

7

Capítulo

Oscilador Hartley

Meta deste capítulo

Entender o princípio de funcionamento de osciladores Hartley.

objetivos

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

Pré-requisitos

Ter estudado o capítulo sobre osciladores Clapp.

Continuidade

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

Prof. Clóvis Antônio Petry.

Florianópolis, outubro de 2012.

1 Introdução

O oscilador Hartley é muito semelhante ao oscilador Colppits estudado nos capítulos anteriores, onde a rede de realimentação é implementada usando-se dois indutores e um capacitor. Aquele oscilador continha na rede de realimentação indutores e capacitores, o que continuará acontecendo com o oscilador Hartley; mas agora serão usados indutores conectados ao terra e um capacitor como caminho para o sinal realimentado. Assim como os osciladores Colppits e Clapp, o oscilador Hartley 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:

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

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

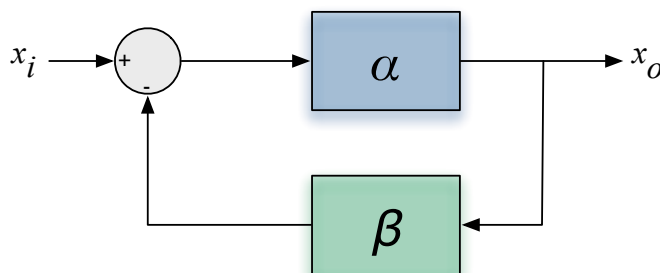


Figura 1 - Estrutura básica de um oscilador.

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 circuito do oscilador Hartley com amplificador operacional é mostrado na Figura 3 onde nota-se a presença dos dois indutores (L_1 e L_2) e do capacitor (C) na rede de realimentação.

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 Hartley¹ com rede de realimentação indutiva-capacitiva (LC), conforme mostrado na *Figura 2* e *Tabela 1*.

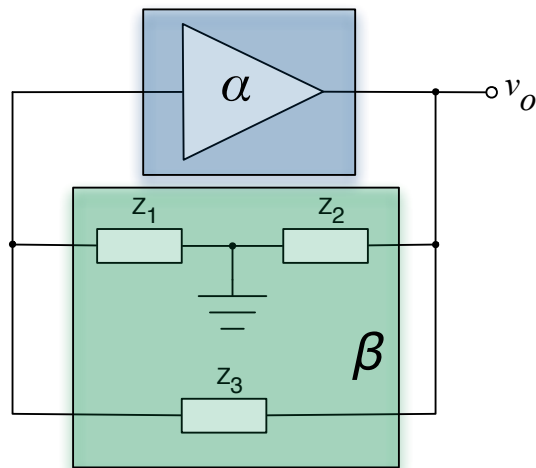


Figura 2 – Configuração básica de osciladores ressonantes.

2 Análise do Oscilador Hartley

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

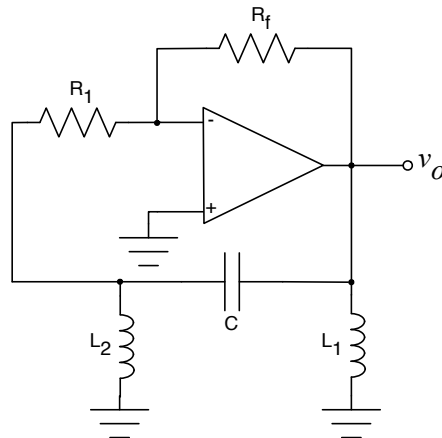


Figura 3 - Oscilador Hartley com amplificador operacional.

A realimentação do oscilador Hartley mostrado na *Figura 3* é formada pelos resistores R_f e R_1 , pelos indutores L_1 e L_2 e pelo capacitor C . 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 $R_1 \gg X_{L2}$ pode-se abrir a malha de realimentação, obtendo o circuito da *Figura 4*.

