

6

Capítulo

Oscilador Clapp

Meta deste capítulo

Entender o princípio de funcionamento de osciladores Clapp.

objetivos

- Entender o princípio de funcionamento de um oscilador Clapp;
- Analisar osciladores do tipo Clapp;
- Projetar os componentes de osciladores Clapp;
- Avaliar o funcionamento por simulação de osciladores Clapp;
- Implementar e ensaiar osciladores Clapp.

Pré-requisitos

Ter estudado o capítulo sobre osciladores Colpits.

Continuidade

A continuidade no estudo de osciladores e multivibradores se dará pelo estudo do oscilador Hartley.

Prof. Clóvis Antônio Petry.

Florianópolis, outubro de 2012.

1 Introdução

O oscilador Clapp é uma variação do oscilador Colppits estudado no capítulo anterior. Aquele oscilador continha na rede de realimentação indutor e capacitores, o que continuará acontecendo com o oscilador Clapp. Agora haverá a presença de um terceiro capacitor, em série com o indutor da rede de realimentação. Assim como o oscilador Colppits, o oscilador Clapp também é um oscilador ressonante.

Lembre que o critério de Barkhausen estabelece que para que o sistema da Figura 1 oscile deve-se satisfazer os seguintes requisitos:

$$\alpha \cdot \beta = -1;$$

$$\theta = \pm 360^\circ \cdot n.$$

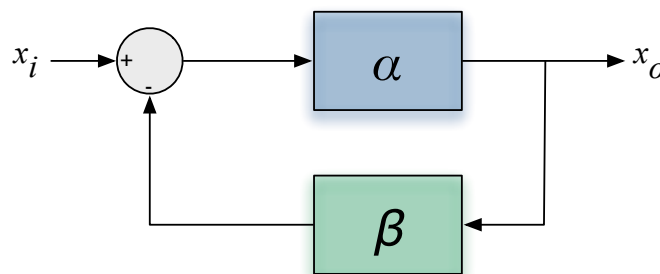


Figura 1 - Estrutura básica de um oscilador.

Na Figura 2 mostra-se a configuração básica de osciladores ressonantes, onde pode-se verificar que existem três impedâncias na rede de realimentação entre a saída e a entrada do amplificador operacional. Conforme a combinação destas impedâncias pode-se ter diferentes osciladores, conforme mostrado na tabela a seguir [1].

O terceiro capacitor (C_3) da Figura 3 normalmente tem valor pequeno quando comparado com os capacitores C_1 e C_2 . A finalidade de inserir este capacitor no circuito de realimentação é diminuir os efeitos das capacitâncias internas do elemento ativo (transistor ou amplificador operacional).

Tabela 1 - Combinações de impedâncias para diferentes osciladores.

Tipo de oscilador	Elemento reativo		
	$Z_1 \rightarrow X_1$	$Z_2 \rightarrow X_2$	$Z_3 \rightarrow X_3$
Oscilador Colppits	C	C	L
Oscilador Clapp	C	C	LC
Oscilador Hartley	L	L	C
Sintonizado na entrada e na saída	LC	LC	-

O objetivo deste capítulo é o estudo de osciladores Clapp¹ com rede de realimentação indutiva-capacitiva (LC), conforme mostrado na *Figura 2* e *Tabela 1*.

No capítulo seguinte será estudado o oscilador Hartley, que é semelhante aos osciladores Colpitts e Clapp, com diferenças na forma de implementar a rede de realimentação (X_1 , X_2 e X_3).

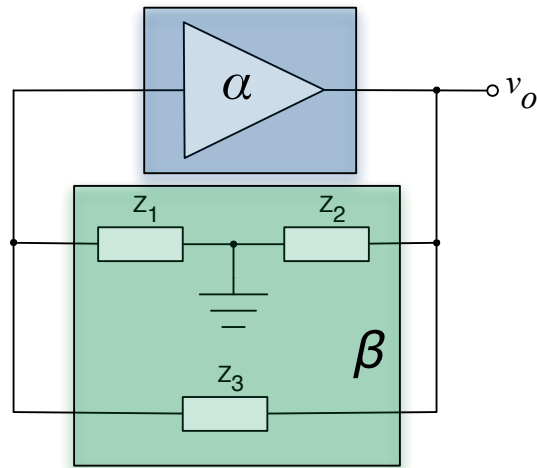


Figura 2 – Configuração básica de osciladores ressonantes.

