

# 5

## Capítulo

### Oscilador Colppits

#### Meta deste capítulo

Entender o princípio de funcionamento de osciladores Colppits.

#### objetivos

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

#### Pré-requisitos

Ter estudado o capítulo sobre osciladores em duplo-t.

#### Continuidade

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

Prof. Clóvis Antônio Petry.

Florianópolis, outubro de 2012.

## 1 Introdução

Os osciladores estudados até agora utilizavam como elementos ativos transistores e/ou amplificadores operacionais e elementos passivos (resistores e capacitores – RC) na rede de realimentação. Foram estudados três osciladores do tipo RC: oscilador por deslocamento de fase, ponte de Wien e em duplo-t.

Osciladores também podem ser implementados utilizando circuitos sintonizados empregando capacitores e indutores, ou seja, pares LC. Estes osciladores possuem uma frequência de ressonância, na qual o conjunto capacitor-indutor apresentará comportamento complementar do ponto de vista da impedância do sistema, fazendo com que o circuito oscile justamente nesta frequência específica.

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

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

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

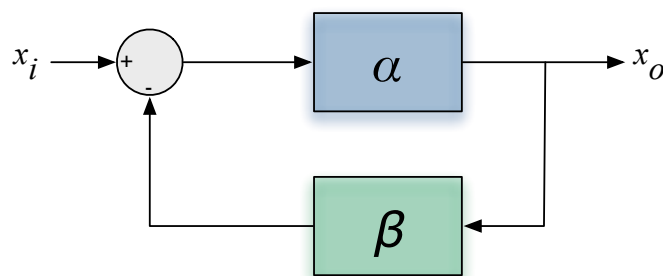


Figura 1 - Estrutura básica de um oscilador.

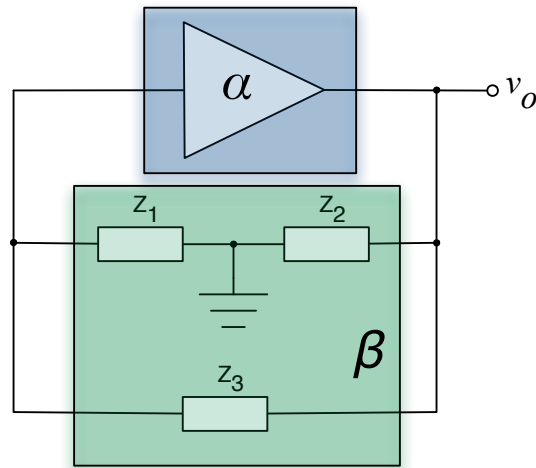
Na Figura 2 mostra-se a configuração básica de osciladores ressonantes, onde pode-se verificar que existem três impedâncias na rede de realimentação entre a saída e a entrada do amplificador operacional. Conforme a combinação destas impedâncias pode-se ter diferentes osciladores, conforme mostrado na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

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 Colpitts	C	C	L
Oscilador Hartley	L	L	C
Sintonizado na entrada e na saída	LC	LC	-

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

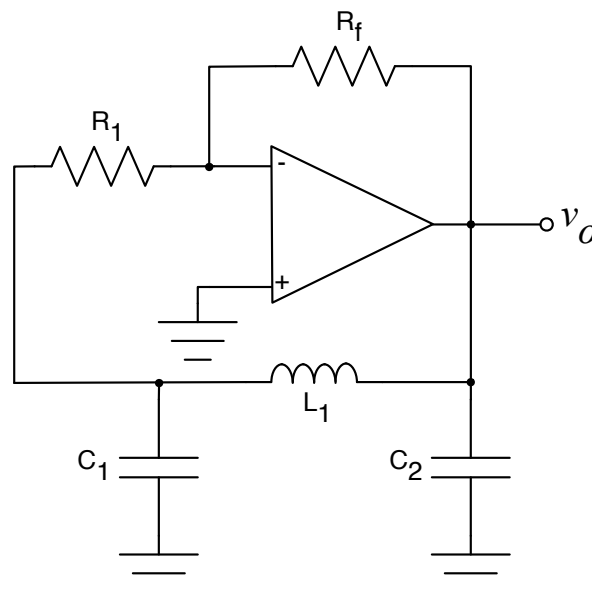
Nos capítulos seguintes serão estudados os osciladores Clapp e Hartley, que são semelhantes ao oscilador Colpitts, com diferenças na forma de implementar a rede de realimentação ( $X_1$ ,  $X_2$  e  $X_3$ ).



