

3ELE002 - Circuitos de Comunicação

Experiência 3 - Oscilador LC.Taufik ABRÃO[†], Lab. Telecom - Depto Eng. Elétrica da Univ. Estadual de Londrina

RESUMO projeto e análise de osciladores de RF com transistor bipolar, configuração Base comum.

palavras-chave: osciladores LC.

Versão anterior por: Guido Stolfi, Luis Bacalá e Alessandro B. Cotessa - Eng. Elétrica da Escola Politécnica da USP.

1. OBJETIVOS

- comprovar na prática a validade e limitações de um projeto um 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. INTRODUÇÃO

Veja Unidade 2 - Osciladores de RF

2.1 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: máximo 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 $r_o = \frac{1}{g_m} = \frac{1}{40I_{C2}} = 2,5\Omega$, satisfazendo a especificação 2.

A tensão de emissor deve ser dimensionada de modo a evitar grandes variações de corrente no coletor em função tensão de saída. Isto é importante para evitar a introdução de distorção harmônica (componentes de freq de múltiplas da freq 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 suficiente maior que a impedância de saída do oscilador. O

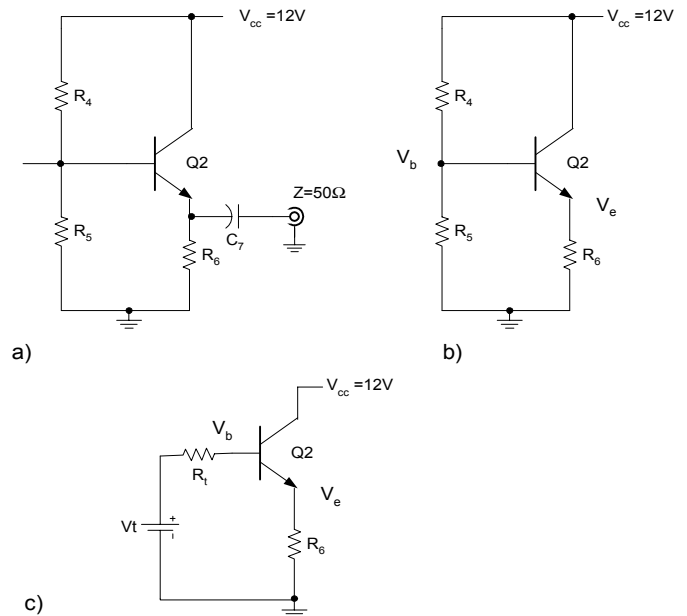


Fig. 1 a) Circuito equivalente AC para o estágio Seguidor de Emissor; b) Polarização c) Polarização - circuito equivalente Thevenin.

equivalente de Thevenin é mostrado na figura 1.c. Assim, adotando $R_t = 5K\Omega$

$$\begin{aligned} V_b &= V_e + 0,6 = R_6 I_C + 0,6 = 3,9V \\ V_t &= V_b + I_b R_t = 5,15V = V_{CC} \frac{R_5}{R_4 + R_5} \\ \Rightarrow R_t &= R_4 // R_5; \text{ e } R_4/R_5 = 0,752 \\ R_4 &= 12K\Omega; R_5 = 8,2K\Omega \end{aligned}$$

3. 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 1a $10\mu H$, objetivando obter oscilações na faixa de HF .

$R_1 = 3K9$	$R_6 = 330$	$C_1 = 470pF$	$C_6 = 10nF$
$R_2 = 3K9$	$R_7 = 100$	$C_2 = 10nF$	$C_7 = 10nF$
$R_3 = 22K$	$R_8 = 470$	$C_3 = 8,2nF$	$L = 10 \text{ a } 20\mu H$
$R_4 = 3K9$		$C_4 = 10nF$	$Q1 = BF495$
$R_5 = 8K2$		$C_5 = 100nF$	$Q2 = BF495$

Tabela 1 Valores para os componentes do Oscilador LC + Buffer

J_1 = permite abrir a malha de realimentação. Ca-

capacitores de desacoplamento: C_4 ; C_6 ; C_7 . Capacitor de passagem: C_7 . A principal função de R_8 é evitar eventuais oscilações espúrias em freqs 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 freqs, 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, cessando as oscilações espúrias de alta freq.

- Com o osciloscópio, avalie a forma de onda à saída do estágio oscilador e de saída (freq, amplitude, distorção na forma de onda senoidal). Calcule a potência entre a carga.
- Meça com um frequencímetro a freq de oscilação. Qual a influência da ponta de prova do osciloscópio sobre o valor de f_{osc} quando coloca na saída de cada estágio?
- 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.
- Determinação da estabilidade com V_{CC} . Varie a tensão de alimentação em $\pm 20\%$ em relação à nominal medindo a correspondente variação de freq. Calcule a estabilidade relativa, $\frac{\Delta f}{f} / V$ em $[\frac{Hz}{MHz} / V]$ ou $[ppm / V]$, parte por milhão por volts.
- Obtenção da **quantidade de realimentação necessária à manutenção das oscilações**.

- Reduza a tensão de alimentação até o limiar onde as oscilações cessem (observadas à saída de Q2), mantendo as oscilações neste limite. Lembre-se que o g_m (transcondutância do transistor) depende de V_{CC} . Nesta condição, meça a amplitude das oscilações no coletor de Q1 e a tensão C.C. no emissor de Q1.
- Abra o elo de realimentação, J_1 . Ligue um gerador de RF no emissor de Q1; ajuste o sinal para a f_{osc} e regule a amplitude de modo que o sinal amplificado no coletor de Q1 tenha a mesma amplitude medida no item anterior;
- Varie a freq do gerador de RF em torno de f_{osc} observando o sinal no coletor de Q1. Anote os valores de f_L e f_H para as quais a amplitude cai 3dB em relação à máxima (o qual deve ocorrer em f_{osc}). Este é um método para se obter o fator de mérito do circuito carregado, Q_{Load} .
- Determine a condutância de perdas do indutor a partir da expressão de $Q_{Load} = \frac{f_{osc}}{f_H - f_L}$
- Calcule a transcondutância proporcionada por Q1 ainda na condição limite para as oscilações. Meça o ganho da malha de realimentação em f_{osc} , verificando se uma das condições de oscilação é satisfeita (veja seção 1).

