



PSI 3581 - Circuitos de Micro-ondas

# Conversores de Frequência

Profa. Fatima Salete Correra

# Conversores de Frequência

## Sumário

- Introdução
- Princípio de operação
- Características do conversor de frequência
- Simulação de conversor de frequência a diodo

# Conversores de Frequência

## Introdução

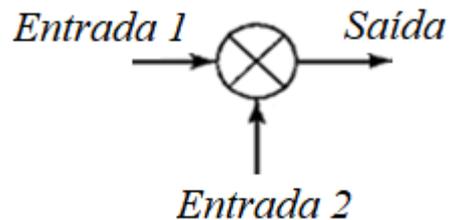
- Denominações comuns
  - Conversor de frequência (Frequency Converter)
  - Misturador de Frequência (Frequency Mixer)
- Conceito

“Dispositivo de três portas, que usa um elemento não linear para obter conversão de frequência”
- Elementos não lineares usados
  - Diodos
  - Transistores
- Aplicação em sistemas de micro-ondas
  - Receptores
  - Transmissores

# Conversores de Frequência

## Princípio de operação

- Símbolo do conversor de frequências

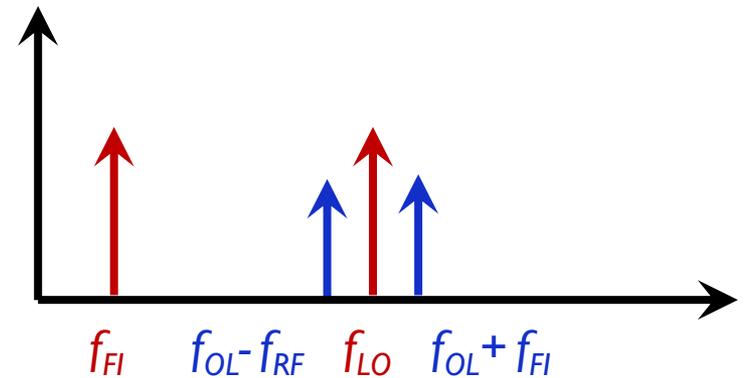
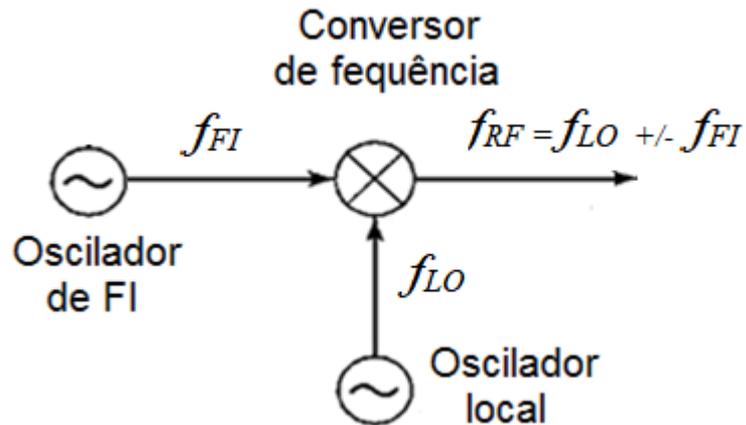


- Indica que o sinal de saída é proporcional à multiplicação dos dois sinais de entrada
- Sejam as entradas
  - $v_1(t) = \cos 2\pi f_1 t$
  - $v_2(t) = \cos 2\pi f_2 t$
- O sinal de saída: sinal de RF
  - $v_S(t) = K v_1(t) v_2(t) = K \cos 2\pi f_1 t \cos 2\pi f_2 t$
  - $v_S(t) = \frac{K}{2} [\cos 2\pi (f_2 - f_1) t + \cos 2\pi (f_2 + f_1) t]$

$$\therefore f_S = f_2 \pm f_1$$

# Conversores de Frequência

- Conversor de frequência “up converter”



