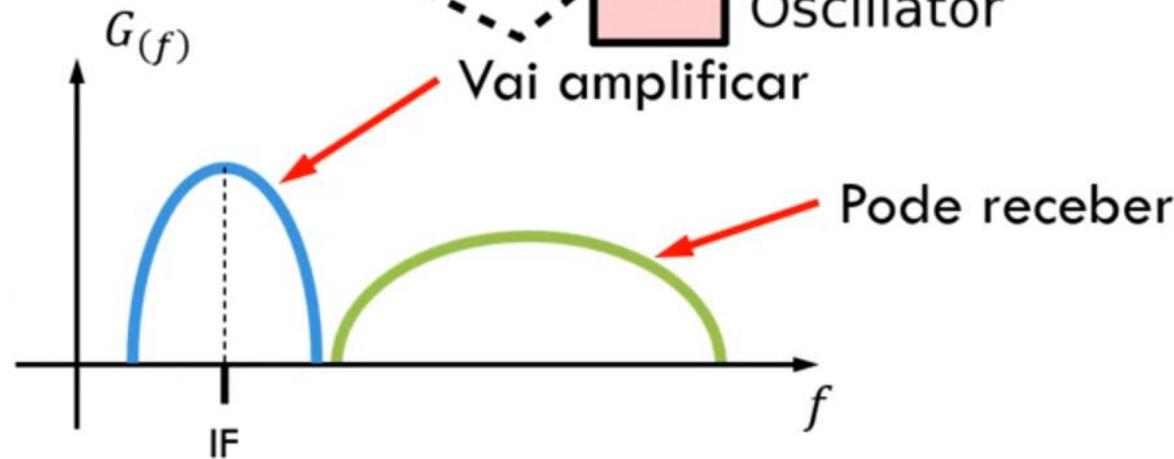
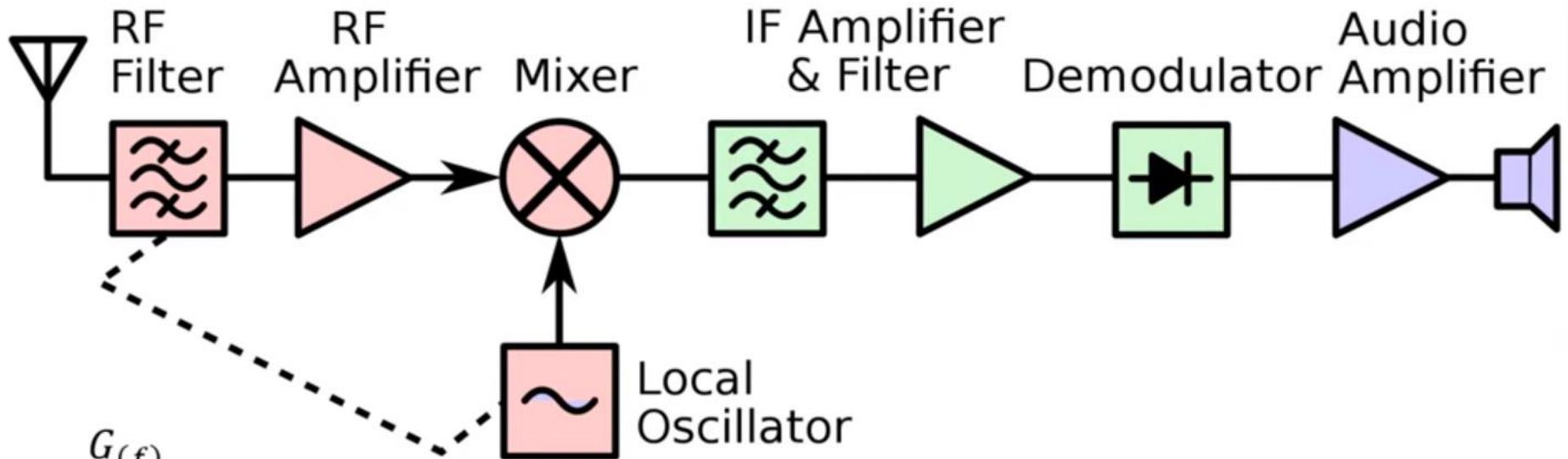