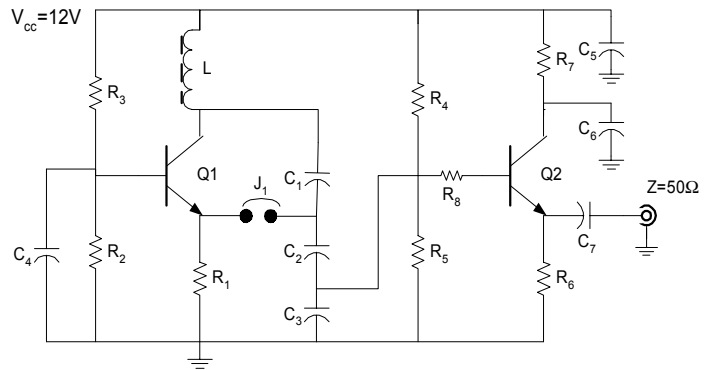


Fig. 2 Oscilador LC com transistor bipolar em configuração base-comum (Q1) e estágio buffer/adaptador de impedâncias, configuração seguidor de emissor (Q2).

4. ANÁLISE

- Refazer o projeto a partir dos valores de LC disponíveis no laboratório e comparar com os resultados experimentais. Considere $V_{CC} = 12V$ (nominal). Deve-se obter o valor de L e o respectivo Q (não carregado ou carregado).
 - Simular o circuito obtido utilizando simulador elétrico Spice ou similar.
 - Obter o Q^{Loaded} do circuito. Comparar com o resultado obtido experimentalmente (medido). Justifique possíveis discrepâncias
- Qual o tipo de realimentação utilizada para obter as oscilações?
- Obter as características da ponta de prova do osciloscópio para avaliar o efeito sobre a freq de oscilação de um circuito. Proponha um método de medida.
 - Utilizando ainda o Spice, simule o efeito da ponta de prova sobre a freq de oscilação, quando esta for colocada em:
 - saída do oscilador (Emissor de Q2)
 - Coletor de Q1
 - em J_1
 - Sobre C_1 ; Justifique teoricamente (através de cálculos) as possíveis mudanças na freq de oscilação.
- Um dado importante é saber a quantidade efetiva de realimentação em um oscilador. No oscilador LC é preciso calcular o valor do Q do circuito (Q carregado), bem como o ganho da malha de realimentação, B e a transcondutância g_m do transistor oscilador, Q_1 . Como g_m depende da alimentação, é possível obter a V_{CC} onde as oscilações cessam. Nesta situação limite, o ganho é aproximadamente igual às perdas. As perdas podem ser obtidas a partir da medida do fator de qualidade do circuito Q . O procedimento está indicado na parte experimental, item 6.
- Prepare tabelas, gráficos e equações que serão utilizadas na execução do experimento. Desenhe diagramas de instrumentos necessários às medidas.

5. APÊNDICE

1. Identificação dos terminais do transistor utilizado na montagem do oscilador, figura 3.

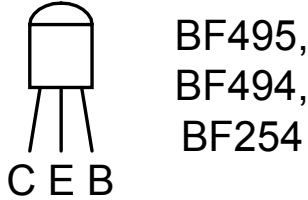


Fig. 3 Pinagem para alguns transistores bipolares do tipo BF

2. Resistência de entrada do transistor:

$$r_i = \frac{r_\pi}{\beta}, \text{ com } \beta = \text{ganho de corrente base-coletor}$$

$$r_\pi = \frac{kT}{q} \frac{\beta}{I_C} = \frac{0,026\beta}{I_C}$$

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

3. Transcondutância do transistor bipolar:

$$g_m \cdot r_\pi = \beta \text{ ou ainda: } g_m = \frac{qI_C}{kT} \approx 40I_C$$

g_m : diretamente proporcional a I_C ;

4. hipótese simplificadora

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

A tensão de realimentação será dada por

$$V = \frac{V_o C_1}{C_1 + C_2}$$

e a **resistência equivalente refletida** será

$$R_{eq} = \frac{r_i R_E}{r_i + R_E} \cdot n^2 = \frac{r_i R_E}{r_i + R_E} \cdot \left(\frac{C_1 + C_2}{C_1} \right)^2 \quad (1)$$

5. Ganho do laço direto é

$$A(j\omega) = \frac{V_o}{V} = g_m Z_L$$

onde

$$Y_L = Z_L^{-1} = \frac{1}{j\omega L} + \frac{1}{R_{eq}} + \frac{1}{R_L} + j\omega C \text{ com } C = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$$

Rede Realimentação:

$$B(j\omega) = \frac{V}{V_o} = \frac{C_1}{C_1 + C_2} \quad (2)$$

6. **Freq. de Ressonância** do circuito:

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L_1 \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}}}$$

Nesta freq

$$Z_L|_{\omega=\omega_0} = \frac{R_{eq} + R_L}{R_{eq} R_L}$$

portanto,

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

7. **Condições para ocorrer oscilação:**

$$|A(j\omega) B(j\omega)| = g_m \frac{R_{eq} + R_L}{R_{eq} R_L} \frac{C_1}{C_1 + C_2} = 1 \quad (3)$$

$$\angle A(j\omega) B(j\omega) = 0^\circ$$