2 Análise do Oscilador Clapp

Seja o circuito oscilador Clapp com rede de realimentação capacitiva-indutiva (LC), conforme mostrado na *Figura 3* [4].

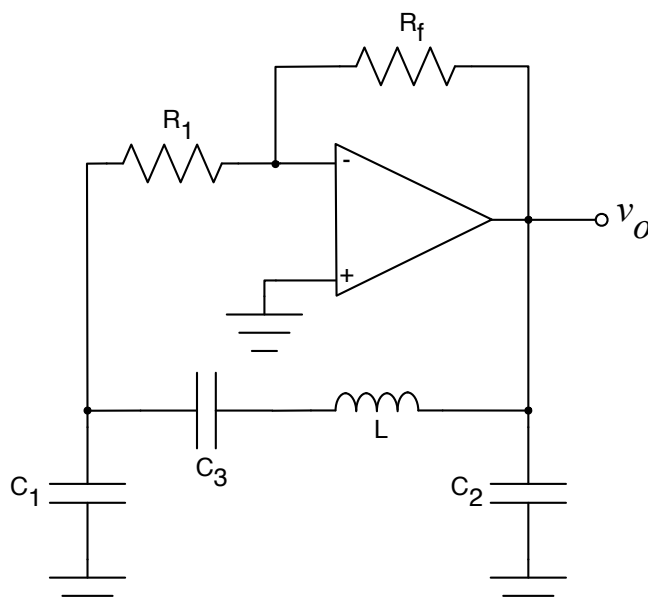


Figura 3 - Oscilador Clapp com amplificador operacional.

¹ James Kilton Clapp – Engenheiro Americano que viveu de 1897 até 1965, publicou este oscilador em 1948.

A realimentação do oscilador Clapp mostrado na Figura 3 é formada pelos resistores R_f e R_1 , pelos capacitores C_1 , C_2 e C_3 e pelo indutor L . A frequência de oscilação do circuito é a própria frequência de ressonância da malha, frequência esta onde o deslocamento de fase será de 180° .

Considerando que $R_1 \gg X_{C2}$ pode-se abrir a malha de realimentação, obtendo o circuito da Figura 4.

$$X_{C2} = \frac{1}{\omega \cdot C_2}.$$

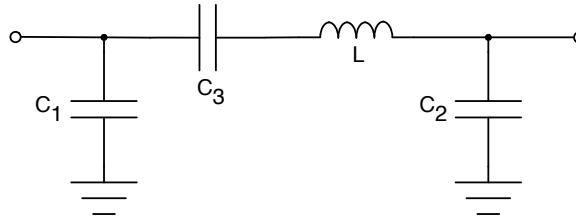


Figura 4 - Malha de realimentação aberta.

Neste caso, a impedância vista pela saída (sobre C_1) será a associação dada a seguir:

$$Z = Z_{C1} \parallel (Z_{C2} + Z_L + Z_{C3});$$

$$Z_{C1} = \frac{1}{j \cdot \omega \cdot C_1};$$

$$Z_{C2} = \frac{1}{j \cdot \omega \cdot C_2};$$

$$Z_{C3} = \frac{1}{j \cdot \omega \cdot C_3};$$

$$Z_L = j \cdot \omega \cdot L;$$

$$Z = \frac{\left(\frac{1}{j \cdot \omega \cdot C_1} \right) \cdot \left(\frac{1}{j \cdot \omega \cdot C_2} + j \cdot \omega \cdot L + \frac{1}{j \cdot \omega \cdot C_3} \right)}{\frac{1}{j \cdot \omega \cdot C_1} + \frac{1}{j \cdot \omega \cdot C_2} + j \cdot \omega \cdot L + \frac{1}{j \cdot \omega \cdot C_3}};$$

$$Z = \frac{C_3 - C_2 \cdot (-1 + C_3 \cdot L_1 \cdot \omega^2)}{j \cdot (C_2 \cdot C_3 + C_1 \cdot (C_2 + C_3 - C_2 \cdot C_3 \cdot L_1 \cdot \omega^2))}.$$