Sinal Modulado





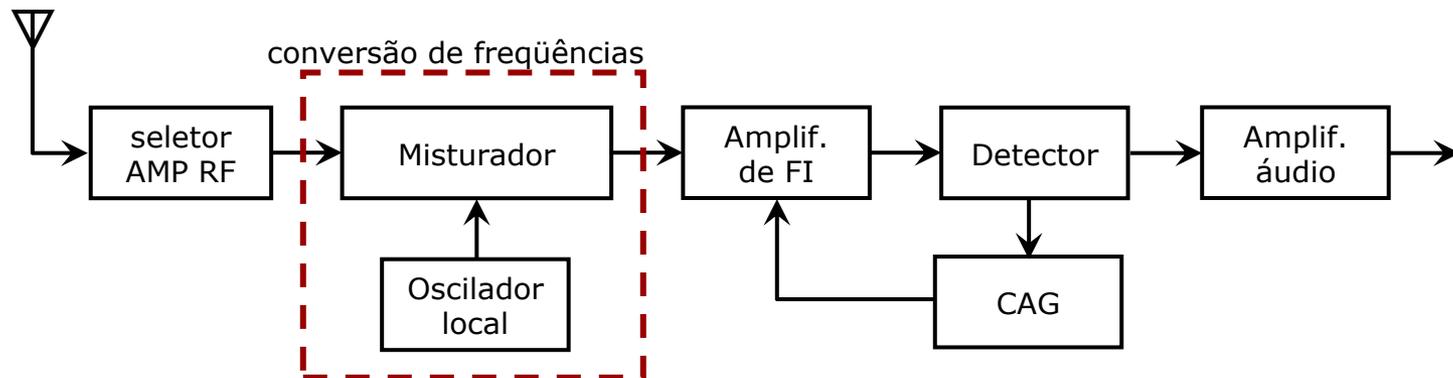
Receptor Superheterodino





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.



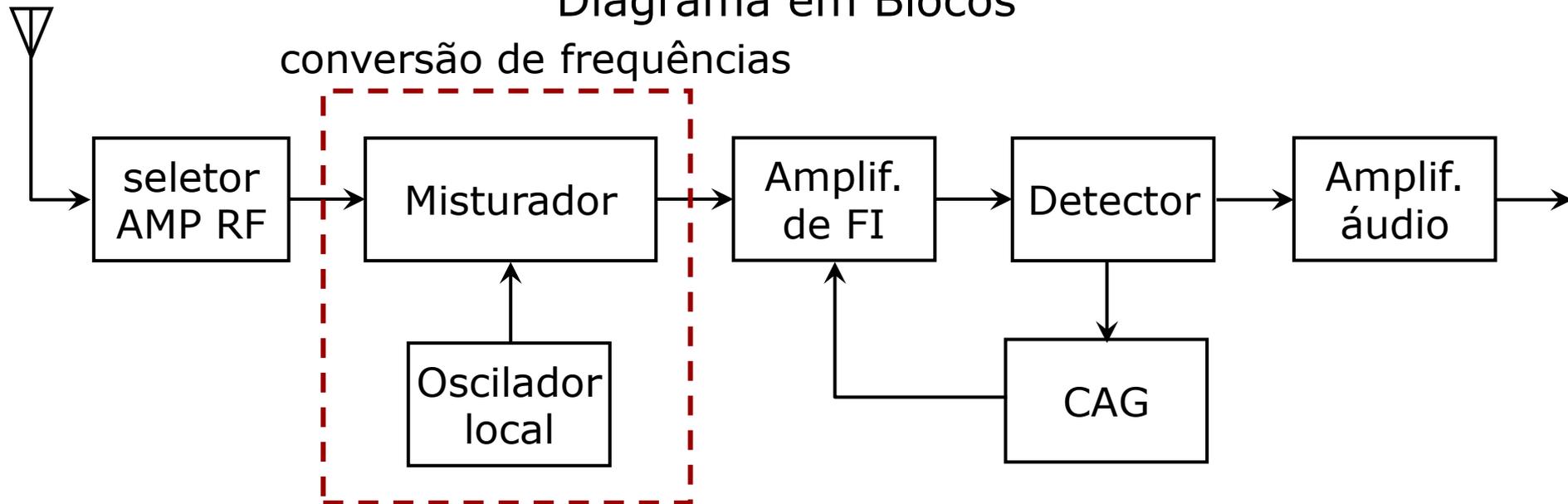


Receptor Super-Heteródino

- ❖ 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 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.