- Sejam as entradas

- $v_{FI}(t) = \cos 2\pi f_{FI} t$

- $v_{OL}(t) = \cos 2\pi f_{OL} t$

Saída contem duas bandas de frequência

Upper Side Band – saída contem a banda superior

- O sinal de saída: sinal de RF

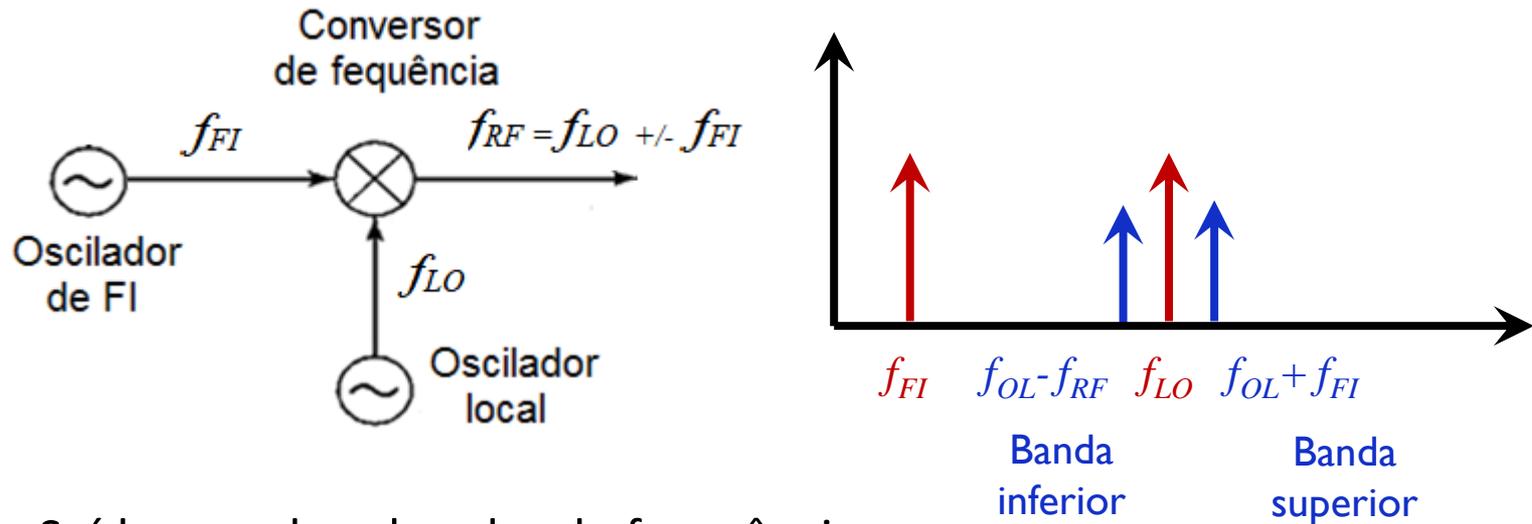
- $v_{RF}(t) = K v_{FI}(t) v_{OL}(t) = K \cos 2\pi f_{FI} t \cos 2\pi f_{OL} t$

- $v_{RF}(t) = \frac{K}{2} [\cos 2\pi (f_{OL} - f_{FI}) t + \cos 2\pi (f_{OL} + f_{FI}) t]$

$$\therefore f_{RF} = f_{OL} \pm f_{FI}$$

# Conversores de Frequência

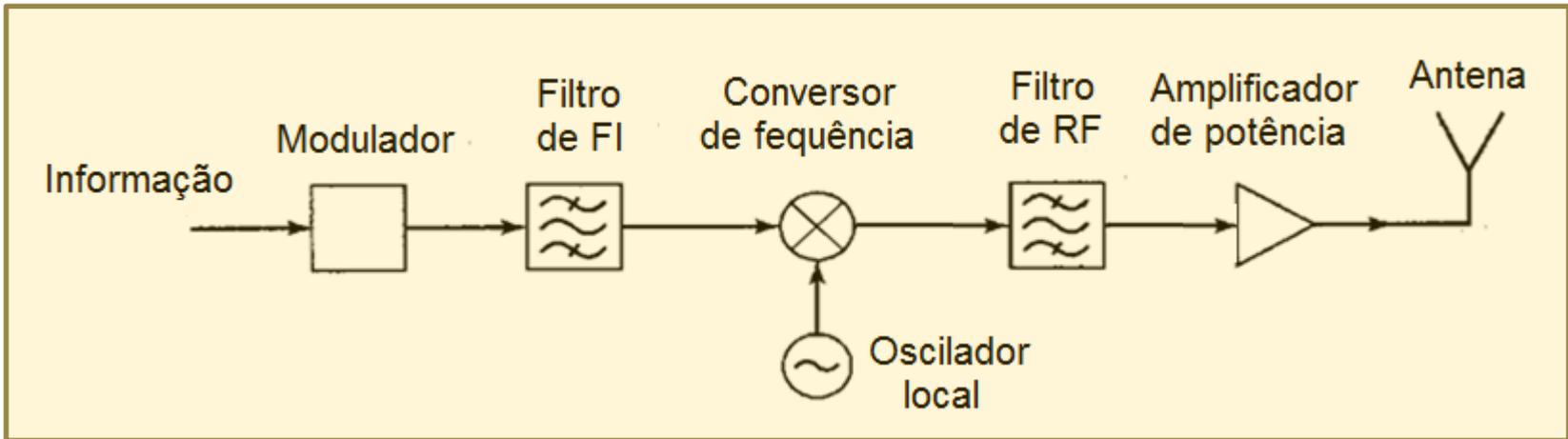
- Conversor de frequência “up converter”