Na frequência de ressonância, o termo imaginário deve ser nulo, portanto:

$$C_2 \cdot C_3 + C_1 \cdot (C_2 + C_3 - C_2 \cdot C_3 \cdot L_1 \cdot \omega^2) = 0;$$

$$\omega \cdot L = \frac{1}{\omega \cdot C_1} + \frac{1}{\omega \cdot C_2} + \frac{1}{\omega \cdot C_3} \Rightarrow X_L = X_{C1} + X_{C2} + X_{C3};$$

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{L_1 \cdot C_T}};$$

$$\frac{1}{C_T} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3};$$

$$C_T = \frac{C_1 \cdot C_2 \cdot C_3}{C_1 \cdot C_2 + C_1 \cdot C_3 + C_2 \cdot C_3}.$$

É importante ressaltar que as expressões anteriores foram obtidas considerando que $R_1 \gg X_{C2}$, portanto são aproximações e a frequência de ressonância do circuito pode ser diferente da calculada.

O fator de realimentação (β) da rede passiva LC pode ser obtido considerando o circuito da Figura 4 e que $R_1 \gg X_{C2}$. Assim, considerando o divisor de tensão formado por L e C_2 , pode-se obter:

$$v_x = v_o \cdot \frac{Z_{C2}}{Z_{C2} + (Z_L + Z_{C3})};$$

$$v_x = v_o \cdot \frac{\frac{1}{j \cdot \omega \cdot C_2}}{\frac{1}{j \cdot \omega \cdot C_2} + j \cdot \omega \cdot L + \frac{1}{j \cdot \omega \cdot C_3}};$$

$$v_x = v_o \cdot \frac{\frac{1}{j \cdot \omega \cdot C_2}}{\frac{1}{j \cdot \omega \cdot C_2} + j \cdot \left(\frac{1}{\omega \cdot C_1} + \frac{1}{\omega \cdot C_2} + \frac{1}{\omega \cdot C_3} \right) + \frac{1}{j \cdot \omega \cdot C_3}} = -v_o \cdot \frac{C_1}{C_2};$$

$$\beta = \frac{v_x}{v_o} = -\frac{C_1}{C_2}.$$

Pode-se notar que β é um número real e tem ângulo de 180° . Para que o ganho da malha seja unitário, para atendimento do requisito de Barkhausen, deve-se ter:

$$|\alpha \cdot \beta| = 1;$$

$$|\alpha| = \frac{1}{|\beta|} = \left| \frac{1}{-\frac{C_1}{C_2}} \right|;$$

$$\alpha = \frac{C_2}{C_1}.$$

Portanto:

$$|\alpha| = \frac{R_f}{R_1};$$

$$\frac{R_f}{R_1} = \frac{C_2}{C_1}.$$

Exercícios Específicos

Exercício 01:

Projete um oscilador Clapp com amplificador operacional que tenha frequência de oscilação de 100 kHz.

Exercício 02:

Determine os componentes C_1 , C_2 e L e do oscilador mostrado na Figura 5 para que o mesmo tenha frequência de oscilação de 1 kHz. Note que este é o oscilador Colppits com um capacitor adicional, o C_3 , para que o mesmo funcione como oscilador Clapp.

