

**INSTITUTO
FEDERAL**
Santa Catarina

Câmpus
São José

Misturadores

Curso: Engenharia de Telecomunicações
Disciplina: CRF29009 – Circuitos de Rádio-Frequência
Professor: Rubem Toledo Bergamo

Aluno

João Pedro Menegali Salvan Bitencourt

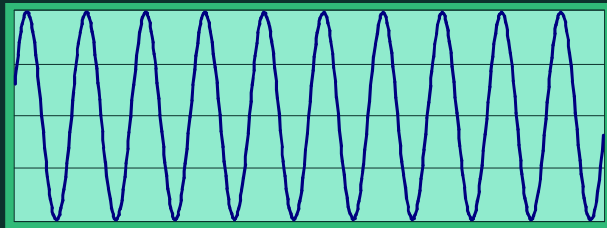
Introdução

O que é um misturador?

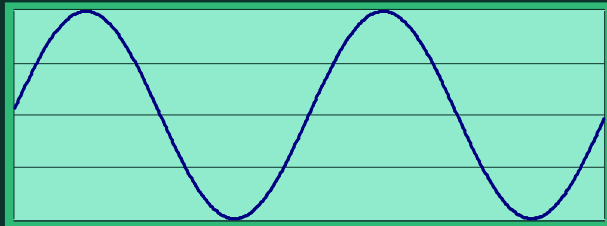
- Também chamados de *Mixers*, o misturador é um circuito que desloca a frequência de um sinal para cima (*up converter*) ou para baixo (*down converter*) a partir do produto de dois sinais com frequências:
 - f_1 : sinal portador;
 - f_2 : sinal modulante (mensagem).
- Não é linear e na saída apresenta harmônicas resultantes da combinação dos sinais, chamadas de componentes espúrias;
- Pode utilizar diodo, transistor de junção bipolar (TJB), transistor de efeito de campo (FET – *Field Effect Transistor*);
- Estudo iniciado por Reginald Aubrey Fessenden (1866 - 1932), em 1902.

O que é um misturador?

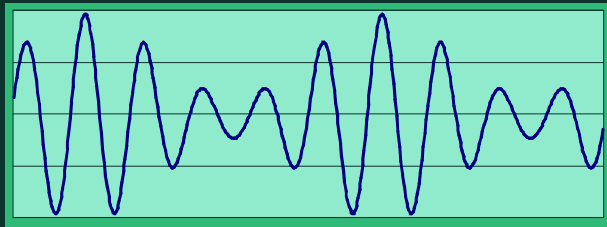
Osciloscópio



X



||

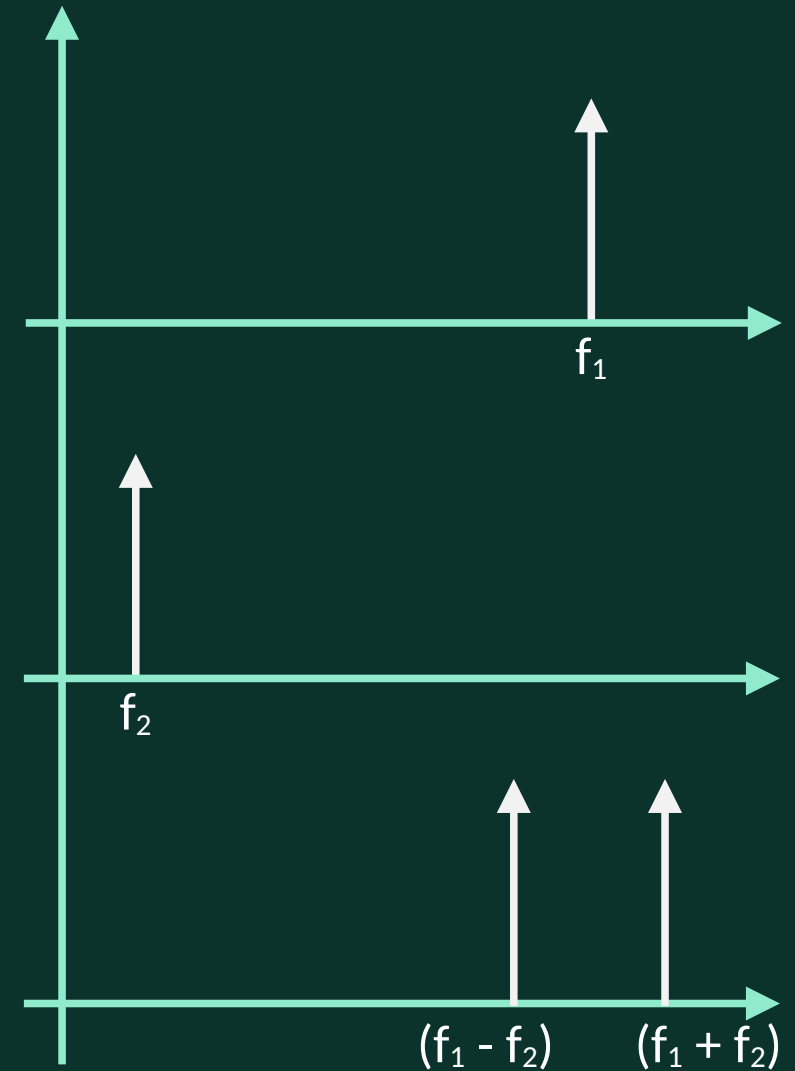


Sinal f_1

Sinal f_2

Sinal $\begin{cases} (f_1 + f_2) \\ (f_1 - f_2) \end{cases}$

Analizador de Espectro

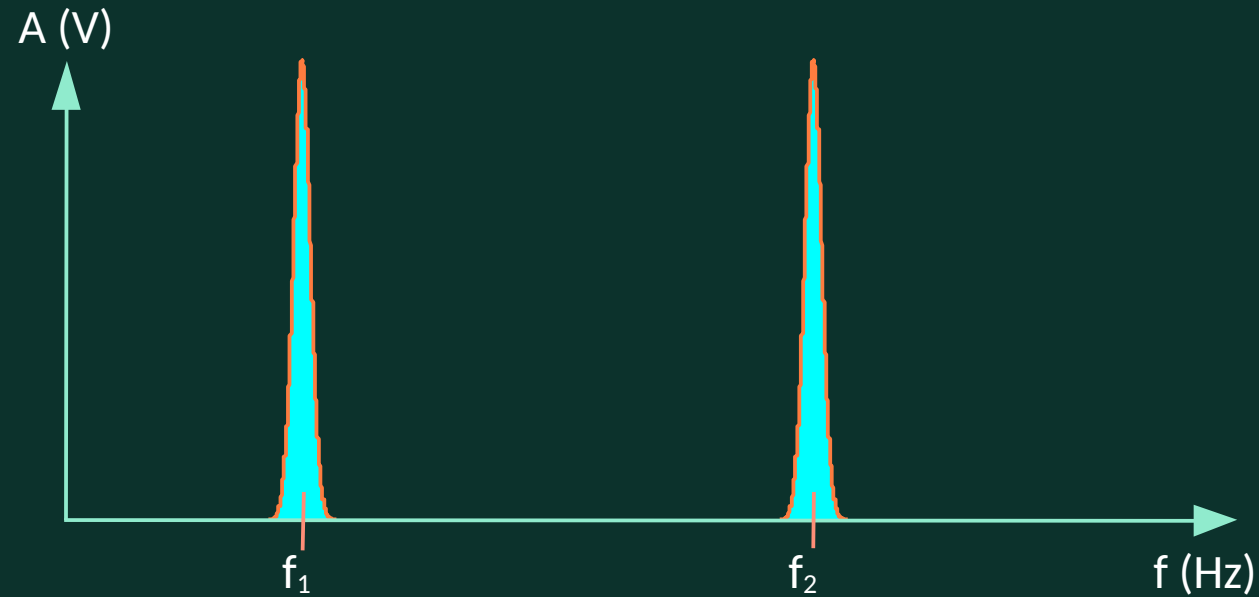


O que é um misturador?