¹ Ralph Vinton Lyon Hartley - Engenheiro Americano que viveu de 1888 até 1970, inventou o oscilador com seu nome em 1915.

$$X_{L2} = \omega \cdot L_2 .$$

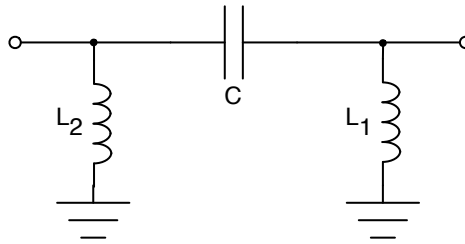


Figura 4 - Malha de realimentação aberta.

Neste caso, a impedância vista pela saída (sobre L_1) será a associação dada a seguir:

$$Z = Z_{L1} \parallel (Z_C + Z_{L2}) ;$$

$$Z_C = \frac{1}{j \cdot \omega \cdot C} ;$$

$$Z_{L1} = j \cdot \omega \cdot L_1 ;$$

$$Z_{L2} = \omega \cdot L_2 ;$$

$$Z = \frac{(j \cdot \omega \cdot L_1) \cdot \left(j \cdot \omega \cdot L_2 + \frac{1}{j \cdot \omega \cdot C} \right)}{j \cdot \omega \cdot L_1 + j \cdot \omega \cdot L_2 + \frac{1}{j \cdot \omega \cdot C}} ;$$

$$Z = \frac{L_1 \cdot \omega \cdot (C_1 \cdot L_2 \cdot \omega^2 - 1)}{j \cdot (1 - C_1 \cdot (L_1 + L_2) \cdot \omega^2)} .$$

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

$$1 - C_1 \cdot (L_1 + L_2) \cdot \omega^2 = 0 ;$$

$$\omega \cdot L_1 + \omega \cdot L_2 = \frac{1}{\omega \cdot C} \rightarrow X_{L1} + X_{L2} = X_C ;$$

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{L_T \cdot C}} ;$$

$$L_T = L_1 + L_2 .$$

É importante ressaltar que as expressões anteriores foram obtidas considerando que $R_1 \gg X_{L2}$, 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 $R_1 \gg X_{L2}$. Assim, considerando o divisor de tensão formado por L_1 e C , pode-se obter:

$$v_x = v_o \cdot \frac{Z_{L2}}{Z_C + Z_{L2}} ;$$

$$v_x = v_o \cdot \frac{j \cdot \omega \cdot L_2}{\frac{1}{j \cdot \omega \cdot C} + j \cdot \omega \cdot L_2};$$

$$v_x = v_o \cdot \frac{j \cdot \omega \cdot L_2}{\frac{\omega \cdot (L_1 + L_2)}{j} + j \cdot \omega \cdot L_2} = -v_o \cdot \frac{L_2}{L_1};$$

$$\beta = \frac{v_x}{v_o} = -\frac{L_2}{L_1}.$$

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:

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

$$|\alpha| = \frac{1}{|\beta|} = \left| \frac{1}{-\frac{L_2}{L_1}} \right|;$$

$$\alpha = \frac{L_1}{L_2}.$$

Portanto:

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

$$\frac{R_f}{R_1} = \frac{L_1}{L_2}.$$

Exercícios Específicos

Exercício 01:

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

Exercício 02:

Altere o oscilador Colpitts mostrado na Figura 5 para que o mesmo tenha frequência de oscilação de 1 kHz e funcione como oscilador Hartley.