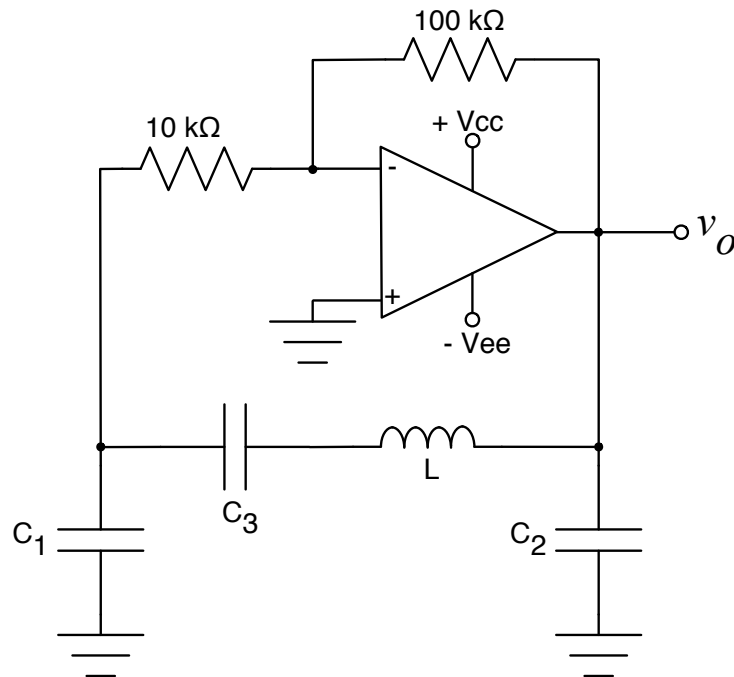


Figura 5 - Oscilador Colppits com amplificador operacional.

3 Oscilador Clapp com BJT

3.1 Análise em Corrente Contínua

Seja o circuito oscilador em Clapp mostrado na Figura 6. Inicialmente pode-se fazer a análise em corrente contínua deste circuito, usando para isso as seguintes considerações:

$$X_L|_{\omega=0} = \omega \cdot L = 0 \Omega;$$

$$X_C|_{\omega=0} = \frac{1}{\omega \cdot C} = \infty \Omega.$$

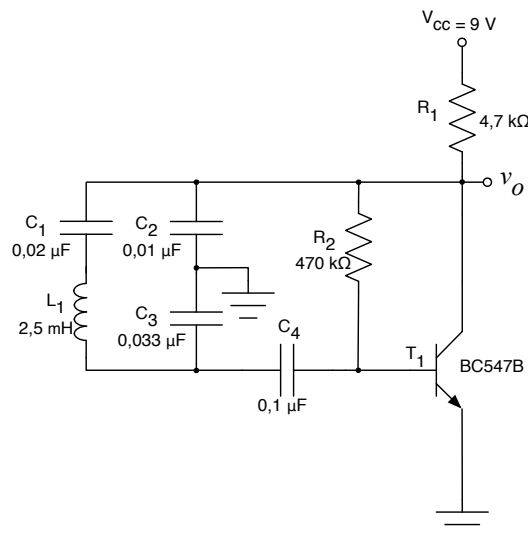


Figura 6 - Oscilador Clapp com transistor bipolar.

Para análise em corrente contínua, o circuito da Figura 6 pode ser desenhado como mostrado na Figura 7, de onde pode-se escrever, considerando por realimentação de tensão:

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_2 + \beta \cdot R_1} = \frac{9 - 0,7}{470k + 200 \cdot 4,7k} = 5,89 \mu A ;$$

$$I_C = \beta \cdot I_B = 200 \cdot 5,89 \mu = 1,18 mA ;$$

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C \cdot R_1 = 9 - 1,18m \cdot 4,7k = 3,47V .$$

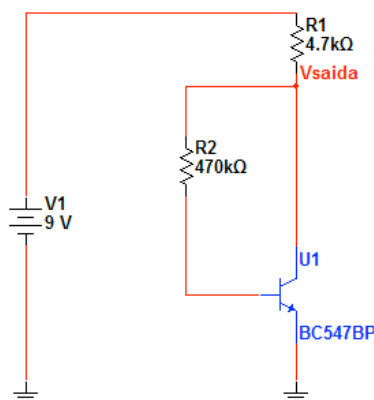


Figura 7 - Circuito de polarização do oscilador Clapp com transistor.

Conclui-se daí que o transistor estará operando na região ativa, como desejado para implementar o oscilador Clapp.

Para comprovar o funcionamento correto do circuito em corrente contínua, simulou-se o circuito da Figura 7 no software Multisim, obtendo-se os resultados de tensões e correntes mostrados na Figura 8. Os valores diferem um pouco daqueles calculados, isso se deve ao funcionamento do transistor com ganho diferente do estimado anteriormente ($\beta = 200$).