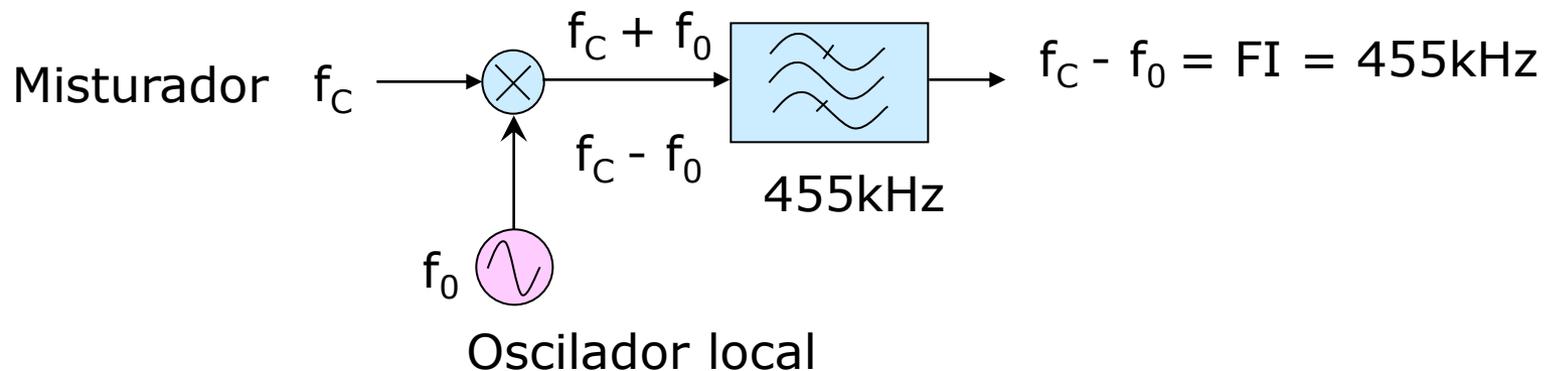
Receptor super-heteródino

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.