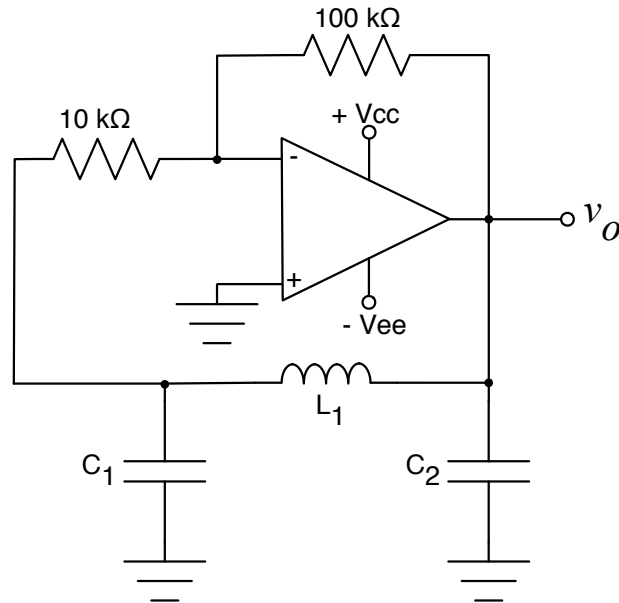


Figura 5 - Oscilador Colppits com amplificador operacional.

3 Oscilador Hartley com BJT

3.1 Análise em Corrente Contínua

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

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

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

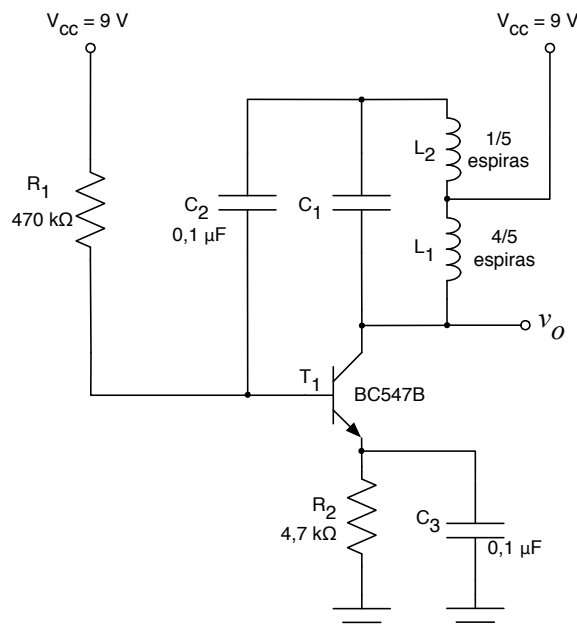


Figura 6 - Oscilador Hartley com transistor bipolar.

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:

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

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

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

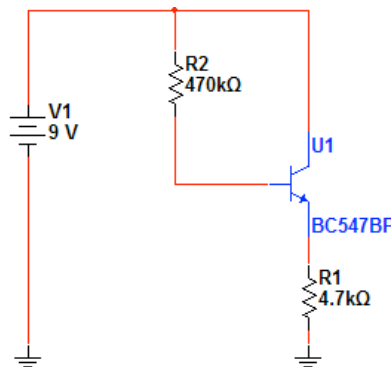


Figura 7 - Circuito de polarização do oscilador Hartley com transistor.

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

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 ($\beta = 200$).

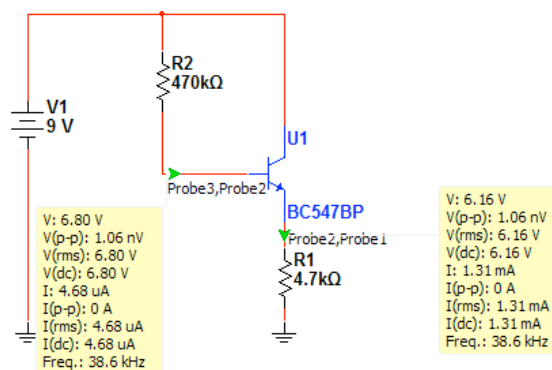


Figura 8 - Ponto de operação do oscilador Hartley com transistor bipolar.