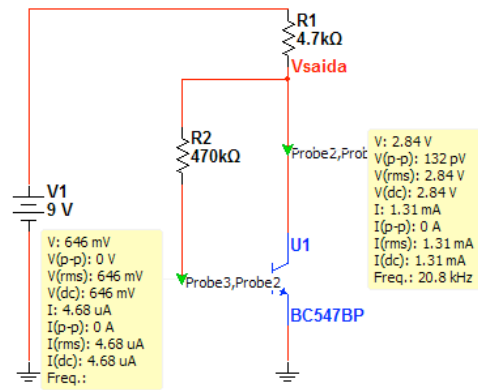


Figura 8 - Ponto de operação do oscilador Clapp com transistor bipolar.

3.2 Análise do Oscilador Clapp

A frequência de oscilação é dada pela expressão a seguir.

$$F_o = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{L \cdot C_T}};$$

$$C_T = \frac{C_1 \cdot C_2 \cdot C_3}{C_1 \cdot C_2 + C_1 \cdot C_3 + C_2 \cdot C_3} = \frac{0,002 \cdot 0,01 \cdot 0,033}{0,002 \cdot 0,01 + 0,002 \cdot 0,033 + 0,01 \cdot 0,033} = 1,59 nF;$$

$$F_o = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{2,5 \cdot 10^{-3} \cdot 1,59 \cdot 10^{-9}}} \approx 80 kHz$$

A partir do circuito da Figura 6 realizou-se uma simulação no software Multisim, conforme o circuito mostrado na Figura 9. Nota-se pela Figura 10 que ocorre uma distorção na tensão de saída do oscilador. Ajustando o ganho do circuito, alterando o resistor R₁, pode-se diminuir a distorção, conforme está mostrado na Figura 11. O valor de R₁ na simulação da Figura 11 foi de 22 kΩ.

A frequência de oscilação é determinada pela análise da Figura 10 onde nota-se que o tempo entre um pico da senóide gerada e outro é de 12,6 μs, o que equivale a uma frequência de oscilação de 79,3642 kHz.

É importante destacar que a frequência de oscilação do circuito simulado difere daquela calculada anteriormente, isso ocorre porque a expressão para determinar a frequência de oscilação é aproximada e não exata, ou seja, a frequência em que o circuito irá efetivamente oscilar deverá ser ajustada em laboratório, para que se tenha o valor desejado. Isso ocorre pela aproximação de que R₁ >> X_{C2} para o circuito da Figura 3.

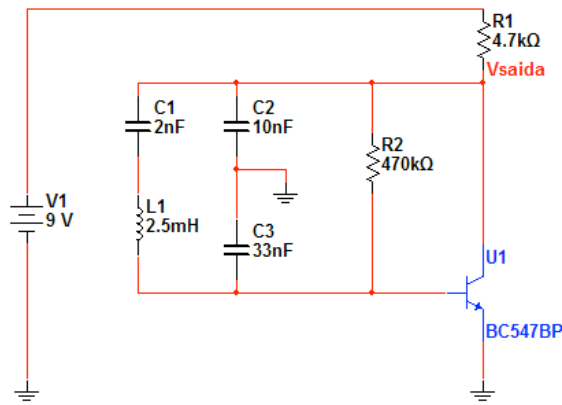


Figura 9 - Circuito do oscilador em Clapp simulado no Multisim.