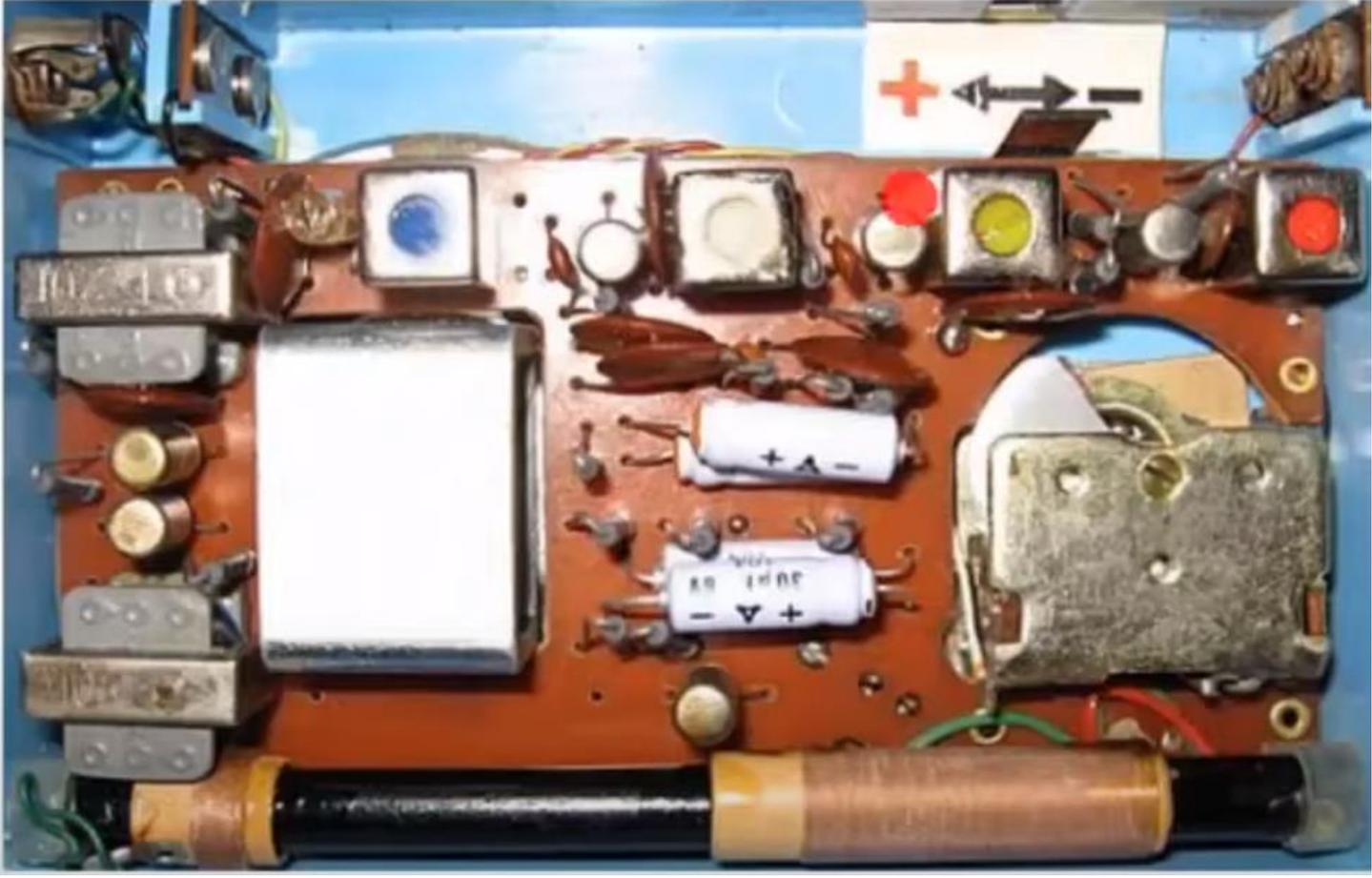
CAG

- 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

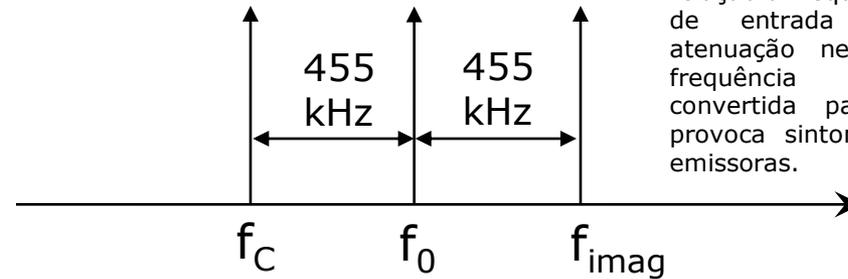
- O misturador realiza o batimento das frequências do oscilador local e do filtro de RF, filtrando assim apenas a diferença entre elas, que deve ser sempre de 455kHz.
- Ocorre que nem sempre é apenas a diferença entre uma única portadora sintonizada e o OL que dá como resultado o valor da FI.
- Se o 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 100mV .
- "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.

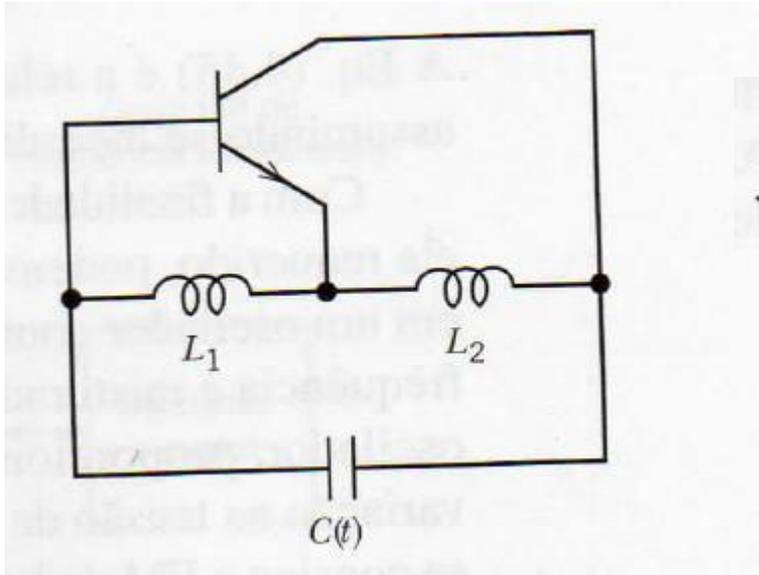


Geração de Sinais FM

- 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)