3.2 Análise do Oscilador Hartley

A frequência de oscilação é dada pela expressão a seguir.

$$F_o = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{L_T \cdot C_1}} ;$$

$$L_T = L_1 + L_2 = 220\mu + 50\mu = 270\mu H ;$$

$$F_o = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{220 \cdot 10^{-6} \cdot 10 \cdot 10^{-9}}} \approx 96,86\text{ kHz}$$

A partir do circuito da Figura 6 realizou-se uma simulação no software Multisim, conforme o circuito mostrado na Figura 9. 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 10,3423 μ s, o que equivale a uma frequência de oscilação de 96,6901 kHz.

É importante destacar que a frequência de oscilação do circuito simulado difere um pouco 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 $R_1 \gg X_{L2}$ para o circuito da Figura 3.

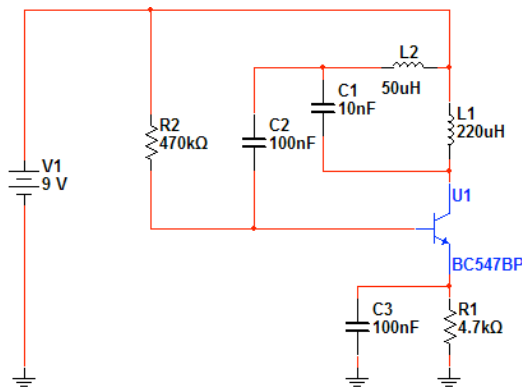


Figura 9 - Circuito do oscilador em Hartley simulado no Multisim.

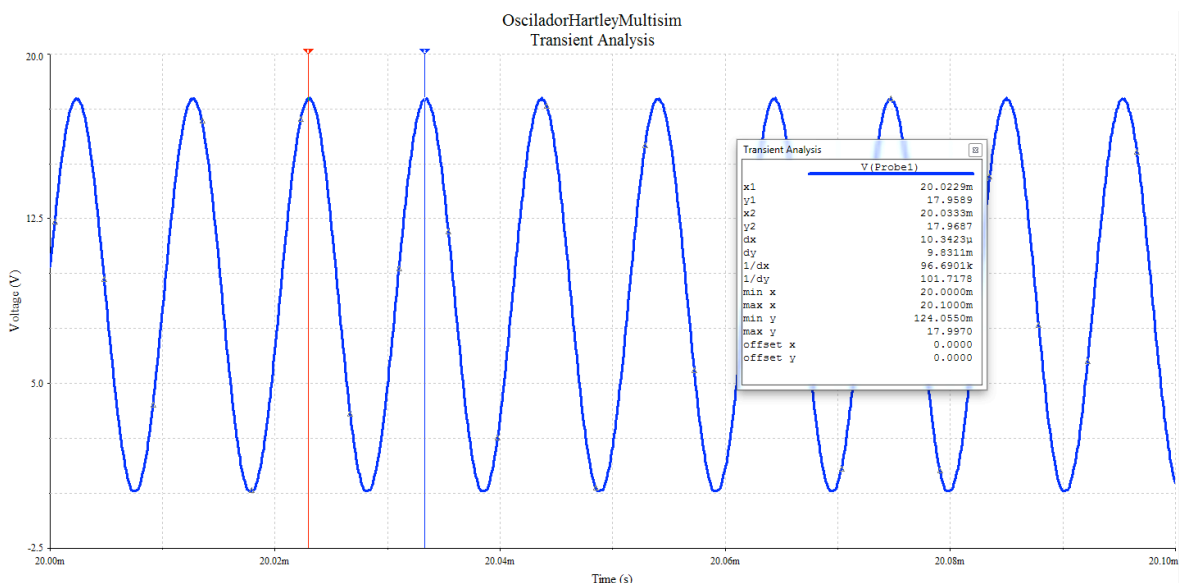


Figura 10 - Sinal gerado pelo oscilador Hartley.

Exercícios Específicos

Exercício 03:

Determine os componentes da rede de realimentação do circuito da Figura 11 para uma frequência de oscilação de 100 kHz. Projete os componentes de polarização do circuito.

Exercício 05:

Projete o circuito da Figura 12 para uma frequência de oscilação de 50 kHz.