*Figura 2 – Configuração básica de osciladores ressonantes.*

## 2 Análise do Oscilador Colpitts

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



*Figura 3 - Oscilador Colpitts com amplificador operacional.*

<sup>1</sup> Edwin Henry Colpitts – Engenheiro Canadense que viveu de 1872 até 1949, inventou o Oscilador Colpitts e contribuiu de maneira valiosa para a área de comunicações.

A realimentação do oscilador Colpits mostrado na Figura 3 é formada pelos resistores  $R_f$  e  $R_1$ , pelos capacitores  $C_1$  e  $C_2$  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  $180^\circ$ .

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

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

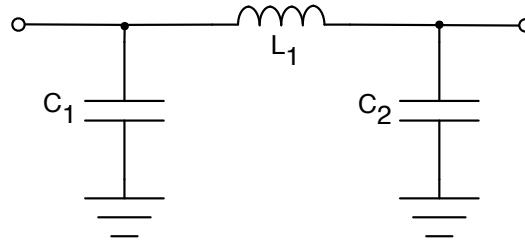


Figura 4 - Malha de realimentação aberta.

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

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

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

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

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

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

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

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

$$C_1 \cdot C_2 \cdot L_1 \cdot \omega^2 = C_1 + C_2;$$

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

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{L_1 \cdot \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2}}};$$

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

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

É importante ressaltar que as expressões anteriores foram obtidas considerando que  $R_1 \gg X_{C_2}$ , portanto são aproximações e a frequência de ressonância do circuito pode ser diferente da calculada.

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

$$v_x = v_o \cdot \frac{Z_{C_2}}{Z_{C_2} + Z_L};$$

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

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

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

Pode-se notar que  $\beta$  é um número real e tem ângulo de  $180^\circ$ .

Para que o ganho da malha seja unitário, para atendimento do requisito de Barkhausen, deve-se ter:

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

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

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

Portanto:

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

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

## Exercícios Específicos

### Exercício 01:

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

### Exercício 02:

Determine os componentes  $C_1$ ,  $C_2$  e  $L$  do oscilador mostrado na Figura 5 para que o mesmo tenha frequência de oscilação de 1 kHz.

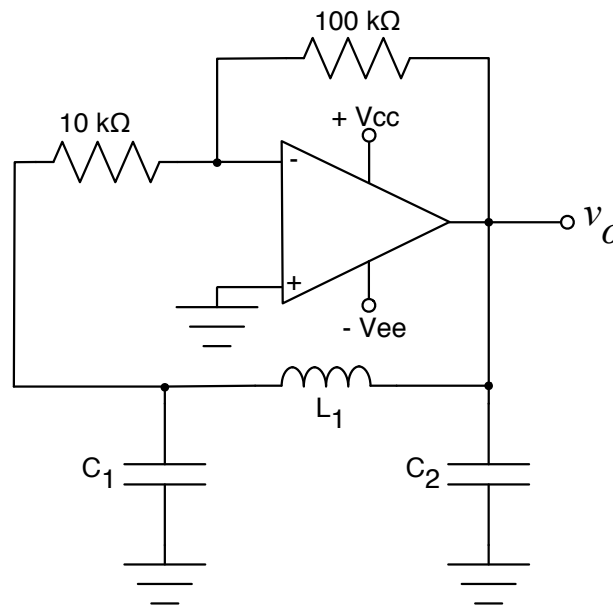


Figura 5 - Oscilador Colpitts com amplificador operacional.