- Saída com duas bandas de frequência
  - Sinal DBS – Double Side Band
    - Banda inferior  $\rightarrow f_{RF} = f_{OL} - f_{FI}$
    - Banda superior  $\rightarrow f_{RF} = f_{OL} + f_{FI}$
- Saída com uma banda de frequência
  - Sinal SSB – Single Side Band
    - Filtro após o conversor de frequência
    - Ou conversor de frequência de banda única – Single Sideband Mixer

# Conversores de Frequência

- Aplicação de “up converter” → transmissores



- Conversor de frequências do tipo “up converter”
  - Converte o sinal de FI modulado pela informação para a frequência de RF a ser transmitida
  - Entradas: FI →  $f_{FI}$  e oscilador local →  $f_{OL}$
  - Saída: RF →  $f_{RF} \gg f_{FI}$

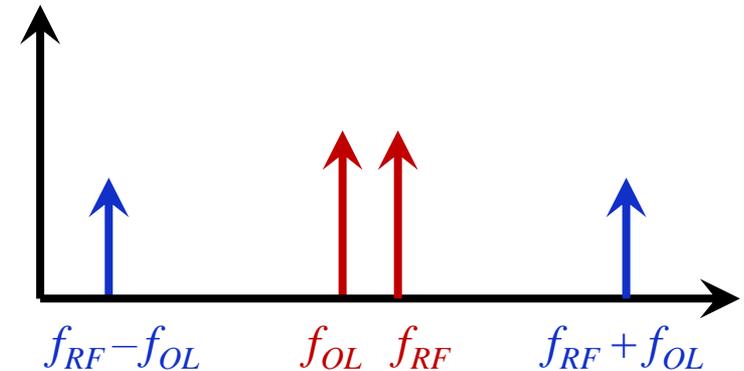
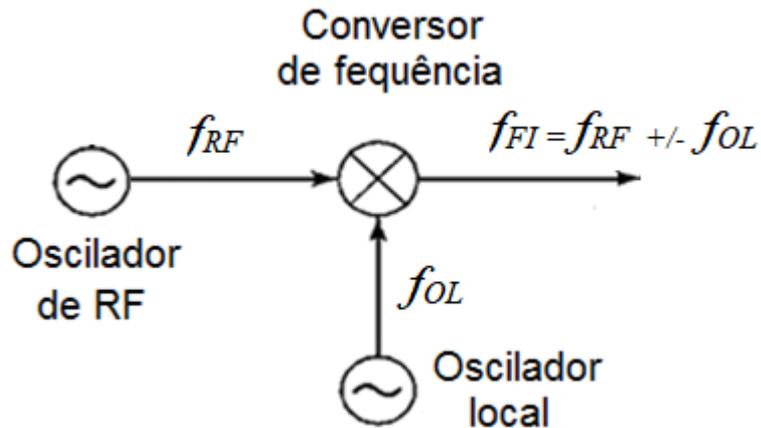
$$f_{RF} = f_{OL} + f_{FI}$$

ou

$$f_{RF} = f_{OL} - f_{FI}$$

# Conversores de Frequência

- Conversor de frequência “down converter”



