

2ELE043 - Princípios de Comunicações

EXPERIÊNCIA 4 – Oscilador LCTaufik ABRÃO[†] and Jaime L. JACOB[†], Lab. Telecom - Depto Eng. Elétrica da UEL**RESUMO** Projeto e análise de osciladores de RF com transistor bipolar, configuração base comum.**palavras-chave:** Osciladores LC, transistor bipolar.**1. OBJETIVOS**

- Comprovar na prática a validade e limitações de um projeto de oscilador LC empregando modelo de pequenos sinais;
- Determinar a frequência de oscilação de um oscilador LC configurado em base comum;
- Analisar a estabilidade em função da variação da tensão de alimentação;
- Avaliar o conteúdo harmônico à saída do oscilador.

2. MATERIAL NECESSÁRIO

2.1 Utilizar o aplicativo Orcad

3. INTRODUÇÃO

Veja unidade 2 - Osciladores de RF

3.1 projeto do Seguidor de Emissor (Coletor Comum)

A seguir, apresenta-se um projeto simplificado para o estágio seguidor de emissor. Para que a carga colocada à saída do oscilador não interfira na operação deste, intercala-se o estágio seguidor de emissor para proporcionar isolamento e adaptação de impedâncias, figura 1(a). Os principais requisitos para a aplicação são:

1. Tensão de saída: máxima de $400mV_{pp}$ sobre $Z_{out} = 50\Omega$.
2. Impedância de saída: $< 10\Omega$.

Da especificação 1 \rightarrow Corrente de carga fornecida pelo estágio $\approx 4mA$ carregado. Portanto $I_{C2} > 4mA$ para não ocorrer corte nos semi-ciclos negativos. Adotando-se $I_{C2} = 10mA$, resulta em impedância de saída $r_0 = \frac{1}{g_m} = \frac{1}{40I_{C2}} = 2,5\Omega$, satisfazendo a especificação 2.

A tensão de emissor deve ser dimensionada de modo a evitar grandes variações de corrente no coletor em função da tensão de saída. Isto é importante para evitar a introdução de distorção harmônica (componentes de múltiplas frequências de entrada), devido à variação não linear de V_{be} em função da corrente I_C . Adotando-se $V_e = 3V \gg 400mV_{pp}$. Portanto, $R_6 = 3/10 = 300\Omega$.

A corrente de base será: $I_b = \frac{I_C}{\beta}$. Escolhendo a rede de realimentação de base de tal forma a ser suficientemente maior que a impedância de saída do oscilador. O equivalente de Thevenin é mostrado na figura

1(c). Assim, adotando $R_t = 5k\Omega$

$$V_b = V_e + 0,6 = R_6 I_C + 0,6 = 3,9V$$

$$V_t = V_b + I_b R_t = 5,15V = V_{CC} \frac{R_5}{R_4 + R_5}$$

$$\Rightarrow R_t = R_4 // R_5; \text{ e } R_4/R_5 = 0,752$$

$$R_4 = 12k\Omega; R_5 = 8,2k\Omega \quad (1)$$

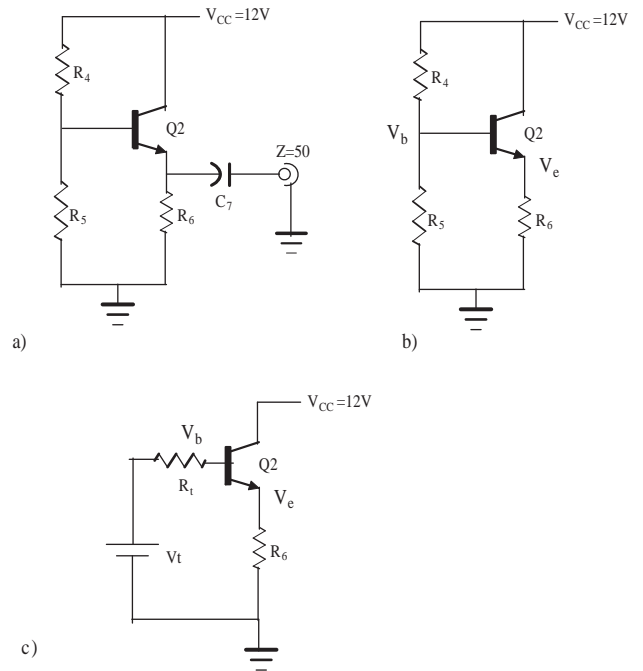


Figura 1 (a) Circuito equivalente AC para o estágio Seguidor de Emissor; (b) Polarização; (c) Polarização - circuito equivalente Thevenin.

4. Circuito Oscilador e Estágio Adaptador de Impedâncias

1. Montar o circuito da figura 2; os valores para os componentes estão indicados na tabela 1. Note que o valor de L deve estar na faixa de 1 a $10\mu H$, objetivando obter oscilações na faixa de HF.

Tabela 1 Valores dos componentes do Oscilador LC+Buffer

| | | | |
|--------------|-------------|---------------|----------------------------|
| $R_1 = 3,9k$ | $R_6 = 330$ | $C_1 = 470pF$ | $C_6 = 10nF$ |
| $R_2 = 3,9k$ | $R_7 = 100$ | $C_2 = 10nF$ | $C_7 = 10nF$ |
| $R_3 = 22k$ | $R_8 = 470$ | $C_3 = 8,2nF$ | $L = 1 \text{ a } 10\mu H$ |
| $R_4 = 3,9k$ | | $C_4 = 10nF$ | $Q1 = BF495$ |
| $R_5 = 8,2k$ | | $C_5 = 100nF$ | $Q2 = BF495$ |

$J1$ permite abrir a malha de realimentação. Capacitores de acoplamento: C_4 ; C_5 ; C_6 . Capacitores de passagem: C_7 . A principal função de R_8 é evitar

eventuais oscilações espúrias em frequências muito altas causadas por C_3 , uma vez que a impedância de entrada de um transistor em montagem coletor comum (seguidor de emissor) com carga capacitiva (dada pelas capacitâncias parasitárias resultante da montagem do circuito) pode apresentar uma parte real negativa em algumas frequências devido às capacitâncias internas do transistor; assim, a inclusão do resistor R_8 faz com que a resistência equivalente final passe de negativa para positiva, cassando as oscilações espúrias de alta frequência.