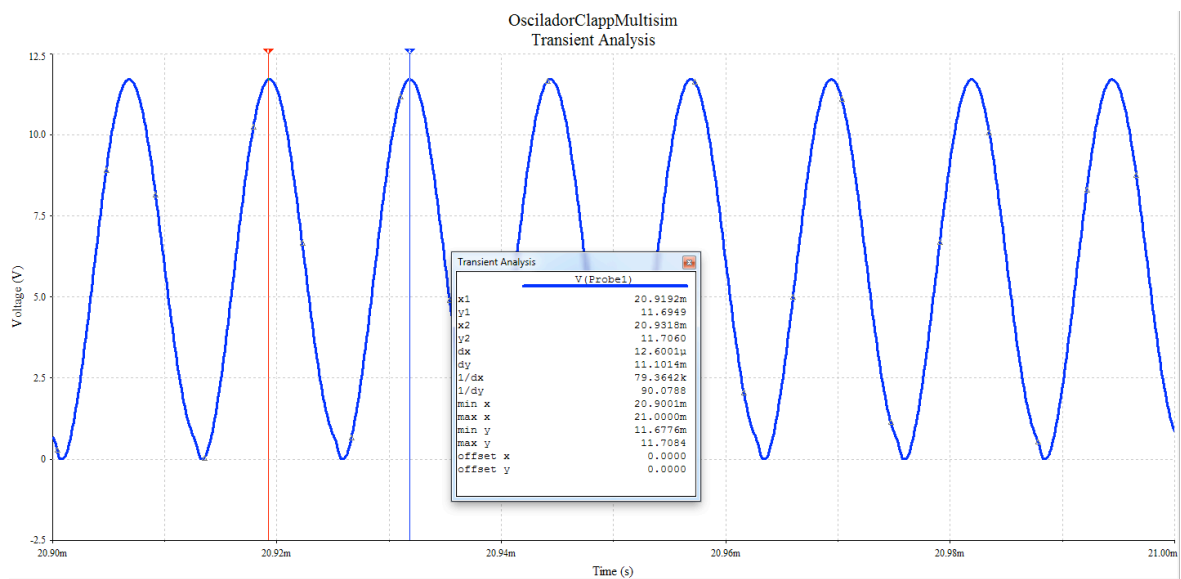


Figura 10 - Sinal gerado pelo oscilador sem ajustes.

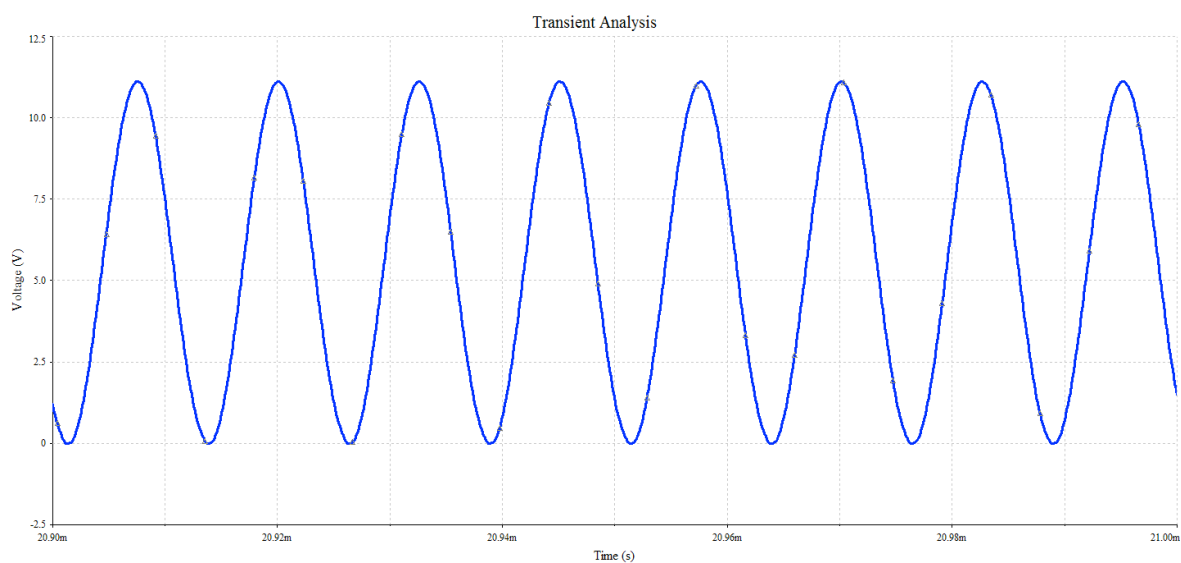


Figura 11 - Sinal de saída do oscilador após ajustar R_1 para 22 kΩ.

Exercícios Específicos

Exercício 03:

Determine os componentes da rede de realimentação do circuito da Figura 12 para uma frequência de oscilação de 100 kHz. Projete os componentes de polarização do circuito.

Exercício 05:

Determine a frequência de oscilação do circuito da Figura 13. Analise também o ponto de operação em corrente contínua do circuito.