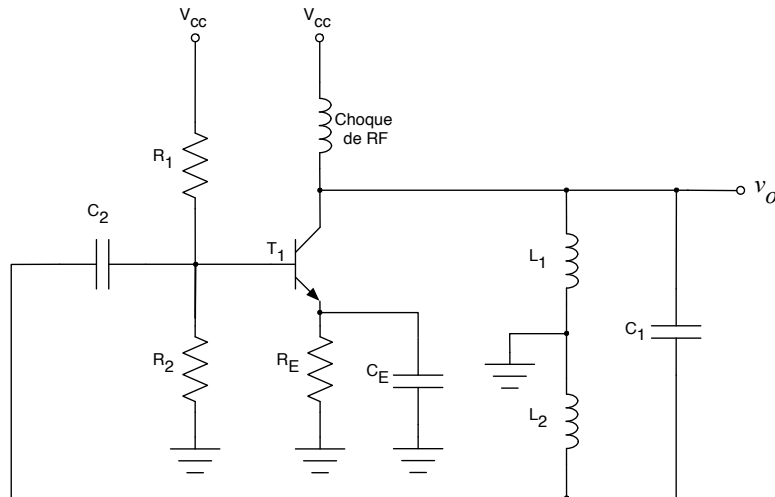


Figura 11 - Oscilador para exercício 03.

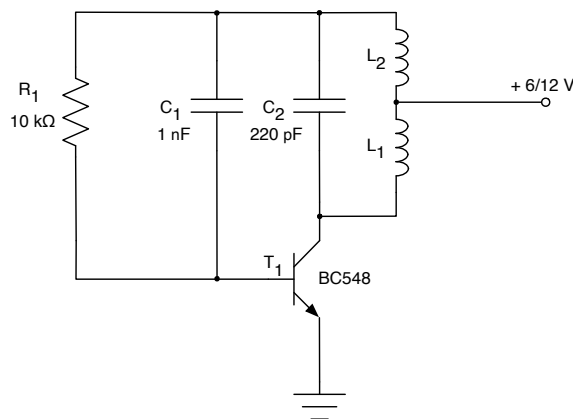


Figura 12 - Circuito para exercício 04.

Exercício 06:

Determine a faixa de variação da frequência da tensão de saída do circuito da Figura 13 considerando para o indutor uma relação de indutâncias de 10 μH e 40 μH e que a faixa de variação da capacitância de CV é de 6 a 50 pF.

Exercício 07:

Considerando um capacitor ajustável (*trimmer*) que varia a capacitância de 6 a 50 pF, determine L_1 e L_2 no circuito da Figura 14 para uma frequência de oscilação de 1 MHz.

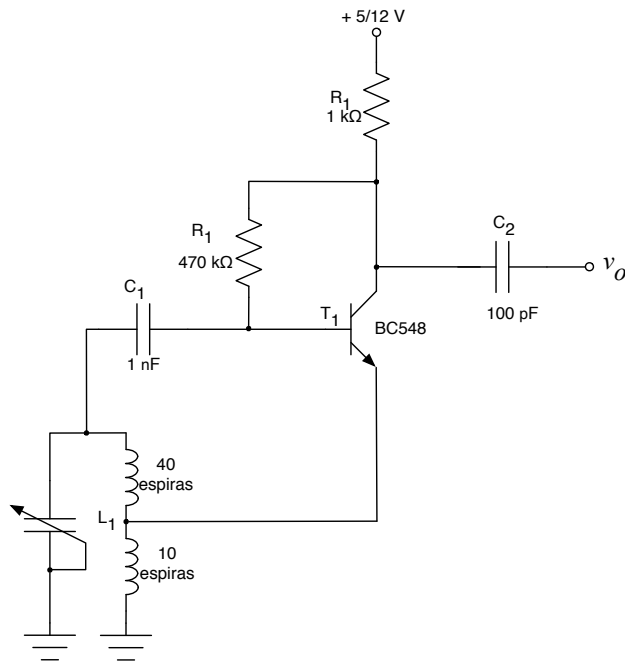


Figura 13 - Oscilador Hartley para exercício 06.