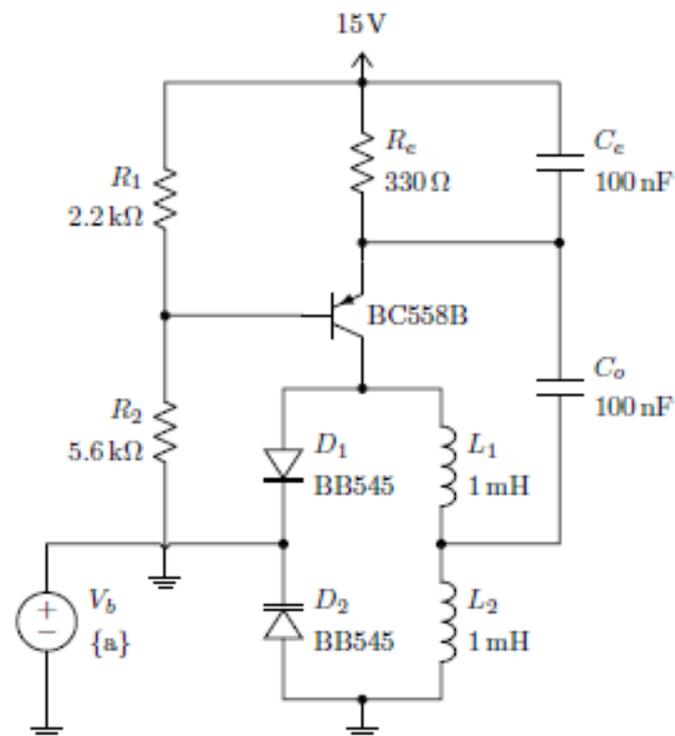


Figura 5: VCO Hartley

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 $C_x(t)$.

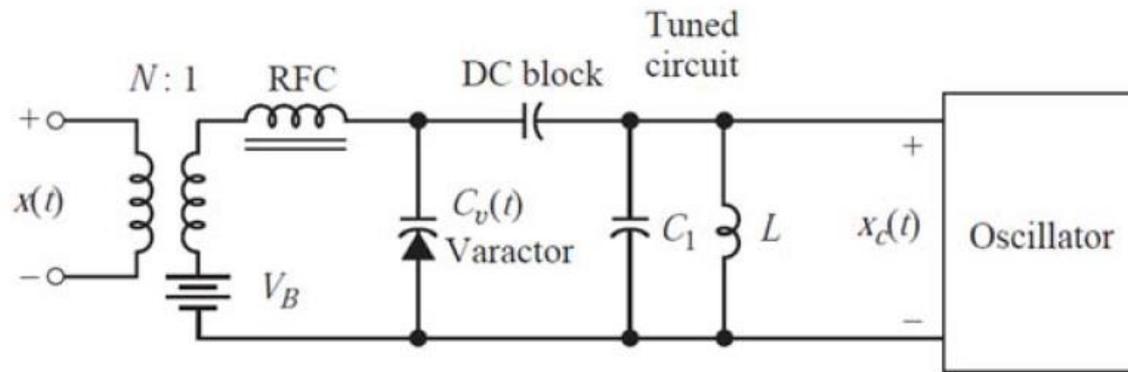


Figure 5.3-1 VCO circuit with varactor diode for variable reactance.

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.

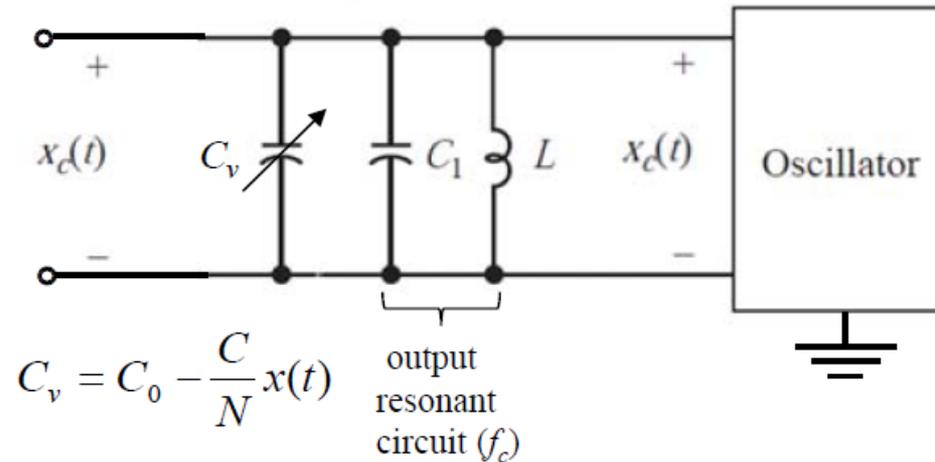
A fonte V_B polariza reversamente C_v no ponto quiescente; o trafo e o bloqueio DC impedem V_B de atingir $x(t)$ ou $x_c(t)$.