- Sejam as entradas

- $v_{OL}(t) = \cos 2\pi f_{OL} t$
- $v_{RF}(t) = \cos 2\pi f_{RF} t$

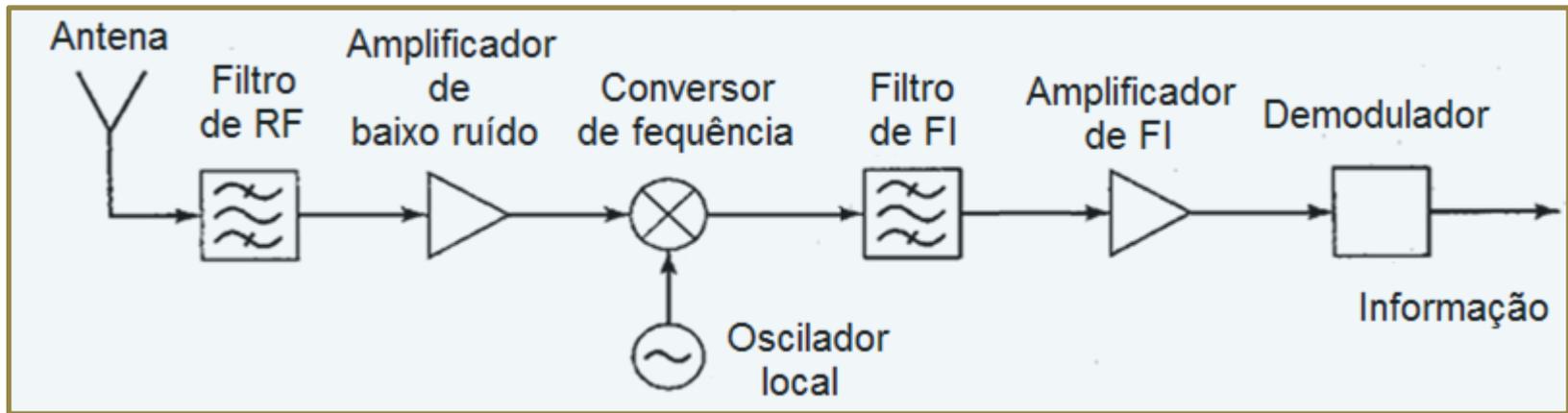
- O sinal de saída: sinal de RF

- $v_{FI}(t) = K v_{OL}(t) v_{RF}(t) = K \cos 2\pi f_{OL} t \cos 2\pi f_{RF} t$
- $v_{RF}(t) = \frac{K}{2} [\cos 2\pi (f_{RF} - f_{OL}) t + \cos 2\pi (f_{RF} + f_{OL}) t]$

$$\therefore f_{FI} = f_{RF} \pm f_{OL} \rightarrow \text{saída de interesse } f_{FI} = f_{RF} - f_{OL}$$

# Conversores de Frequência

- Aplicação de “down converter” → receptores



- Conversor de frequências do tipo “down converter”
  - Converte o sinal de RF recebido para a frequência de FI a ser demodulada
- Entradas: RF →  $f_{RF}$  e oscilador local →  $f_{OL}$
- Saída: FI →  $f_{FI} \ll f_{RF}$

$$f_{FI} = f_{OL} - f_{RF}$$

$$\text{se } f_{OL} > f_{RF}$$

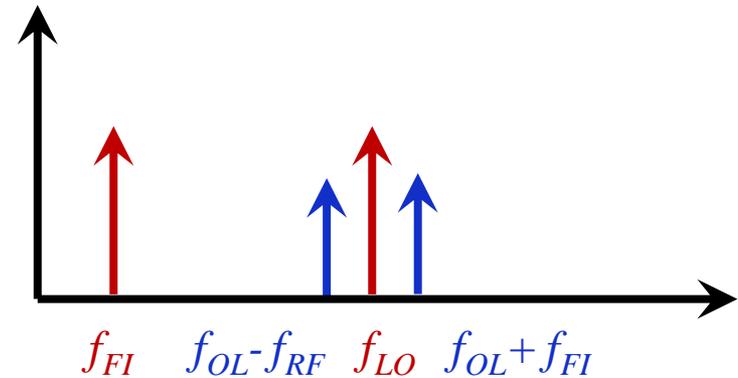
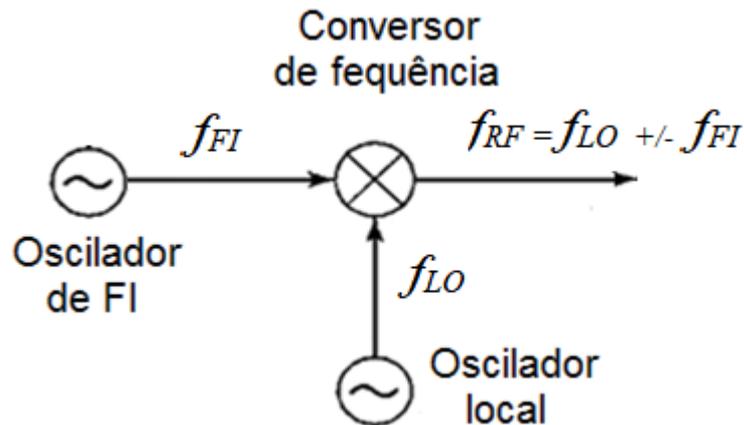
ou