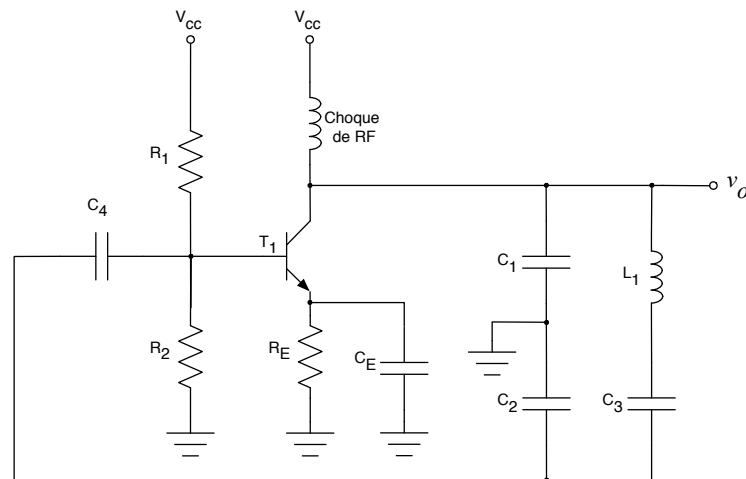


Figura 12 - Oscilador para exercício 03.

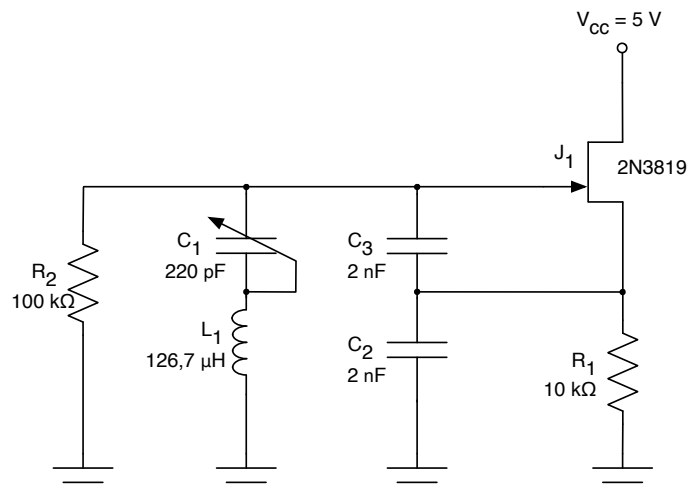


Figura 13 - Circuito para exercício 04.

Exercício 06:

Determine a frequência de oscilação do circuito da Figura 14.

Exercício 07:

Determine a frequência de oscilação do circuito da Figura 15.

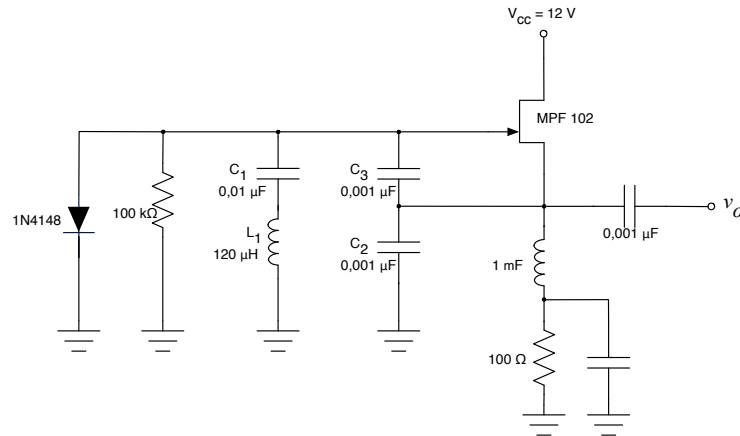


Figura 14 - Oscilador Clapp para exercício 06.