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 semiconductor, 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:

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

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

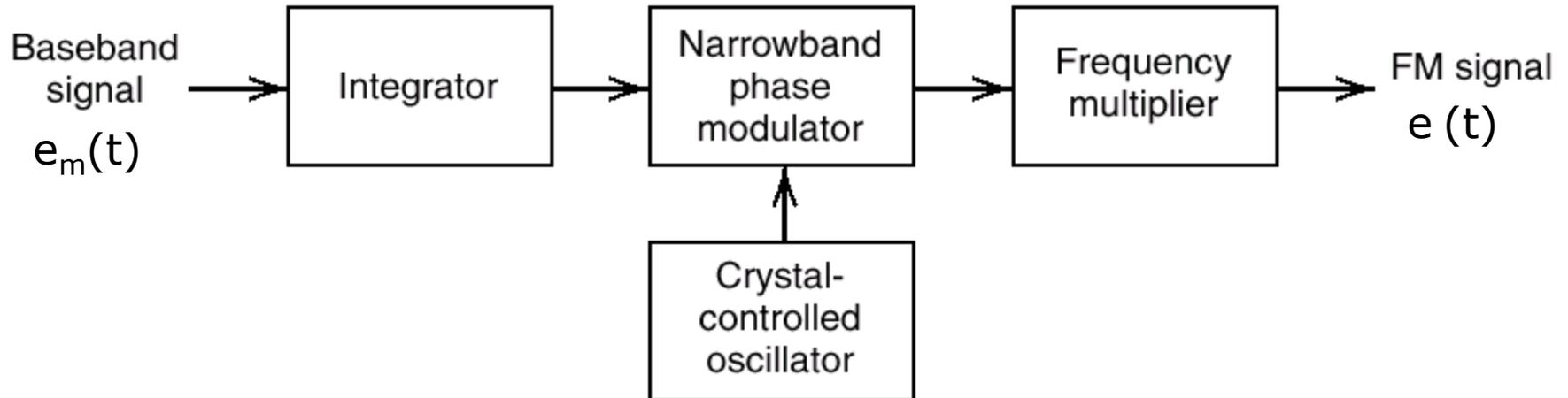
- Onde verificamos que tanto a frequência da portadora quanto o índice de modulação ficam multiplicados pelo fator “n”. Sabemos que

$$\Delta_f = \beta f_m$$

- 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 Δf final de 75kHz , 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 $\Delta f = 76,8\text{kHz}$