Tensões

Entradas

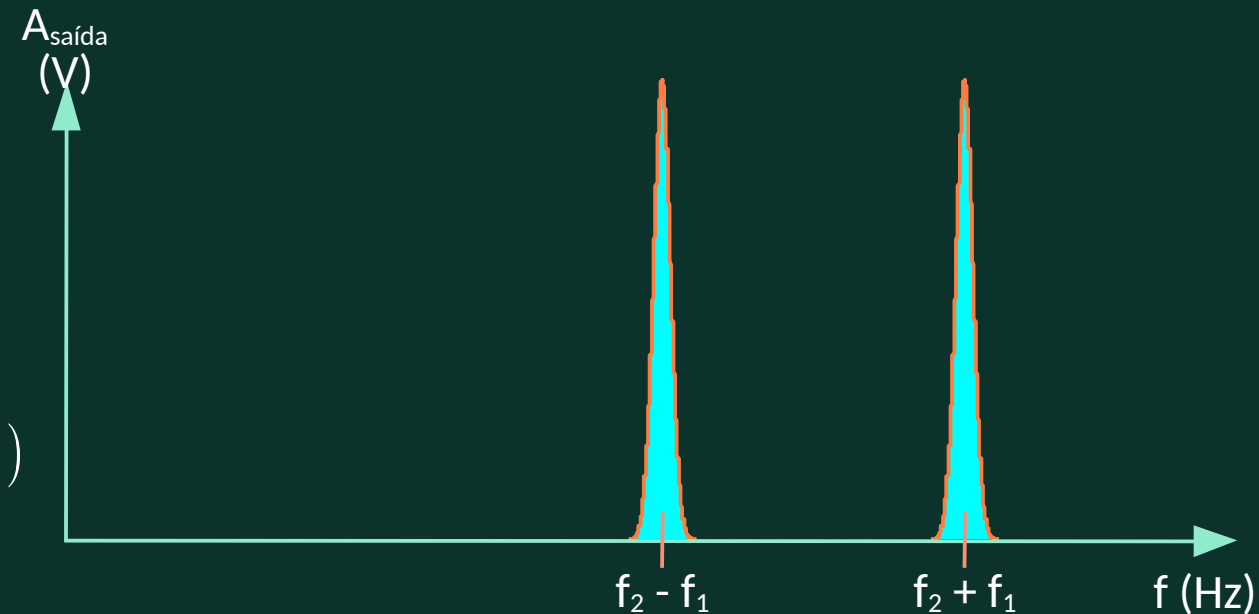
$$\begin{cases} v_1(t) = V_1 \sin(\omega_1 t) \\ v_2(t) = V_2 \sin(\omega_2 t) \end{cases}$$



Saída:

$$v_{\text{mix}}(t) = v_1(t) \cdot v_2(t)$$

$$v_{\text{mix}}(t) = V_1 \sin(\omega_1 t) \cdot V_2 \sin(\omega_2 t)$$



Relação trigonométrica do sinal de saída

$$v_{\text{mix}}(t) = \frac{V_1 V_2}{2} [\cos((\omega_1 - \omega_2)t) - \cos((\omega_1 + \omega_2)t)]$$

Usos da etapa do misturador

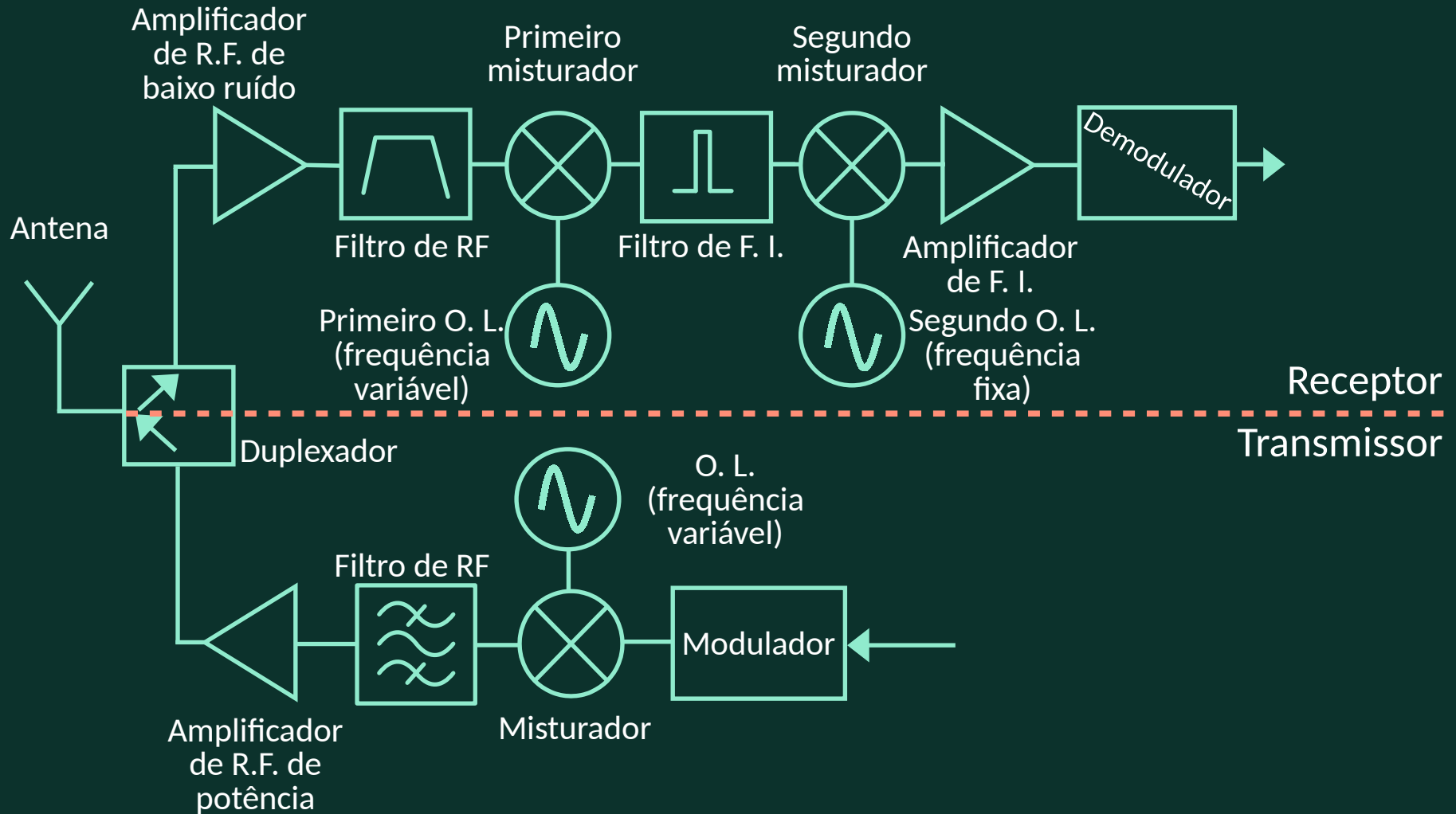
Circuito	Entrada	Saída	Oscilador de batimento
Modulador	Sinal modulante	Sinal modulado	Portadora
Demodulador	Sinal modulado	Sinal modulante	Portadora
Conversor aditivo	Sinal de F. I.	Sinal de R. F.	Canal
Conversor	Sinal R. F.	Sinal F. I.	Canal

Frequências intermediárias típicas

Uso	Frequência
Rádio AM	455 kHz
Rádio FM	10,7 MHz
FM de banda estreita	455 kHz
Televisão analógica padrão M (PAL-M, NTSC)	41,25 MHz (áudio) e 45,75 MHz (vídeo)
Radar	30 MHz
Satélite	Banda C: 70 MHz, Banda Ku: 140 MHz, Banda L: 950 MHz ~ 1450 MHz

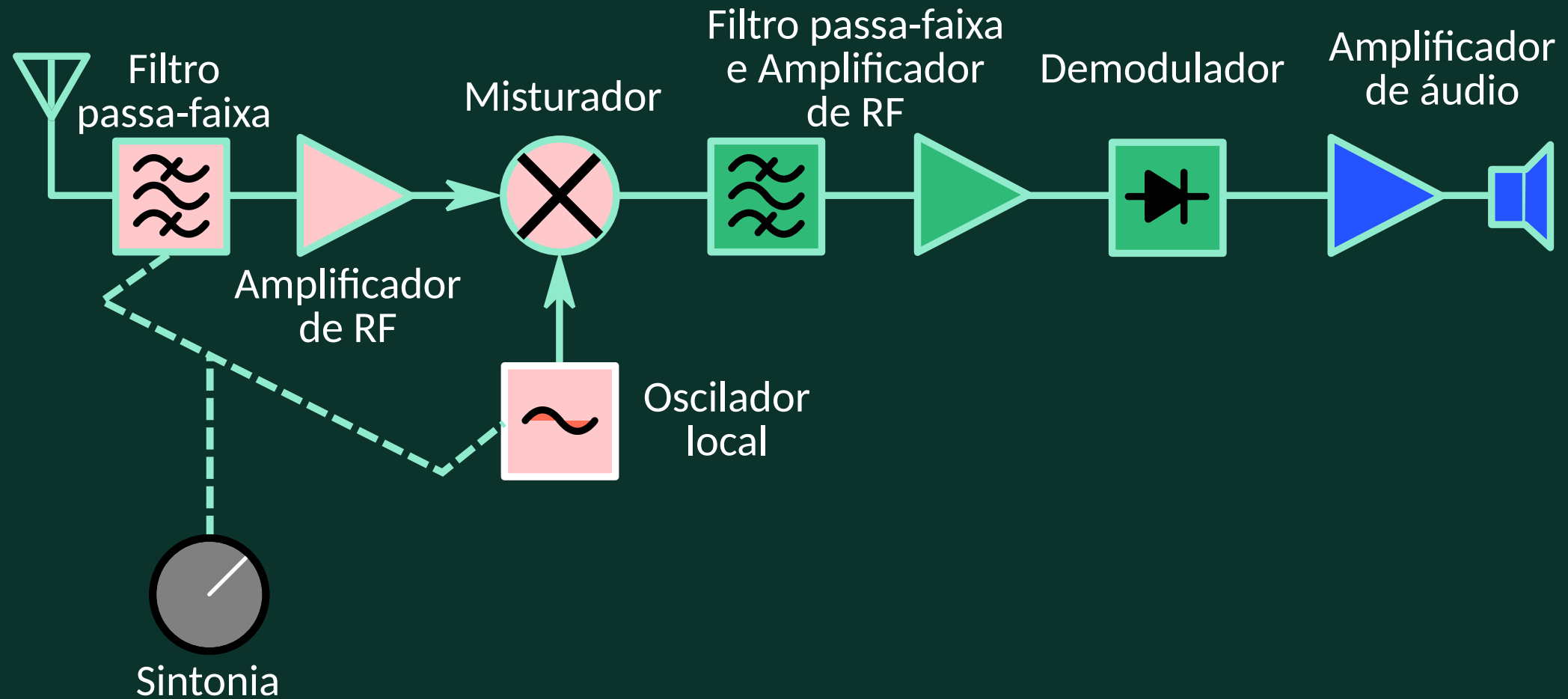
Diagramas de blocos

Exemplo de transceptor



Exemplo de arquitetura de um transceptor de um sistema de comunicação móvel.