$$f_{FI} = f_{RF} - f_{OL}$$

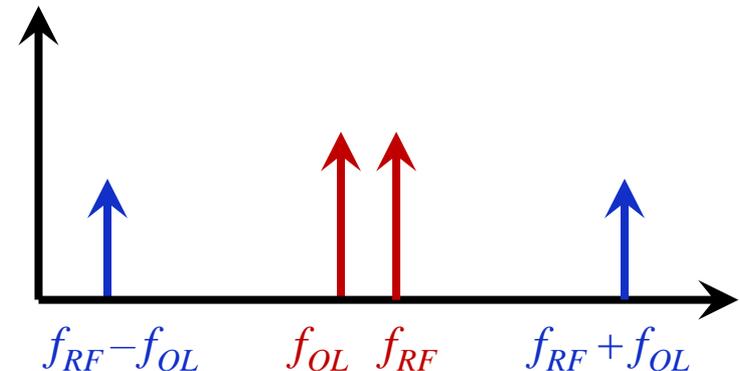
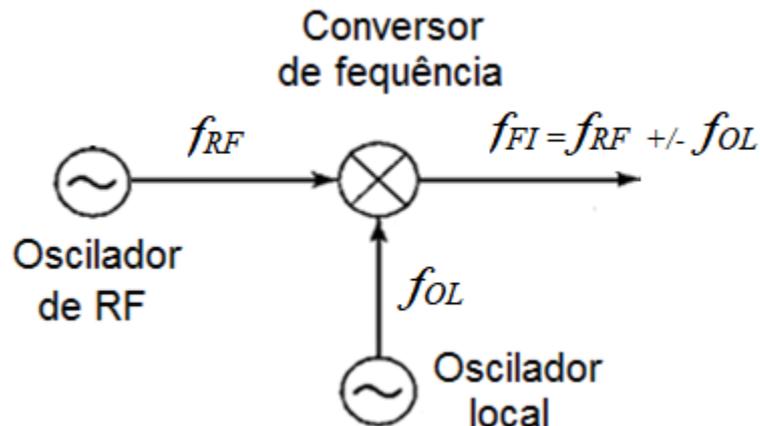
$$\text{se } f_{RF} > f_{OL}$$

# Conversores de Frequência

- Conversor de frequência “up converter”



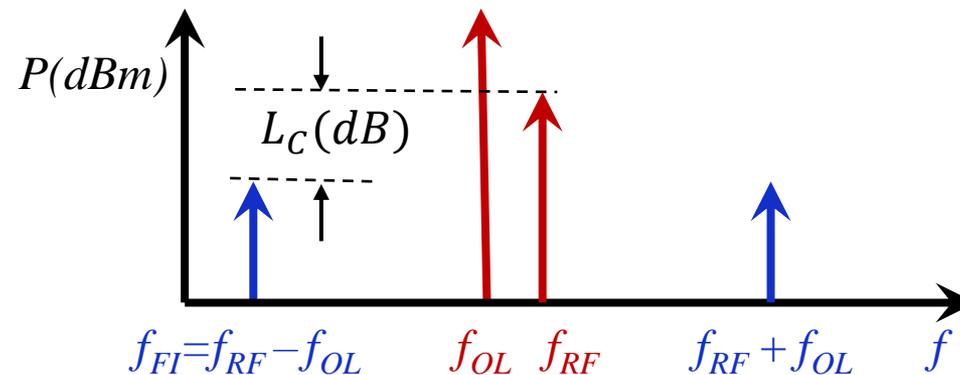
- Conversor de frequência “down-converter”