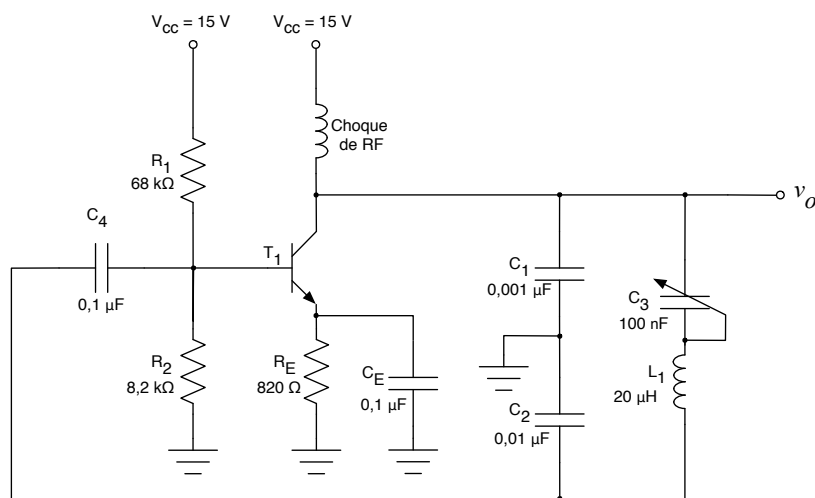


Figura 15 - Circuito para exercício 07.

Exercícios Gerais

Exercício 08:

Faça as alterações necessárias no circuito da Figura 6, considerando o uso de um transistor BC 548 e alimentação de 5 V, para que o mesmo continue funcionamento na região ativa como oscilador Clapp.

Exercício 09:

Insira ao circuito da Figura 6 um estágio de amplificação com base no transistor de potência TIP 31. Considere para tal uma alimentação em 12 V e que o transistor da parte osciladora seja o BC 548.

Exercício 10:

Projete o circuito da Figura 16 para que o mesmo opere com tensão de alimentação de 24

V e oscile com frequência de 1 kHz.

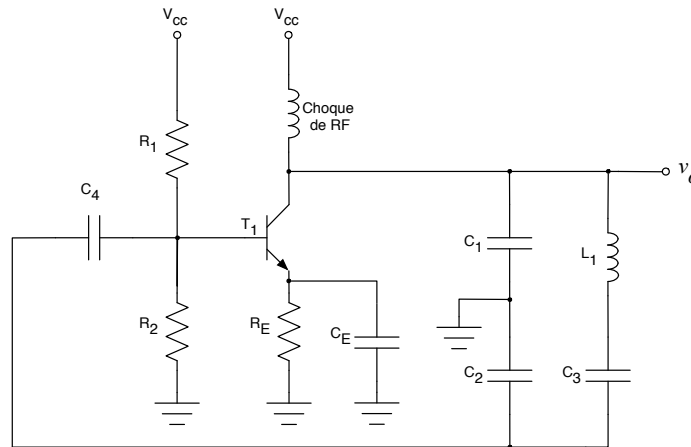


Figura 16 - Circuito do oscilador do exercício 10.

4 Referências

- [1] BOYLESTAD, R. L. e NASHELSKY, L. Dispositivos Eletrônicos e Teoria de Circuitos. 8ª ed. Rio de Janeiro: Prentice Hall do Brasil, 1984.
- [2] A. P. MALVINO. Eletrônica. Volumes 1 e 2. Editora McGraw Hill do Brasil, São Paulo, 1987.
- [3] LALOND, David E.; Ross, John A. Princípios de Dispositivos e Circuitos Eletrônicos – volumes 1 e 2. Makron Books. São Paulo, 1999.
- [4] BOGART JR, Theodore F. Dispositivos e Circuitos Eletrônicos – volumes 1 e 2. Makron Books. 3ª ed, São Paulo, 2001.
- [5] PERTENCE JUNIOR, A. Eletrônica Analógica: Amplificadores Operacionais e Filtros Ativos: teoria, projetos, aplicações e laboratório. Porto Alegre: Bookman, 2003.
- [6] SEDRA, A. S. Microeletrônica. Volume 2. São Paulo: Makron Books, 1995.
- [7] MIYARA, F. Osciladores Senoidales. Segunda edición, 2004. Disponível eletronicamente: <http://www.fceia.unr.edu.ar/enica3>. Acessado em 12/03/2012.
- [8] SOBRINHO, J. P. F.; Carvalho, J. A. D. Osciladores. Editora Érica. São Paulo, 1992.
- [9] FERREIRA, G. S. e SCHLICHTING, L. C. M. Osciladores e Multivibradores. Notas de aula. Departamento Acadêmico de Eletrônica, Campus Florianópolis, Instituto Federal de Santa Catarina, 2011.