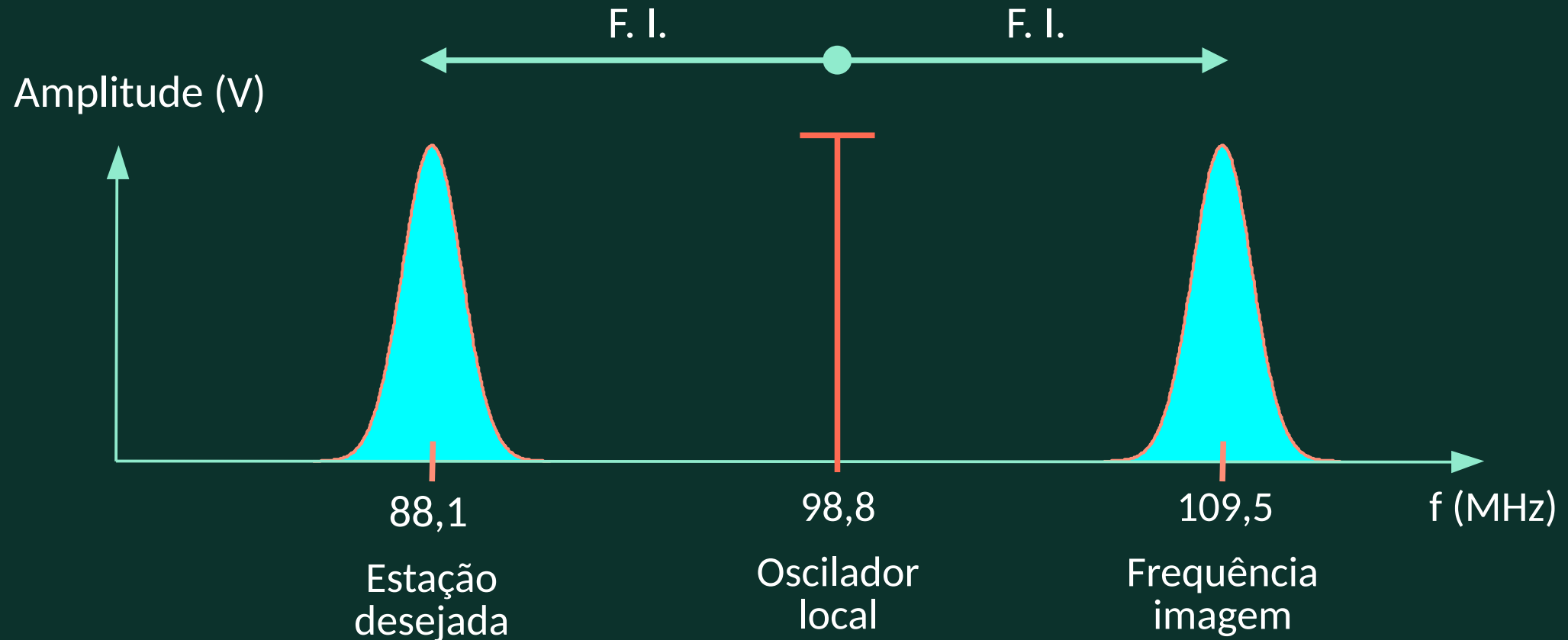
Diagrama do receptor Super-heteródino



Frequência imagem

Conceito e causa

- Frequência cuja distância em relação ao oscilador local é F. I.;
- Ocorre quando o filtro de entrada não impõe a atenuação necessária;
- No exemplo abaixo, a distância entre os espectros é de F. I. = 10,7 MHz:



Remoção da frequência imagem

- A frequência imagem pode ser eliminada de duas formas:
 - Utilizando filtro mais seletivos na etapa de rádio frequência;
 - Converter duplamente a frequência, cujo sinal recebido é deslocado para uma frequência intermediária mais alta e, em seguida, deslocado novamente, mas para a F. I. desejada;

Tipos de misturadores

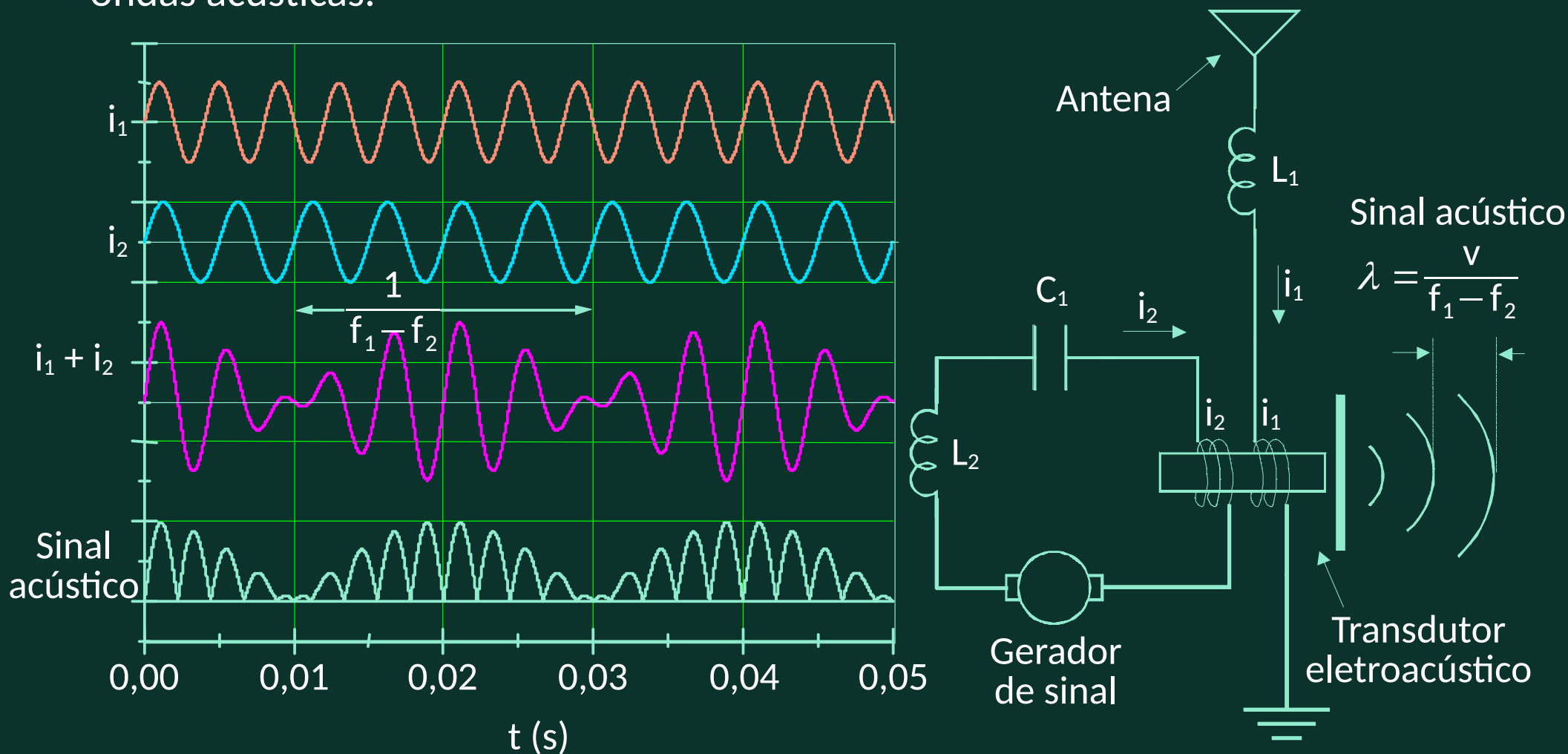
Tipos de misturadores

- Síncrono: o misturador é acionado pelo sinal do oscilador local;
- Quadrático: a relação entre a entrada e a saída do misturador é expressa por uma equação quadrática.
- Passivo: não há ganho de potência na saída do circuito;
- Ativo: há ganho de potência na saída do misturador. O circuito pode ser composto por um transistor de junção bipolar, um transistor de efeito de campo (FET) ou ;transistor de efeito de campo de semiconductor de óxido metálico
- Balanceado: elimina o sinal do oscilador local;
- Duplamente balanceado: elimina o sinal tanto do oscilador local, quanto do sinal de entrada;
- Desbalanceado: não elimina nenhum dos dois sinais de entrada.