# Parâmetros de Conversores de Frequência

- Perda de conversão

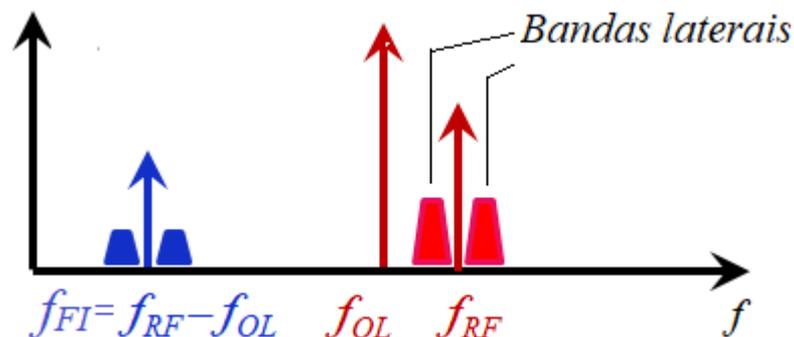
$$L_c = 10 \log \frac{\text{potência de RF disponível na entrada}}{\text{Potência de FI disponível na saída}}$$



- Valores típicos na faixa de 1 a 10 GHz
  - **Perda de conversão** entre 4 e 7 dB, para conversores a diodo
  - **Ganho de conversão** de alguns dB, para conversores a transistor
- Potência do sinal de oscilador local
  - Afeta a perda de conversão
  - Em geral, entre 0 e 10 dBm para minimizar essa perda

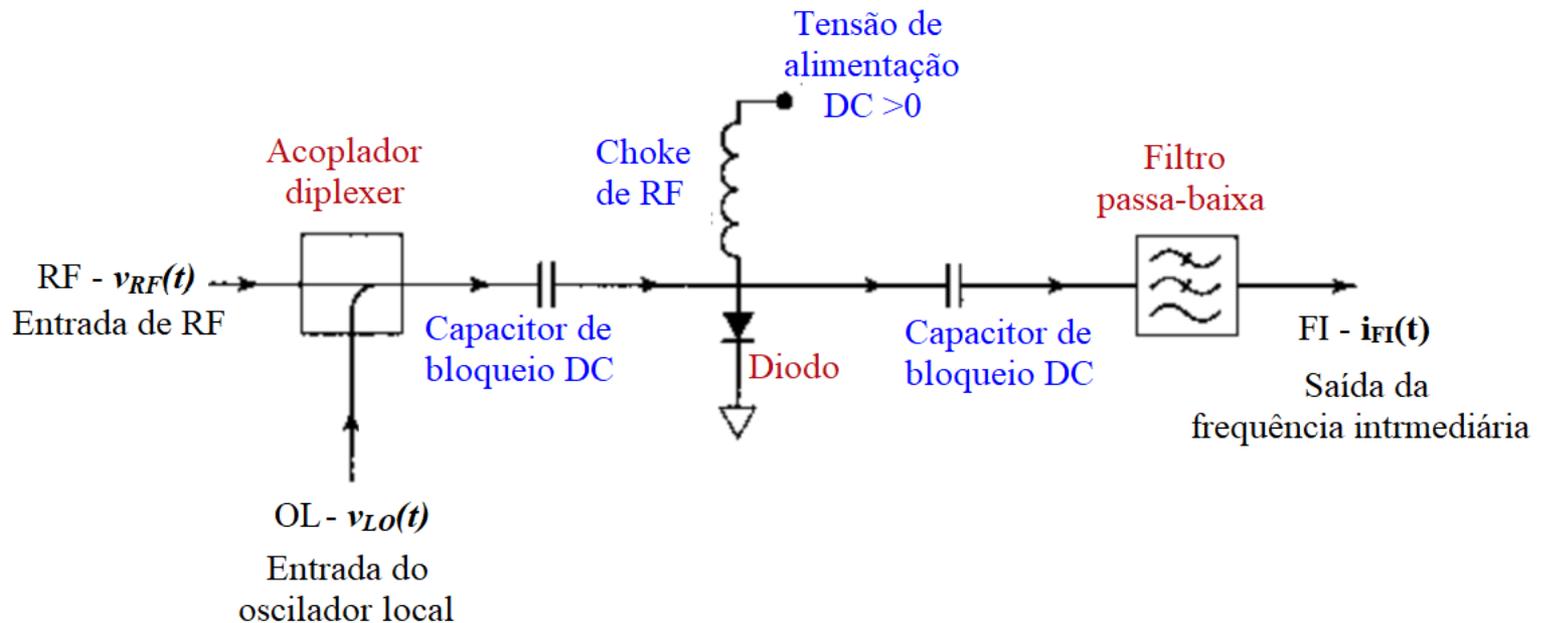
# Características de Conversores de Frequência