### Exercício 03:

Determine a frequência de oscilação do circuito mostrado na Figura 6.

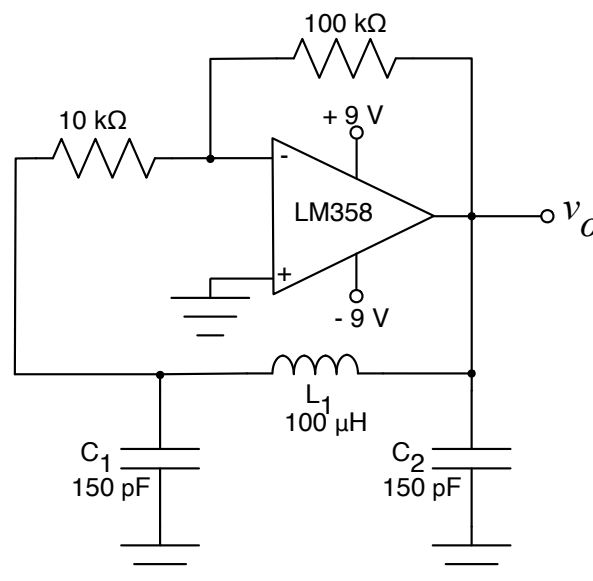


Figura 6 - Oscilador para exercício 03.

### 3 Oscilador Colppits com BJT

#### 3.1 Análise em Corrente Contínua

Seja o circuito oscilador em Colppits mostrado na Figura 7. Inicialmente pode-se fazer a análise em corrente contínua deste circuito, usando para isso as seguintes considerações:

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

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

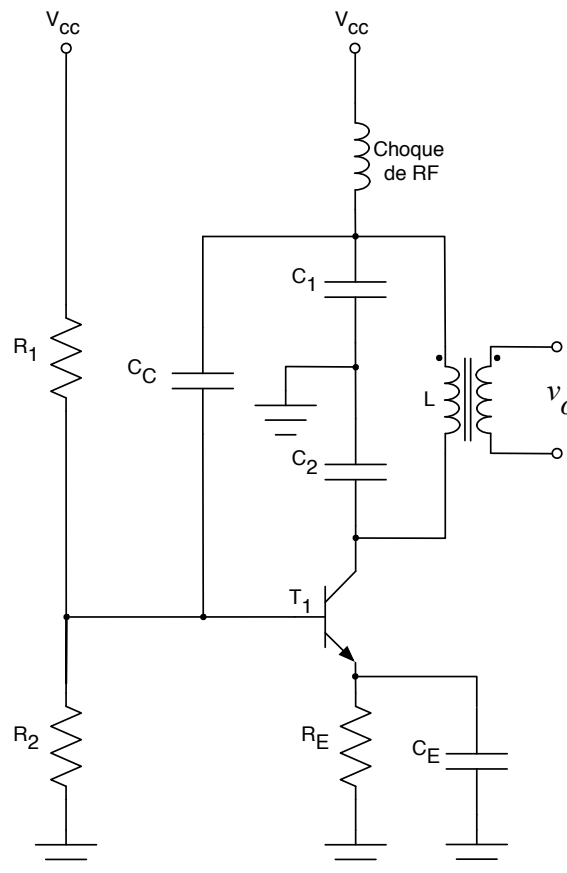


Figura 7 - Oscilador Colppits com transistor bipolar.

É importante destacar a presença de indutores de filtro (RFC e  $R_f$ ) na Figura 7 que possuem indutância grande comparada com o indutor da rede de realimentação (L). Deste modo, estes indutores não interferem na frequência de oscilação, atuando apenas para filtragem de ruídos presentes na alimentação do circuito. Esta indutância interfere na análise em corrente alternada do circuito, pois se comporta como um circuito aberto para altas frequências.