Circuitos de misturadores

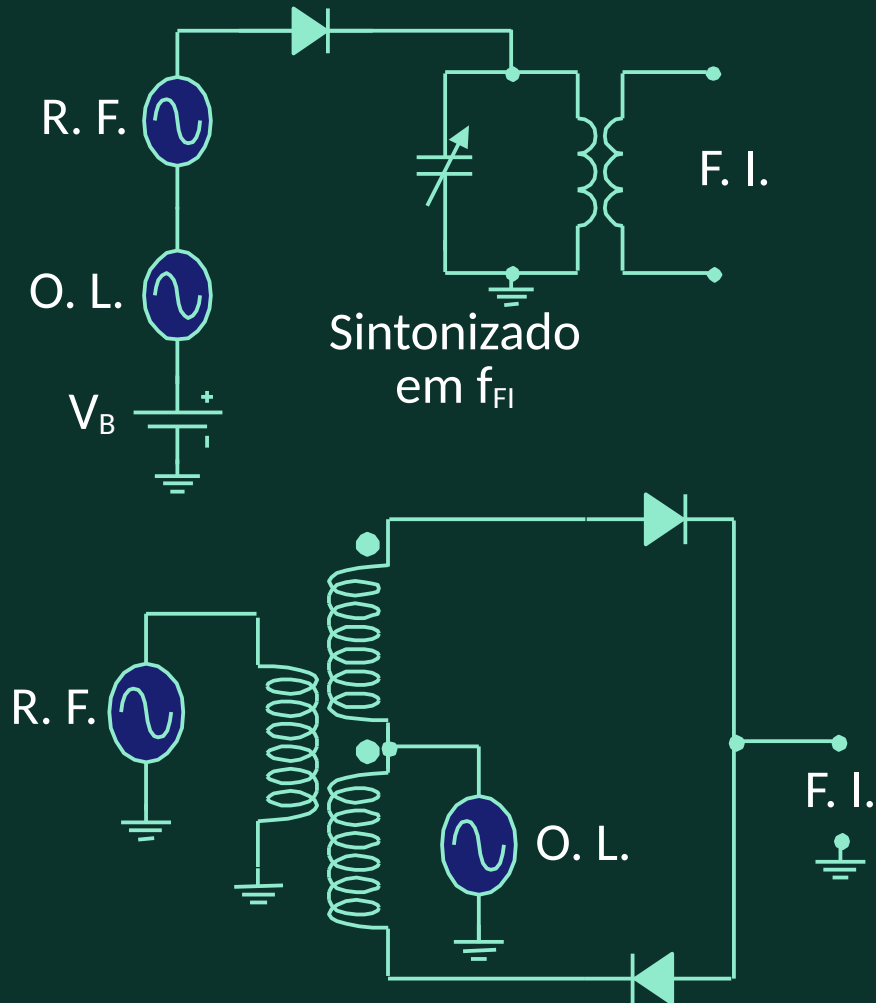
Experimento de Fessenden

- Em 1902, Reginald Aubrey Fessenden desenvolve uma patente para o princípio heteródino. Nesse experimento, Fessenden estabelece uma primeira frequência (f_1), presente na antena, que seria detectada através do batimento com um segundo sinal de frequência (f_2), resultando no convertimento desses sinais em ondas acústicas.



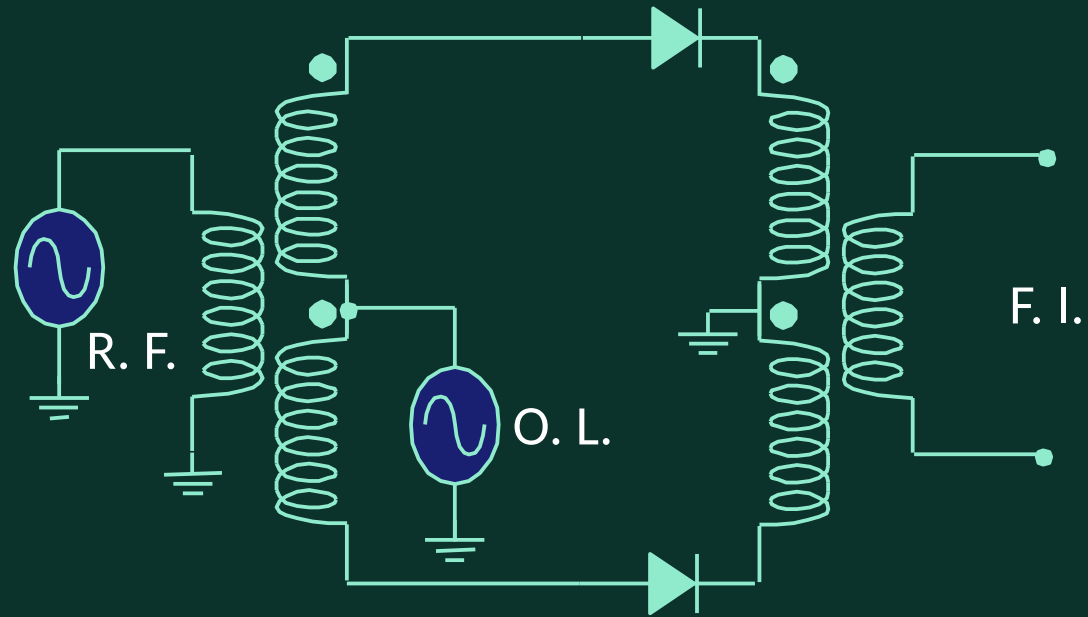
Misturador com diodo único

- Perda elevada na conversão;
- Alta figura de ruído, ou seja, razão do SNR do sinal de entrada (R. F.) para o SNR do sinal de saída (F. I.);
- Alta distorção;
- Sem isolamento entre o sinal de informação e o sinal do oscilador local. Com isso, pode ocorrer interferência provinda da corrente do O. L.;
- A saída contém os sinais do oscilador local e as harmônicas geradas;



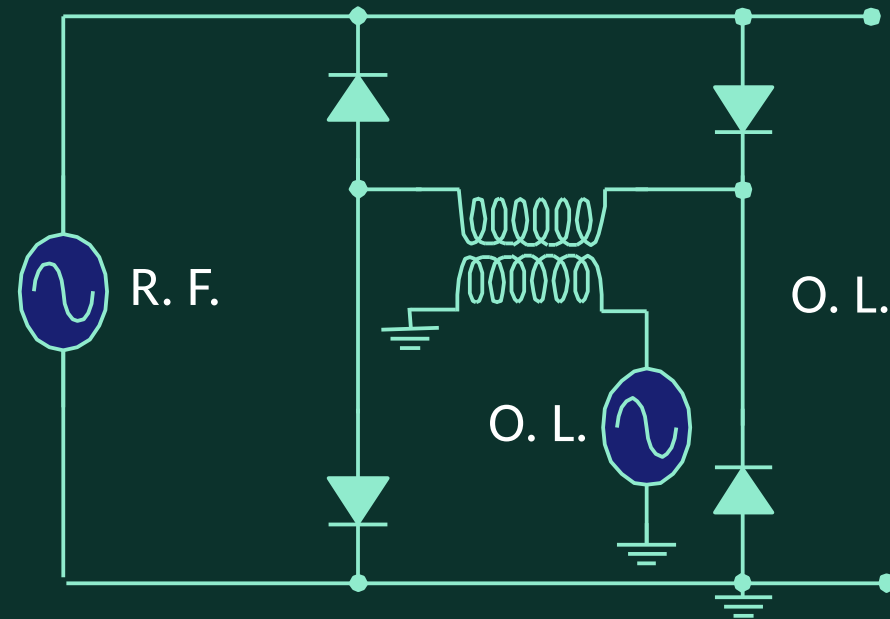
Misturador balanceado com diodo

- Na saída, há o sinal de rádio frequência e as harmônicas geradas;
- O sinal do oscilador local não aparecerá na saída.