2. Com o osciloscópio, avalie a forma de onda à saída do estágio oscilador e de saída (frequência, amplitude, distorção na forma de onda senoidal). Calcule a potência entregue à carga.
3. Meça com um frequencímetro a frequência de oscilação. Qual a influência da ponta de prova do osciloscópio sobre o valor de f_{osc} quando colocada na saída de cada estágio?
 - a. Saída do oscilador (emissor de Q2);
 - b. Coletor de Q1;
 - c. Em J1;
 - d. Sobre C_1 .

4. Utilizando o analisador de espectro, meça o conteúdo espectral à saída. Qual a potência entregue à carga em f_{osc} . Faça uma tabela relacionando as harmônicas presentes e respectivas potências (relativas). Explique um procedimento a ser adotado de tal forma a reduzir o conteúdo harmônico sem alterar a topologia do circuito.
5. Determinação da estabilidade com V_{CC} . Varie a tensão de alimentação em $\pm 20\%$ em relação à nominal medindo a correspondente variação de frequência. Calcule a estabilidade relativa, $\frac{\Delta f}{f}/V$ em $\left[\frac{\text{Hz}}{\text{MHz}}/V\right]$ ou $[\text{ppm}/V]$, parte por milhão por volts.

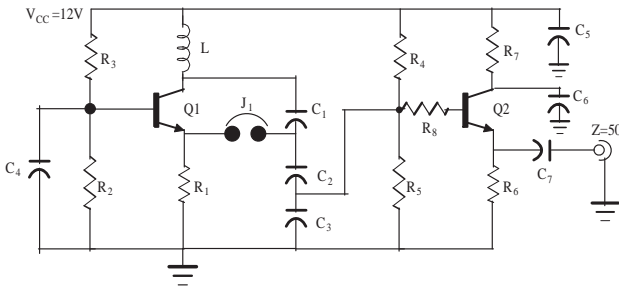


Figura 2 Oscilador LC com transistor bipolar em configuração base-comum (Q1) e estágio buffe/adaptador de impedâncias, configuração seguidor de emissor (Q2).

5. Apêndice

1. Identificação dos terminais do transistor utilizado na montagem do oscilador, figura 3.
2. Resistência de entrada do transistor:

$$r_i = \frac{r_\pi}{\beta}, \quad (2)$$

com β = ganho de corrente base-coletor

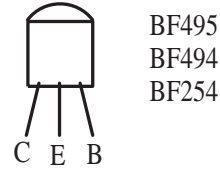


Figura 3 Pinagem para alguns transistores do tipo BF.

$$r_\pi = \frac{kT}{q} \frac{\beta}{I_C} = \frac{0,026\beta}{I_C} \quad (3)$$

onde I_C = polarização DC de coletor; q = carga do elétron; k = constante de Boltzman e T = temperatura; para temperatura ambiente, $T = 290K \Rightarrow kT/q = 0,026V$.

3. Transcondutância do transistor bipolar:

$$g_m \cdot r_\pi = \beta \text{ ou ainda: } g_m = \frac{kI_C}{kT} \approx 40I_C \quad (4)$$

g_m : diretamente proporcional a I_C .

4. Hipótese simplificada

$$\frac{1}{w^2 (C_1 + C_2)^2} \ll \left(\frac{r_i R_E}{r_i + R_E} \right)^2 \quad (5)$$

A tensão de realimentação será dada por

$$V = \frac{V_o C_1}{C_1 + C_2} \quad (6)$$

e a resistência equivalente refletida será

$$R_{eq} = \frac{r_i R_E}{r_i + R_E} n^2 = \frac{r_i R_E}{r_i + R_E} \left(\frac{C_1 + C_2}{C_1} \right) \quad (7)$$

5. Ganho do laço direto é

$$A(jw) = \frac{V_o}{V} = g_m Z_L \quad (8)$$

onde

$$Y_L = Z_L^{-1} = \frac{1}{jwL} + \frac{1}{R_{eq}} + \frac{1}{R_L} + jwC \quad (9)$$

com $C = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$. Rede de Realimentação:

$$B(jw) = \frac{V}{V_o} = \frac{C_1}{C_1 + C_2} \quad (10)$$

6. Frequência de ressonância do circuito:

$$w_o = \frac{1}{\sqrt{L_1 \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}}} \quad (11)$$

nesta frequência

$$Z_L |_{w=w_o} = \frac{R_{eq} R_L}{R_{eq} + R_L} \quad (12)$$

portanto

$$A(j)B(jw) = g_m \frac{R_{eq} R_L}{R_{eq} + R_L} \frac{C_1}{C_1 + C_2} \quad (13)$$

onde

$$R_L = \left(1 + \frac{C_2}{C_1} \right)^2 Z \quad (14)$$

7. Condições para ocorrer oscilação:

$$|A(jw)B(jw)| = g_m \frac{R_{eq} R_L}{R_{eq} + R_L} \frac{C_1}{C_1 + C_2} = 1 \quad (15)$$

$$\angle A(jw)B(jw) = 0^\circ \quad (16)$$