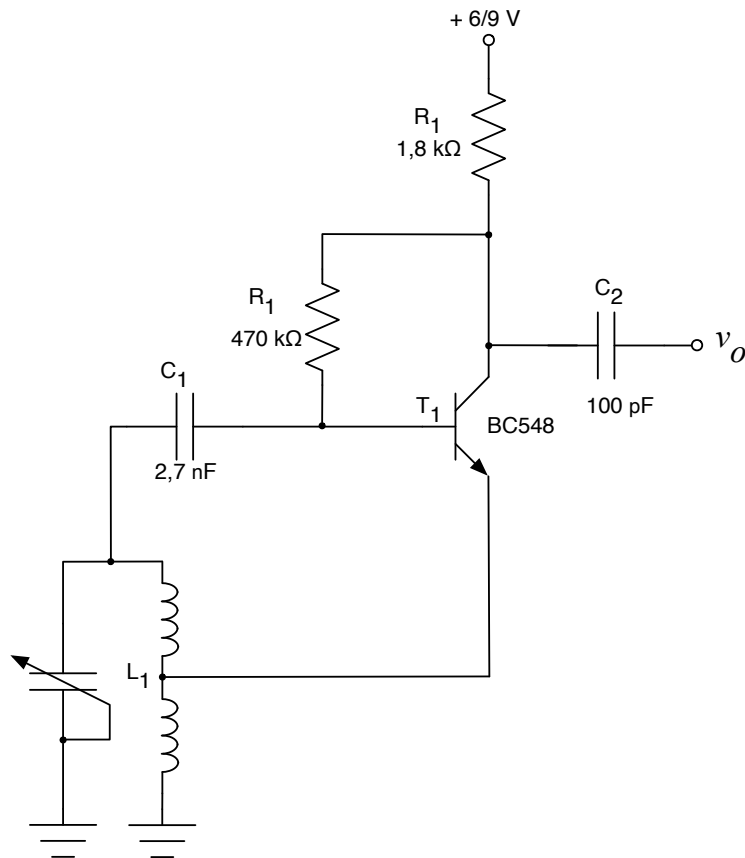


Figura 14 - Circuito para exercício 07.

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 Hartley.

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 15 para que o mesmo opere com tensão de alimentação de 24 V e oscile com frequência de 1 kHz.

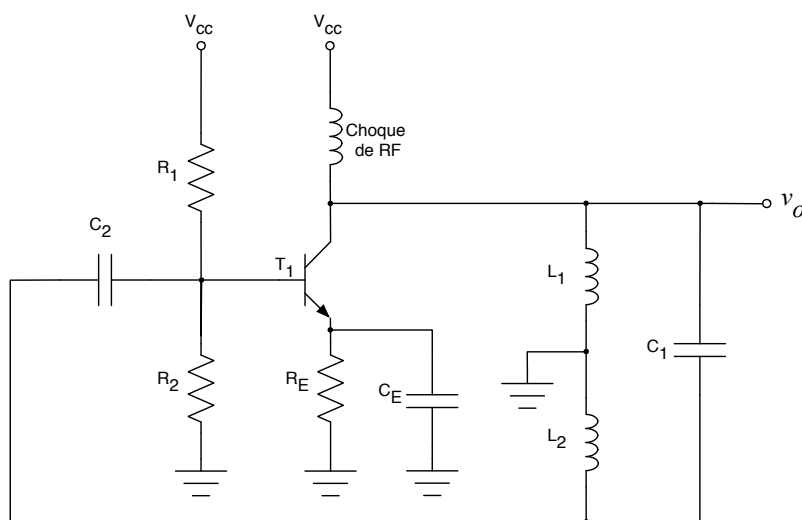


Figura 15 - Circuito do oscilador do exercício 10.

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.