Observe também que o sinal de saída é obtido a partir de um transformador de radiofrequência. Normalmente o sinal de saída é retirado diretamente do coletor, sem a presença de um transformador, mas sim do indutor de ressonância (L). Verifique os circuitos da Figura 14 e da

Figura 15.

Para a análise do funcionamento em corrente contínua e como oscilador, considerar-se-á o circuito da Figura 8. Este circuito pode ser desenhado como mostrado na Figura 9, de onde pode-se escrever, considerando por realimentação de tensão:

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

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

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

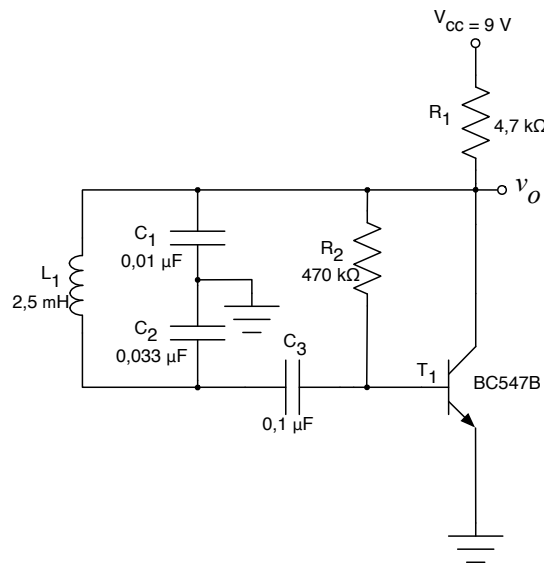


Figura 8 - Oscilador Colppits com transistor bipolar de junção.

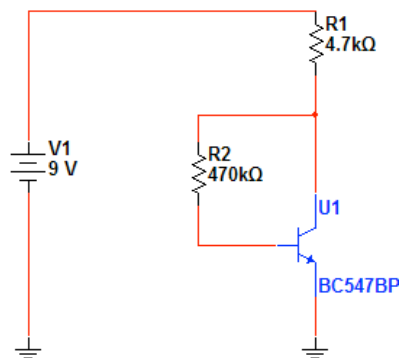


Figura 9 - Circuito de polarização do oscilador Colppits com transistor.

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

Para comprovar o funcionamento correto do circuito em corrente contínua, simulou-se o circuito da Figura 9 no software Multisim, obtendo-se os resultados de tensões e correntes mostrados na Figura 10. Os valores diferem um pouco daqueles calculados, isso se deve ao funcionamento do transistor com ganho diferente do estimado anteriormente ( $\beta = 200$ ).

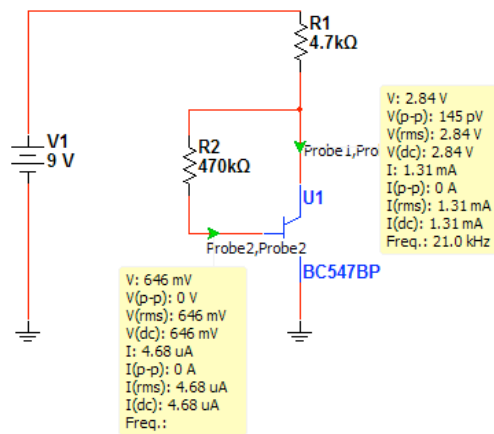


Figura 10 - Ponto de operação do oscilador Colpitts com transistor bipolar.

### 3.2 Análise do Oscilador Colpitts

A frequência de oscilação é dada pela expressão a seguir.

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

$$C_T = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2} = \frac{0,01 \cdot 0,033}{0,01 + 0,033} = 0,0077 \mu F;$$

$$F_o = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{2,5 \cdot 10^{-3} \cdot 0,0077 \cdot 10^{-6}}} \approx 36,3 \text{ kHz}$$

A partir do circuito da Figura 8 realizou-se uma simulação no software Multisim, conforme o circuito mostrado na Figura 11. Nota-se pela Figura 12 que ocorre uma distorção na tensão de saída do oscilador. Ajustando o ganho do circuito, alterando o resistor  $R_1$ , pode-se diminuir a distorção, conforme está mostrado na Figura 13. O valor de  $R_1$  na simulação da Figura 13 foi de 22 k $\Omega$ .