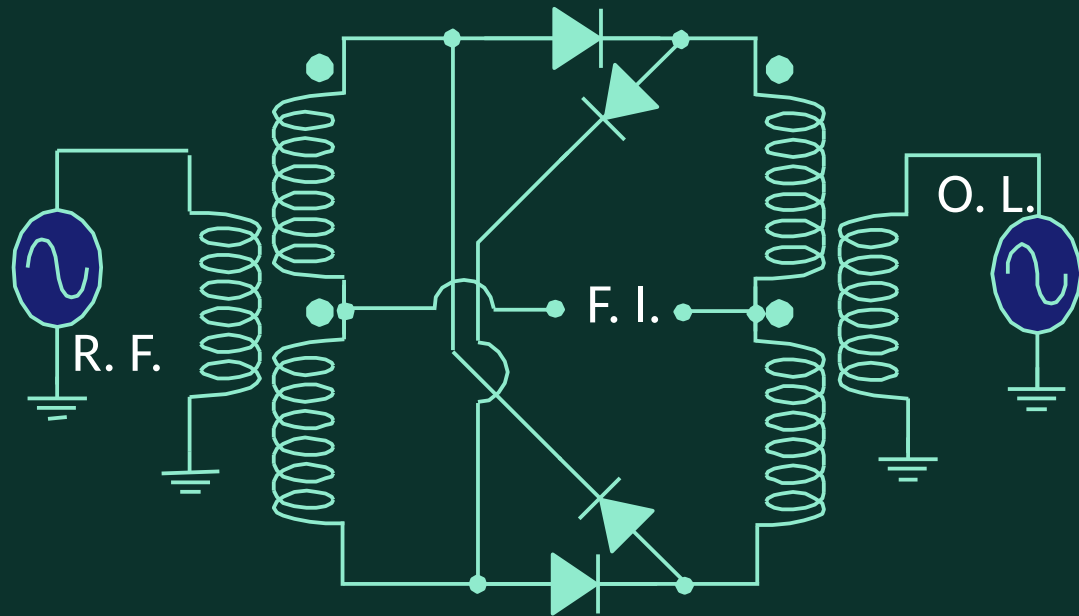
Misturador balanceado com diodo

- A saída é composta pelo sinal de R. F. de informação, as frequências ímpares do oscilador local e as componentes harmônicas geradas pelo misturador;
- O sinal em si do O. L., bem como suas harmônicas, não ocorrem na saída;



Misturador duplamente balanceado com diodo

- Na saída:
 - $nf_{LO} \pm f_{RF}$, sendo “n” um valor ímpar;
 - Sem a presença dos sinais do oscilador local e de informação;
- Opera em faixa de frequência fixa;
- Perda aproximada de 6 dB;
- Figura de ruído entre 6 dB e 8 dB;
- Isolamento entre R. F. e O. L. aproximadamente 50 dB.

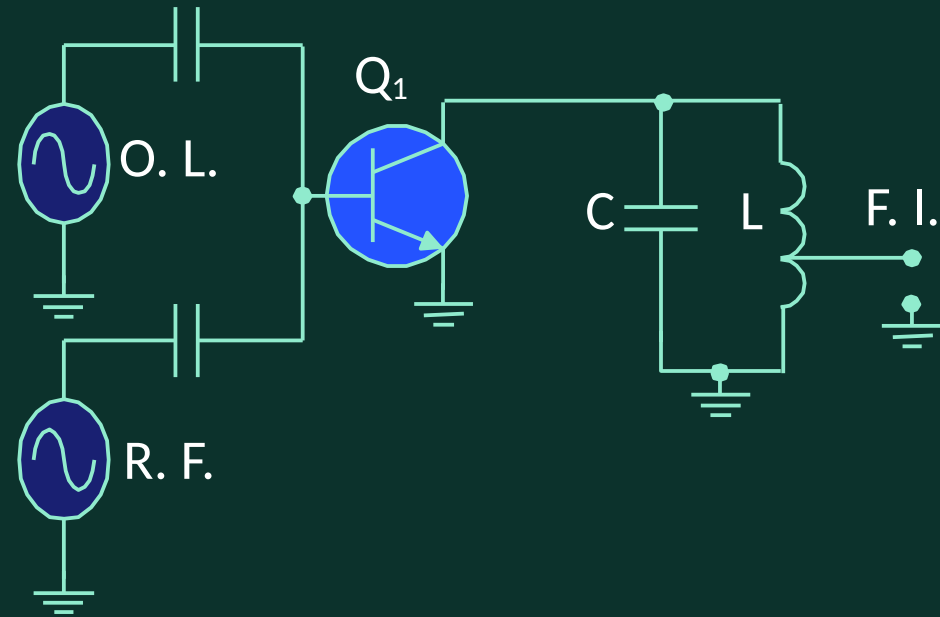


Misturadores com transistor de junção bipolar

- Possuem valor alto na razão de potência do sinal de saída (frequência intermediária) para a potência do sinal de entrada (sinal de informação – R. F.), ou seja, alto ganho de conversão;
- O ganho é de aproximadamente 20 dB;
- Possuem baixa figura de ruído;
- Operam com tensões típicas entre 100 mV a 500 mV para o oscilador local;
- A estabilidade é alcançada quando o circuito projetado possui isolamento dos dois sinais de entrada e o sinal de saída.

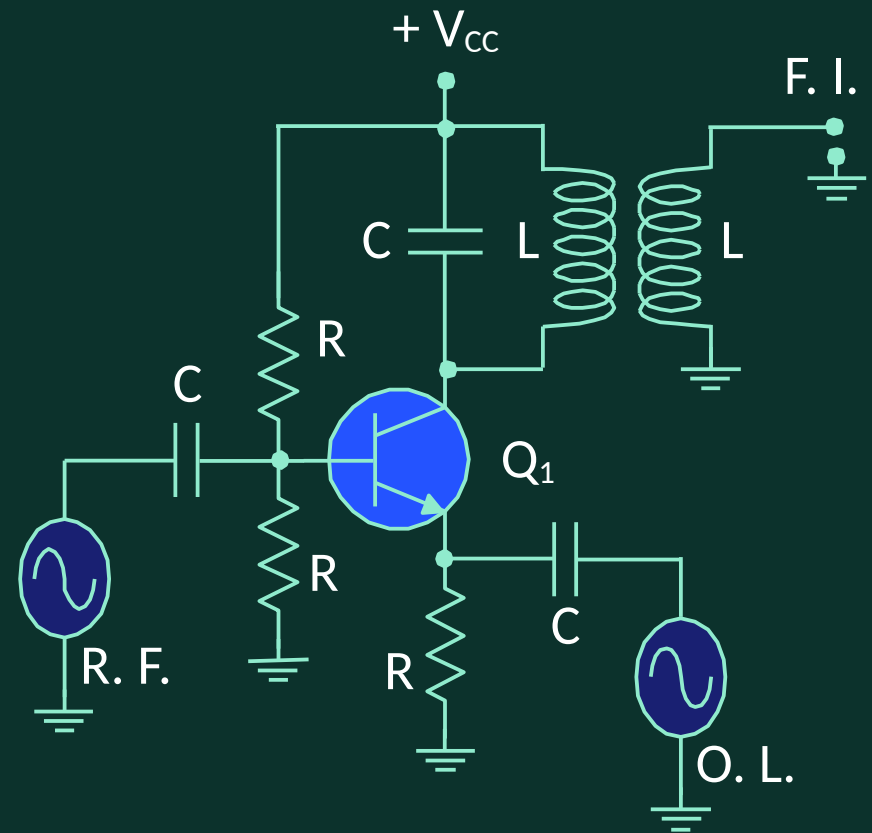
Misturador com TJB

- Como O. L. e R. F. Estão conectados no mesmo ponto, na base do transistor, o isolamento entre os mesmos é ruim;
- O ganho é de, aproximadamente, 30 dB em baixas frequências.



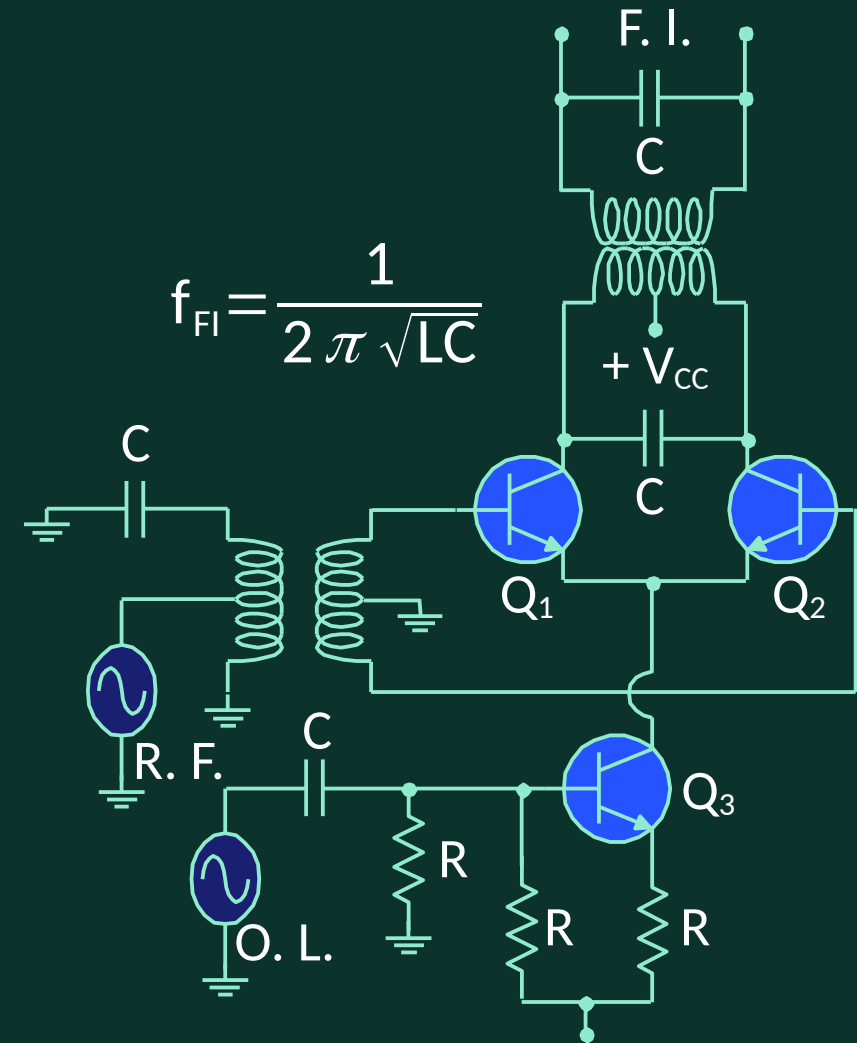
Misturador com TJB

- Ao contrário do circuito anterior, o isolamento entre os sinais do O. L. e de R. F. é melhor por conta ligação em pontos separados, sendo o sinal de informação inserido na base do transistor e o oscilador local no coletor do mesmo;
- O ganho aproximado é de 30 dB para frequências baixas.