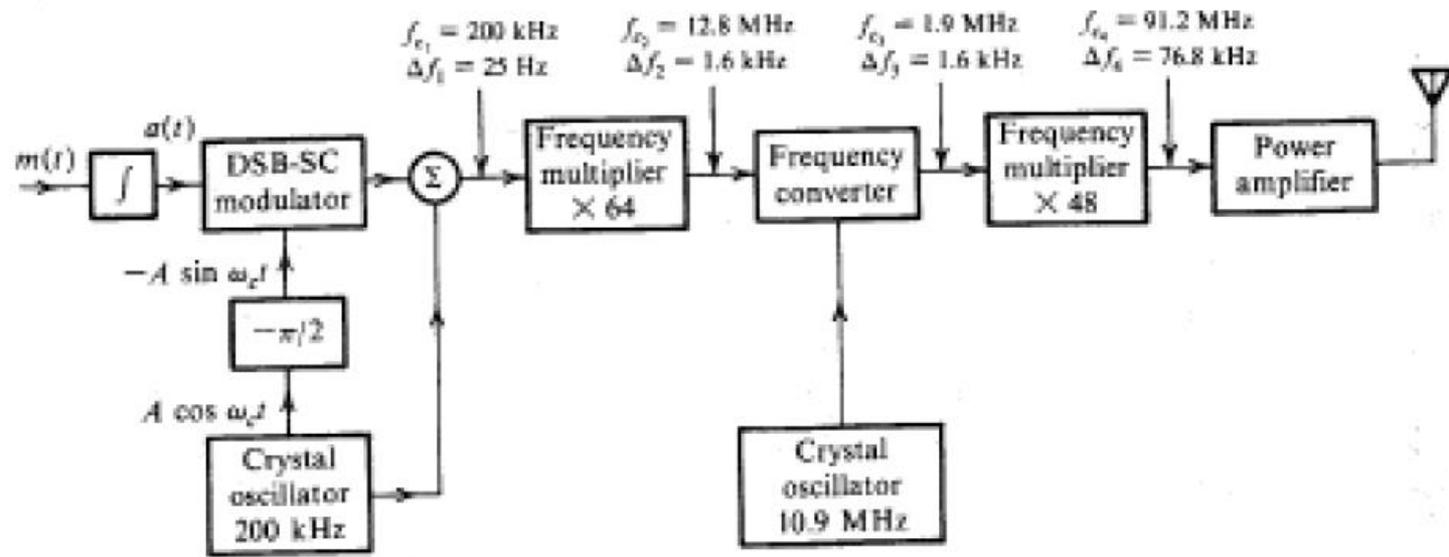


Modulador Indireto

- 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



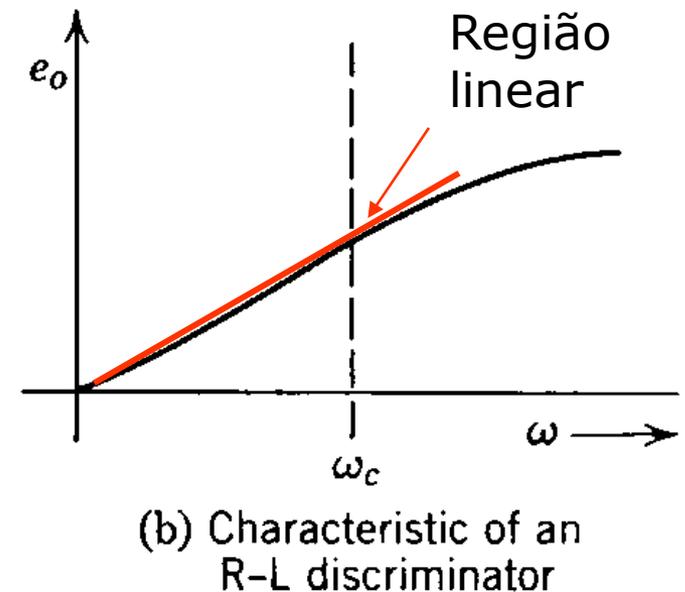
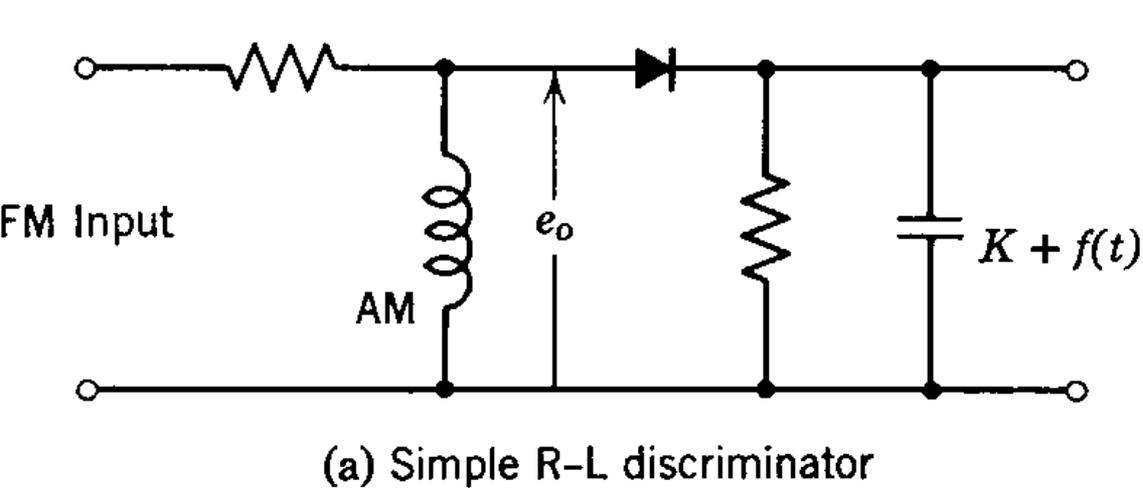


Demodulação FM

- 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



Demodulação FM – variações:
detector balanceado



Receptor FM