A frequência de oscilação é determinada pela análise da Figura 12 onde nota-se que o tempo entre um pico da senóide gerada e outro é de 27,3853  $\mu$ s, o que equivale a uma frequência de oscilação de 36,516 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  $R_1 \gg X_{C2}$  para o circuito da Figura 3.

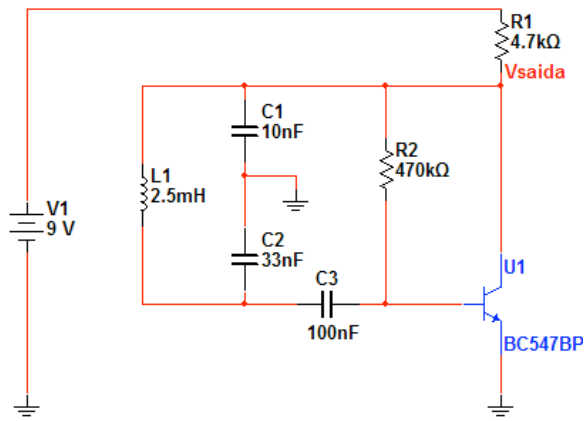


Figura 11 - Circuito do oscilador em Colpitts simulado no Multisim.

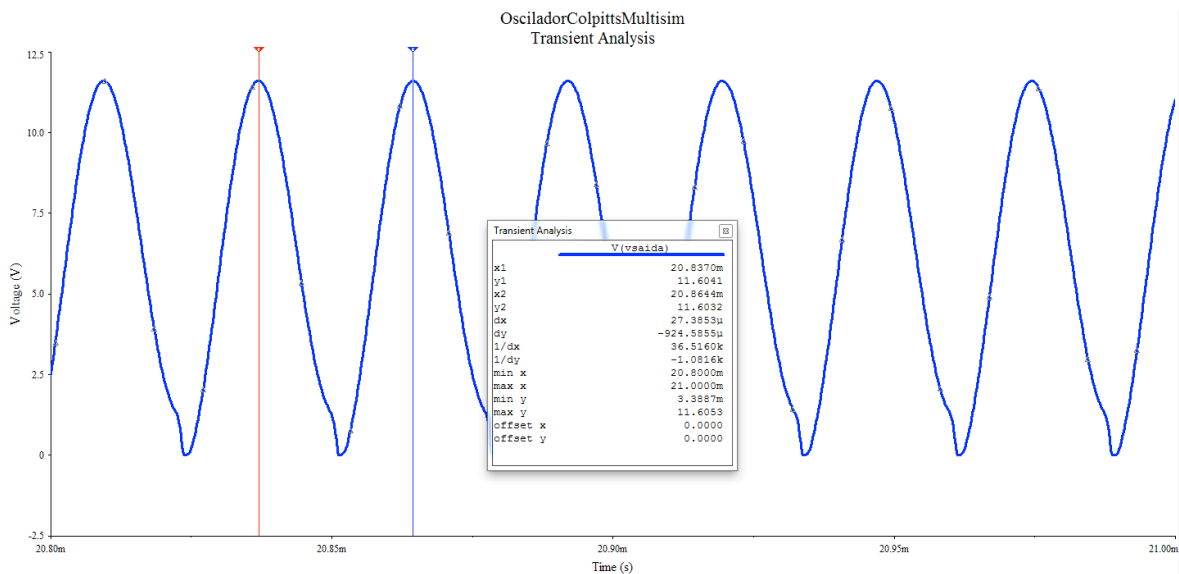


Figura 12 - Sinal gerado pelo oscilador sem ajustes.