- Figura de ruído
  - Ruído gerado pelo elemento não-linear → diodos ou transistores
  - Ruído térmico devido a perdas resistivas
  - Valores típicos de figura de ruído: entre 1 dB e 5 dB
- Efeito do sinal de entrada no ruído de saída
  - Ruído das bandas laterais do sinal de entrada é convertido para a frequência de FI
  - Sinal de entrada SSB (single side band) produz metade do ruído de uma entrada DSB (double side band)



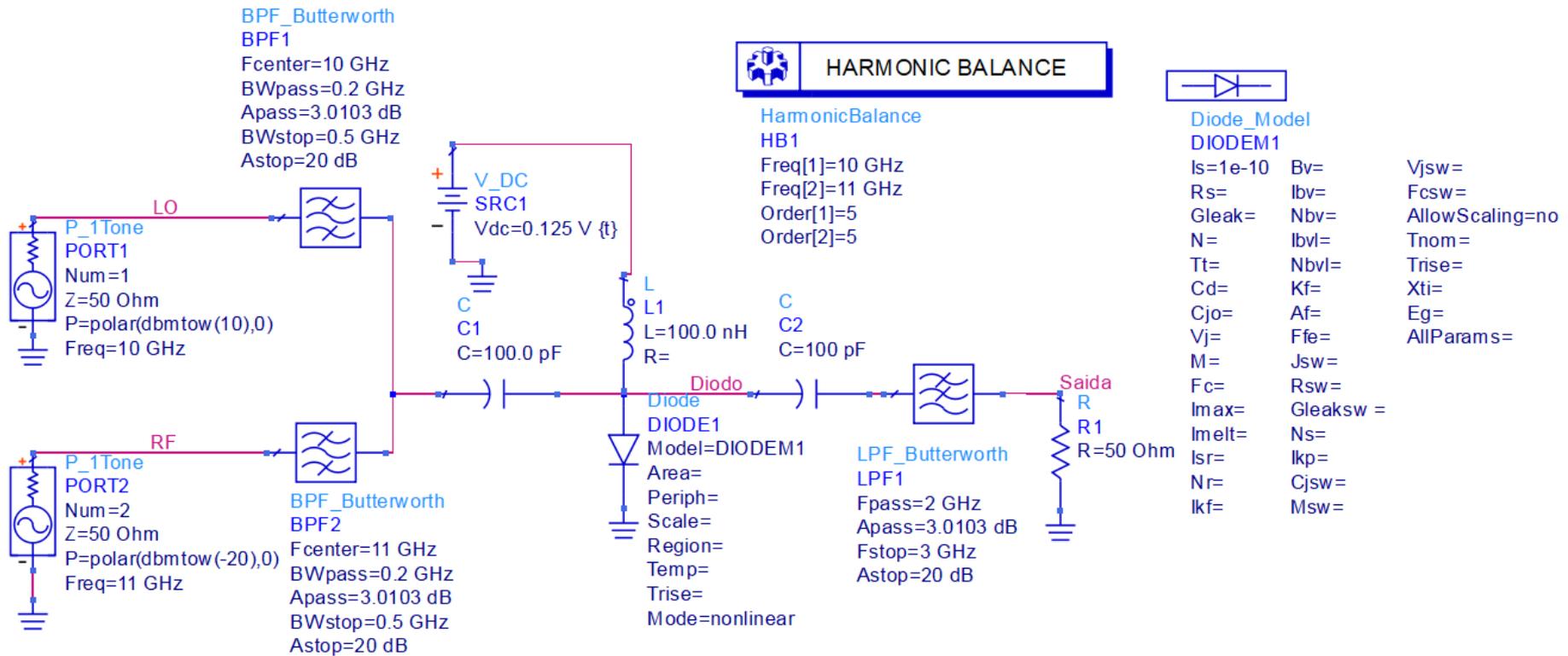
# Exemplo de conversor de frequência

- Single-ended diode mixer – down converter
  - Utiliza apenas um diodo como elemento não linear, usualmente polarizado para minimizar a perda de conversão
  - Diplexer ou acoplador para conectar os dois sinais de entrada
  - Filtro passa-baixa para filtrar o sinal de FI
  - Capacitores de bloqueio DC e RF choke para polarização do diodo