Misturador com TJB

- Na saída, o sinal do oscilador local não interfere na porta de saída F. I. e nem na entrada de R. F.;
- Este tipo de circuito, par diferencial, é indicado para a produção de circuitos integrados.

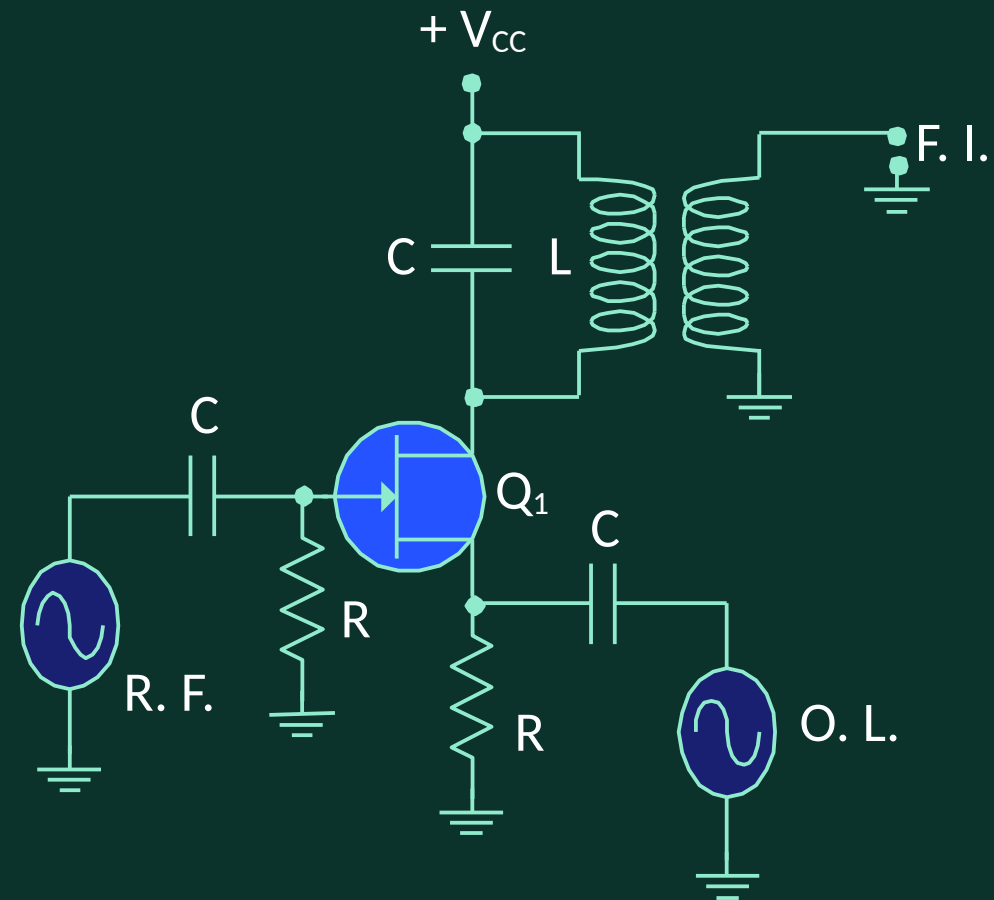


Misturadores com FET e MOSFET

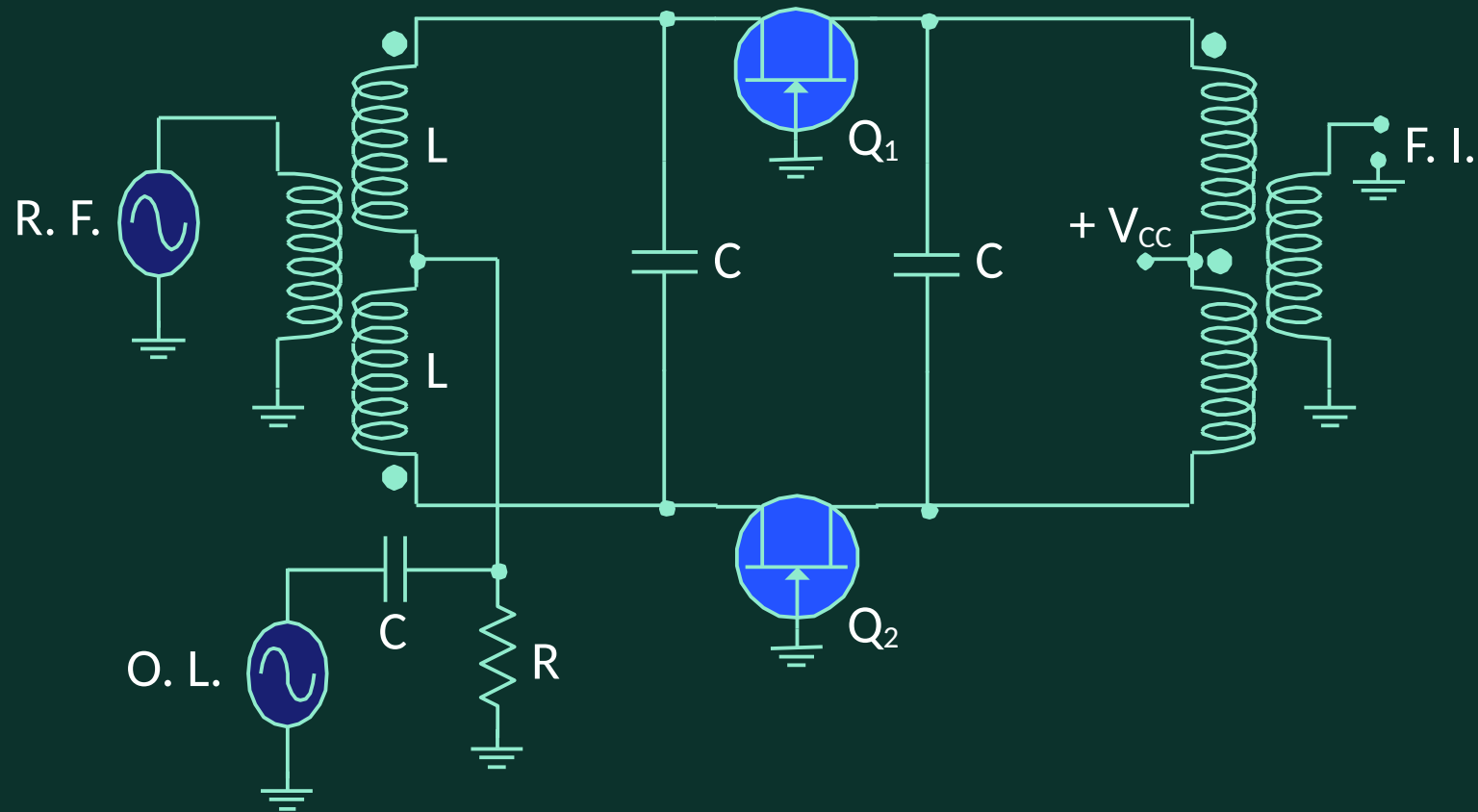
- Possuem ganho de conversão positivo;
- Possuem baixa figura de ruído;
- São mais estáveis em decorrência da baixa capacitância com realimentação;
- Precisam de uma potência maior para o sinal do oscilador local do que os circuitos com transistor de junção bipolar.

Misturador com FET

- Ganho de conversão menor;
- Melhor isolamento entre os sinais de R. F. e O. L.;
- Utilizado em frequências abaixo de 2 GHz.