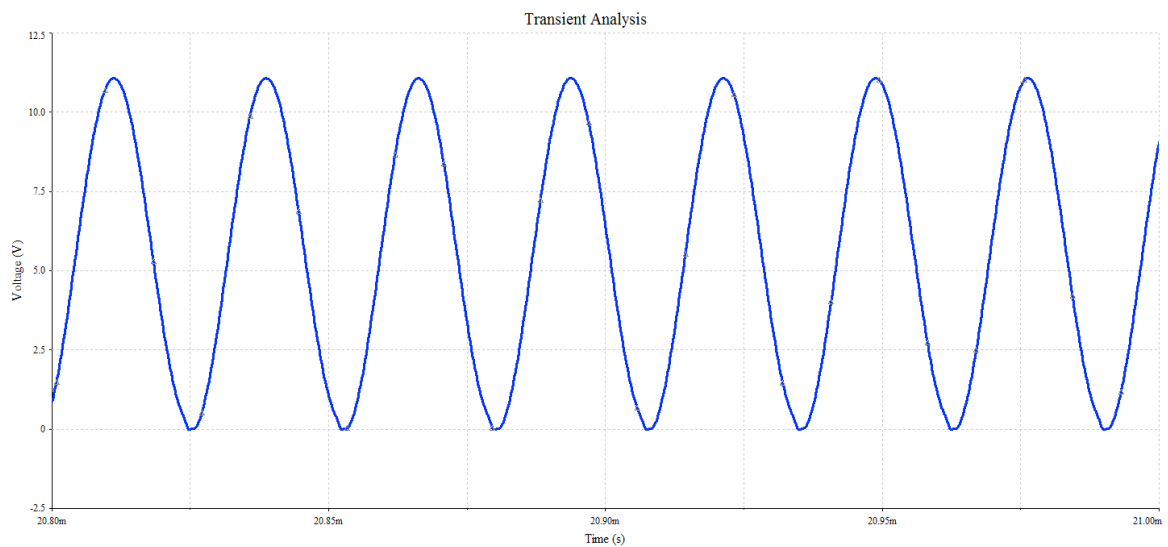


Figura 13 - Sinal de saída do oscilador após ajustar  $R_1$  para 22 kΩ.

## Exercícios Específicos

### Exercício 04:

Determine a frequência de oscilação do circuito da Figura 14. Projete os componentes de polarização do circuito.

### Exercício 05:

Determine a frequência de oscilação do circuito da Figura 15. Analise também o ponto de operação em corrente contínua do circuito.

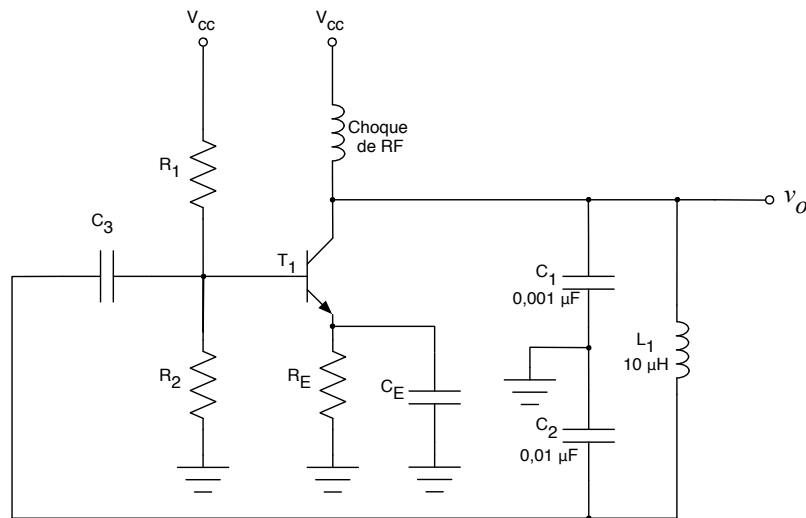


Figura 14 - Oscilador para exercício 04.