# Simulação de conversor de frequência a diodo

## Single-ended diode mixer – down converter



- Palheta Devices-Diode
  - Diode → Diodo de junção PN
  - Diode\_Model → Modelo do diodo

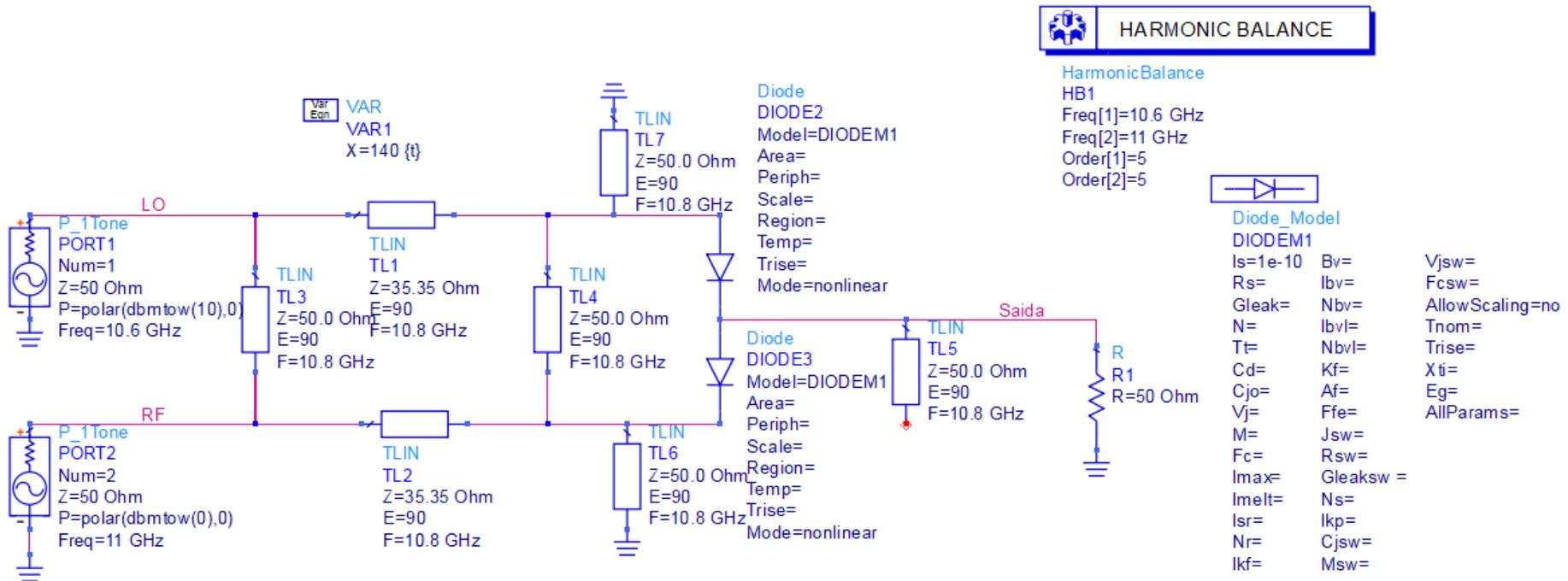
# Simulação de conversor de frequência a diodo

## Single-ended diode mixer – down converter

- Entradas
  - Sinal de OL: 10 GHz, 10 dBm
  - Sinal de RF: 11 GHz, -20 dBm
- Faça a simulação de Balanceamento Harmônico
- Trace os gráficos
  - “Diodo” – espectro de frequência
  - “Saída” – espectro de frequência
- Meça a perda de inserção
  - Minimize a perda de inserção, variando a tensão de polarização do diodo
- Repita os itens acima, para potência de sinal de RF de 0 dBm
  - A tensão ideal de polarização do diodo continua a mesma?

# Simulação de conversor de frequência a diodo

## Double-balanced diode mixer – down converter



- Simule o circuito e verifique o espectro do sinal de saída
- Determine a perda de conversão