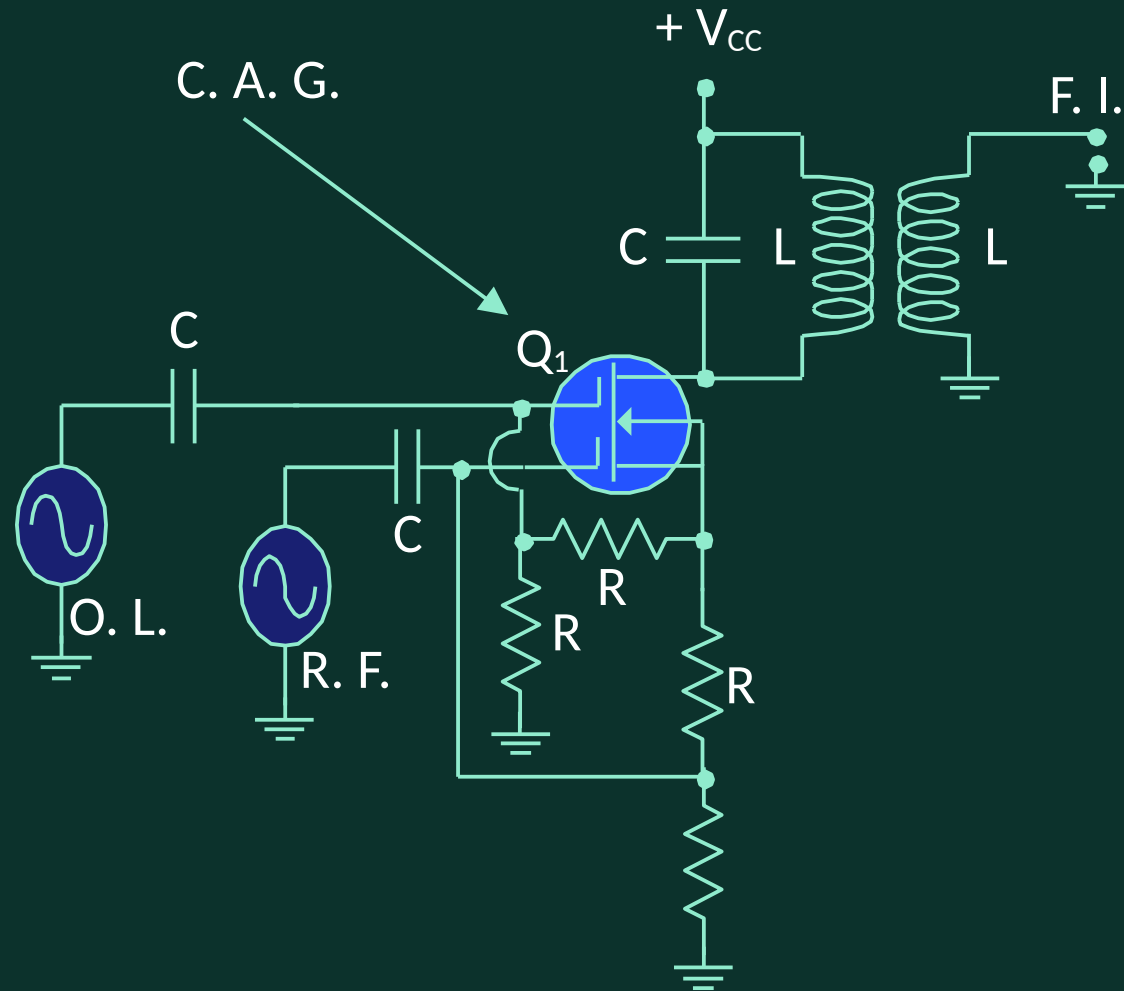
Misturador com FET



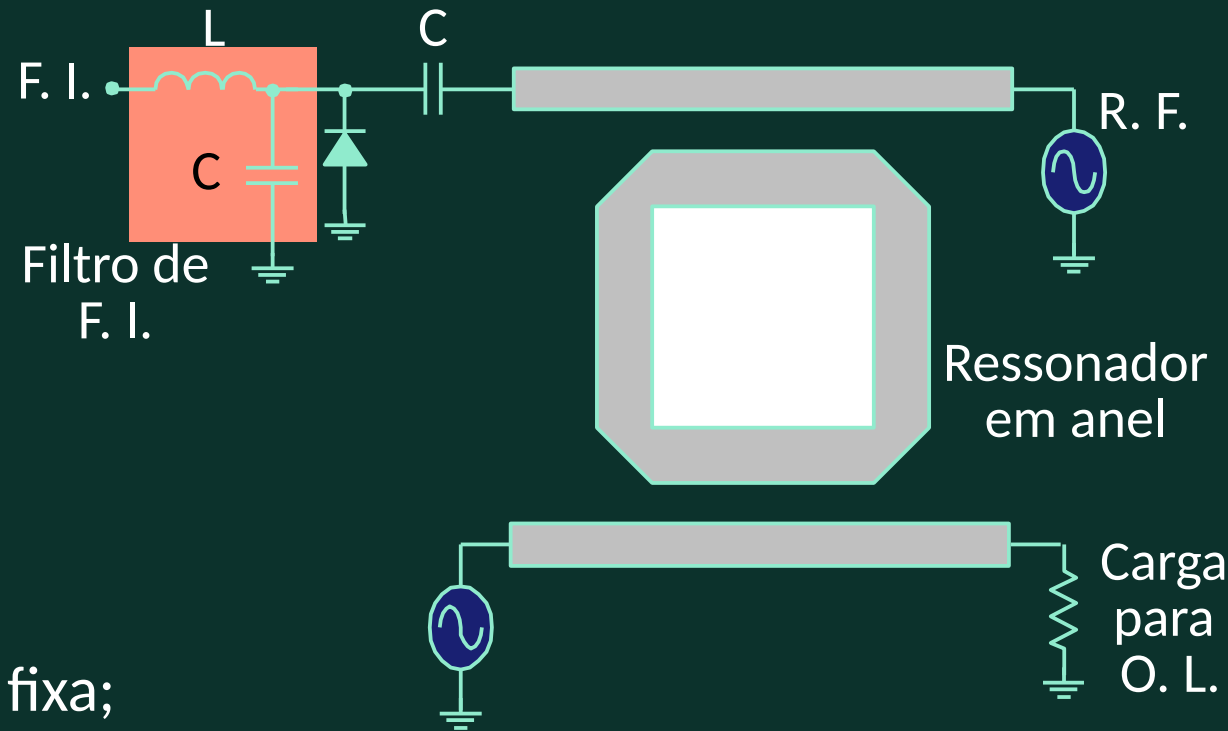
- Todas as harmônicas pares são eliminadas quando a configuração *push-pull* é utilizada;
- Baixo nível de intermodulação;
- Usando uma impedância de entrada muito menor do que na configuração de fonte comum, o melhor desempenho é obtido.

Misturador com FET

- Há controle automático de ganho (C. A. G.);
- Possui estabilidade em circuitos de alta frequência;
- Pois capacitância muito baixa na realimentação.

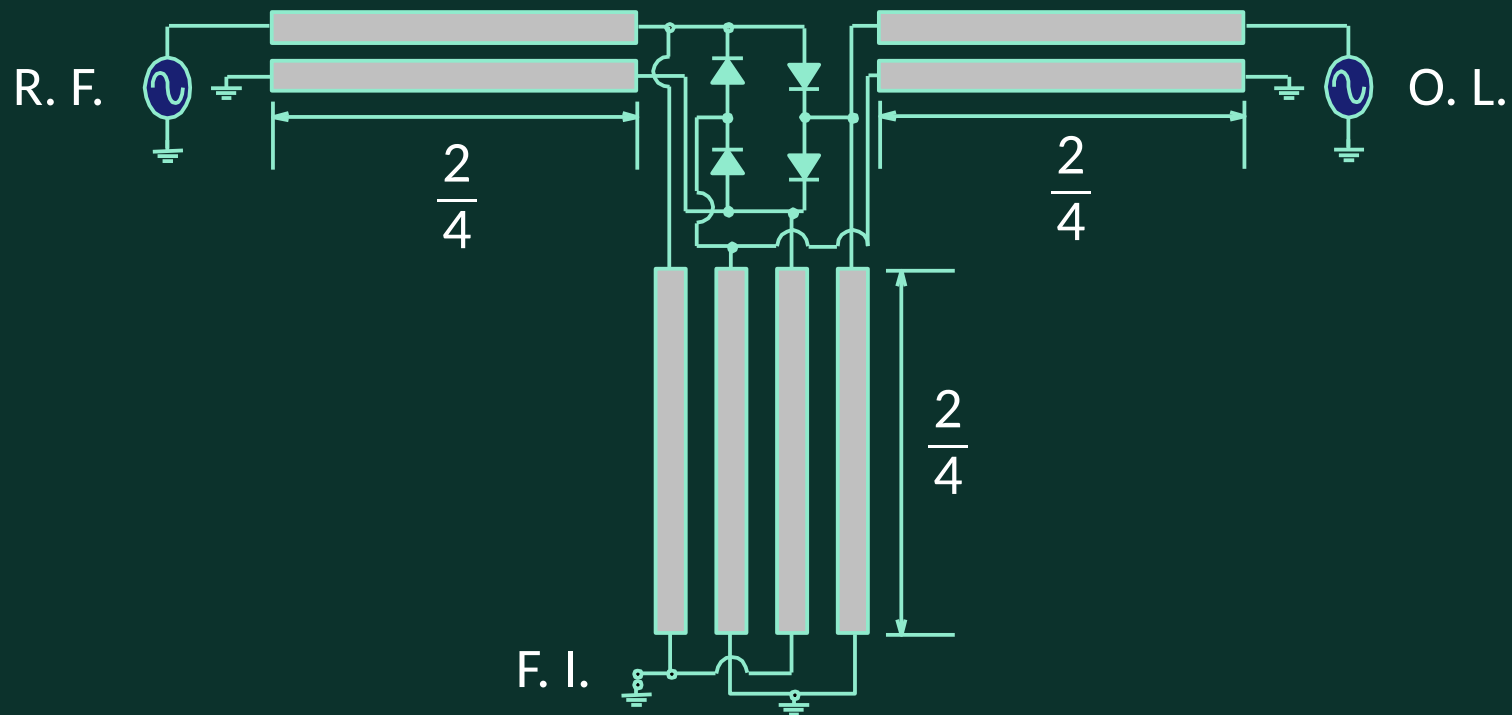


Misturador para micro-ondas



- É utilizado para faixa estreita;
- Frequência do oscilador local fixa;
- A carga garante um nível baixo de VSWR para o O. L.;
- O filtro de F. I. é do tipo passa-baixa;
- Acima de 1 GHz, deve-se utilizar baluns distribuídos.