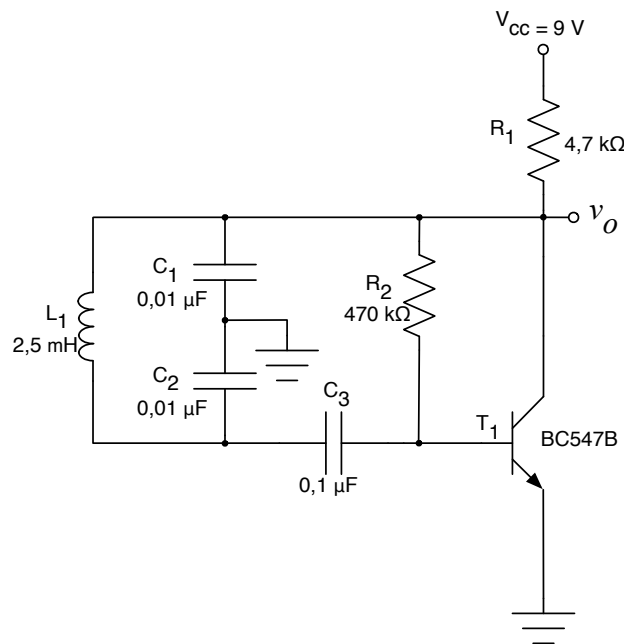


Figura 15 - Circuito para exercício 05.

## Exercícios Gerais

### Exercício 06:

Em que situações é utilizado o oscilador transistorizado, quando comparado com oscilador empregando amplificador operacional?

### Exercício 07:

Faça as alterações necessárias no circuito da Figura 15, considerando o uso de um transistor BC 548 e alimentação de 5 V, para que o mesmo continue funcionamento na região ativa como oscilador Colpitts.

### Exercício 08:

Insira ao circuito da Figura 15 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 09:

Determine a frequência de oscilação do circuito mostrado na Figura 16.

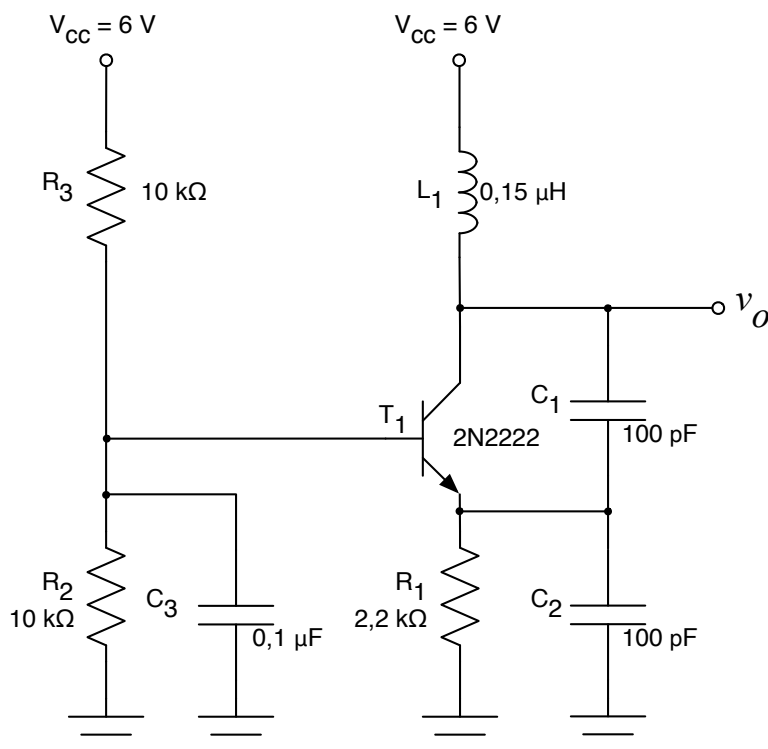


Figura 16 - Circuito do oscilador do exercício 09.

---

## 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.