Misturador para micro-ondas

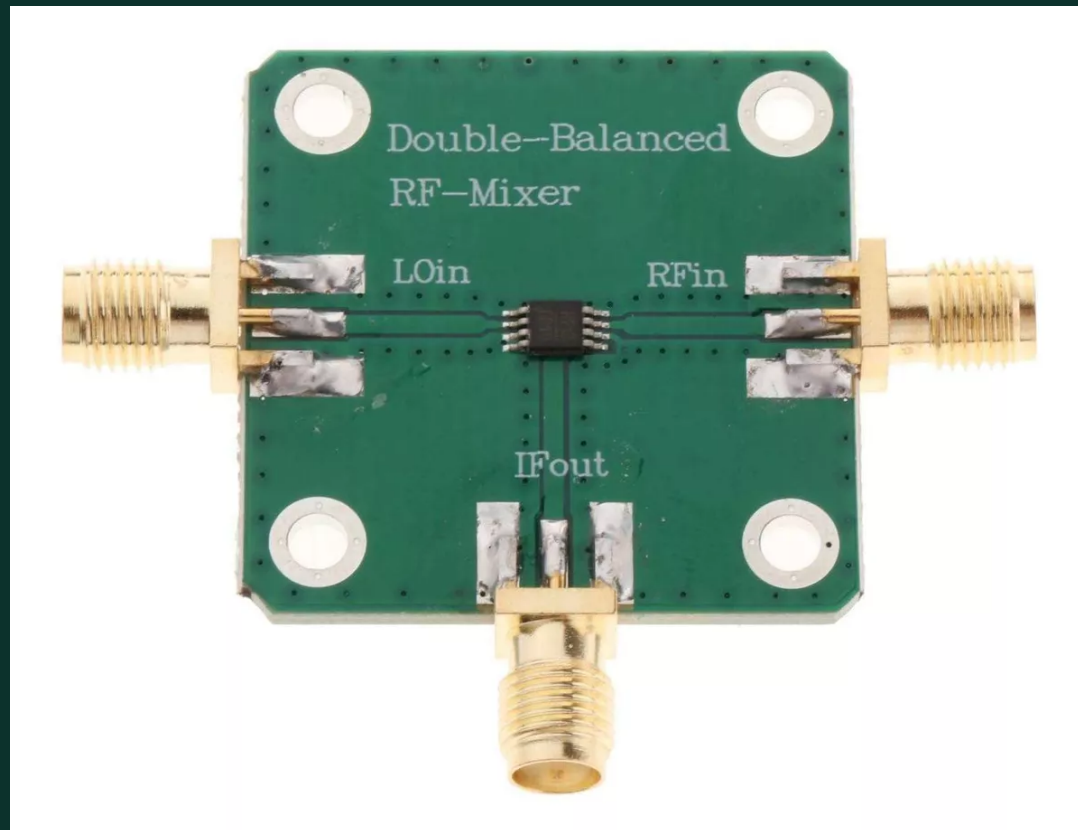


- O balun de F. I. funciona como linha de transmissão para o sinal de F. I. e para os sinais de informação e oscilador local, como stubs;
- O balun de F. I. é composto por quatro *striplines* acoplados, como $\frac{2}{4}$ de comprimento de onda da frequência centra de R. F. e do O. L.

Exemplos de circuitos reais

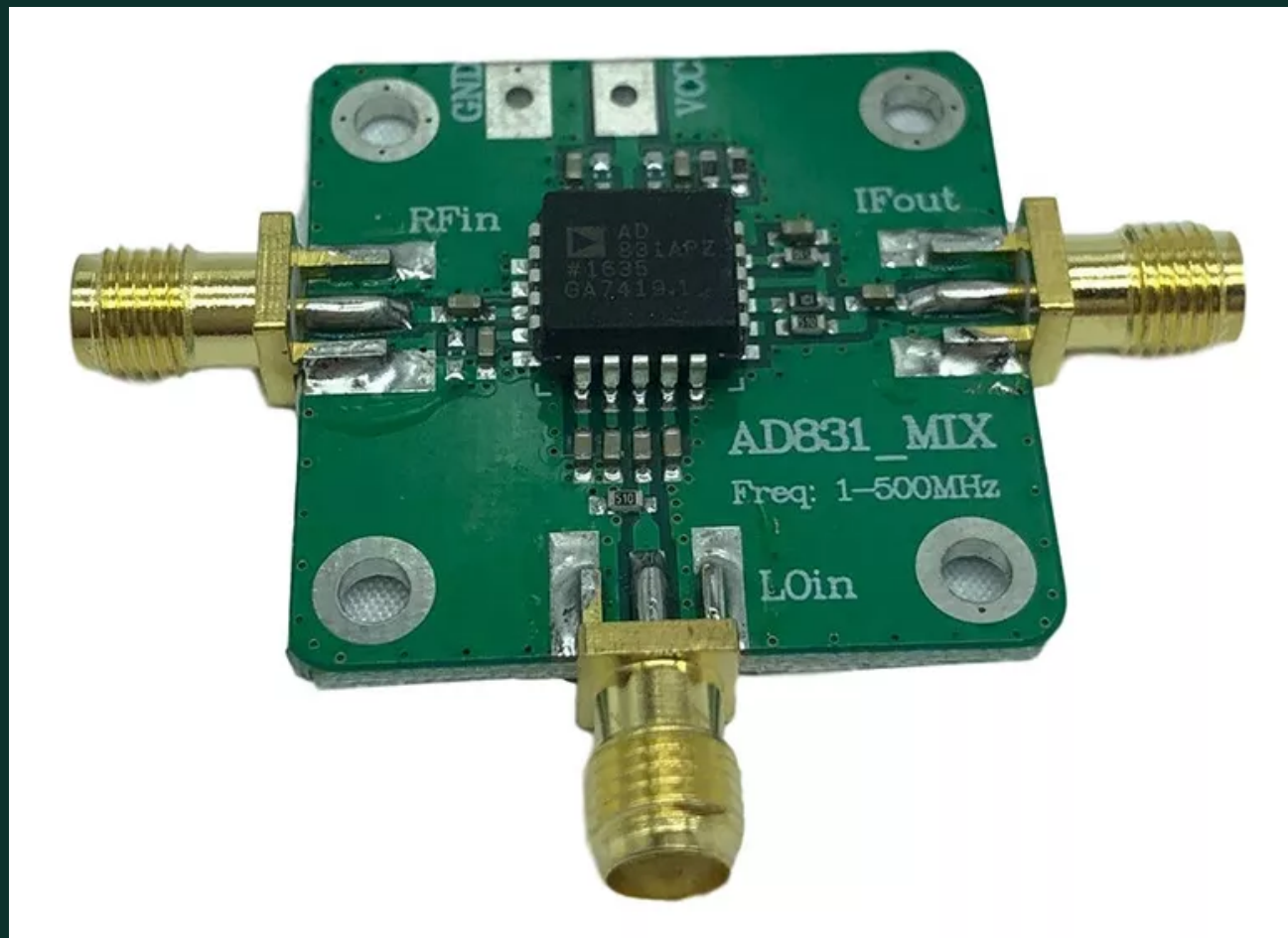
Duplamente balanceado

- Misturador duplamente balanceado e passivo;
- Na entrada “RFin”, suporta frequências entre 1,5 GHz a 4,5GHz;
- Na saída “RFout”, suporta saída de DC até 1,5 GHz.
- Perda de conversão: 8,5 dB;
- Figura de ruído: 8,5 dB (SSB)



Duplamente balanceado

- Misturador ativo, com tensões entre 9 V e 11 V;
- Nas entradas “RFin” e “LOin”, a faixa de frequência suportada é de 0,1 Hz à 500 MHz;
- Na saída “RFout”, suporta uma largura de banda de 250 MHz.



Duplamente balanceado

- Misturador passivo com perda de conversão de 8 dB;
- Frequências das conexões LO e RF: 9 GHz ~ 15 GHz;
- Frequência intermediária: DC ~ 2,5 GHz;
- Figura de ruído (*Single Side Band*): 8 dB

