

# 4

## Capítulo

### Oscilador em Duplo-T

#### Meta deste capítulo

Entender o princípio de funcionamento de osciladores em duplo-t.

#### objetivos

- Entender o princípio de funcionamento de um oscilador em duplo-t;
- Analisar osciladores em duplo-t;
- Projetar os componentes de osciladores em duplo-t;
- Avaliar o funcionamento por simulação de osciladores em duplo-t;
- Implementar e ensaiar osciladores em duplo-t.

#### Pré-requisitos

Ter estudado o capítulo sobre osciladores com ponte de Wien.

#### Continuidade

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

Prof. Clóvis Antônio Petry.

Florianópolis, outubro de 2012.

## 1 Introdução

Um oscilador simples, utilizando transistores bipolares ou amplificadores operacionais, é o que emprega uma associação de resistores e capacitores (RC) em sua rede de realimentação, com a finalidade de inserir a defasagem necessária para atender ao critério de Barkhausen. Estes osciladores empregando componentes passivos (resistores e capacitores) podem ser os osciladores de deslocamento de fase ou com ponte de Wien, estudados no capítulo anterior, ou outro oscilador não muito conhecido, o oscilador em duplo-t. O oscilador em duplo-t é um oscilador que emprega uma rede de avanço-atraso de fase na sua rede de realimentação.

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

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

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

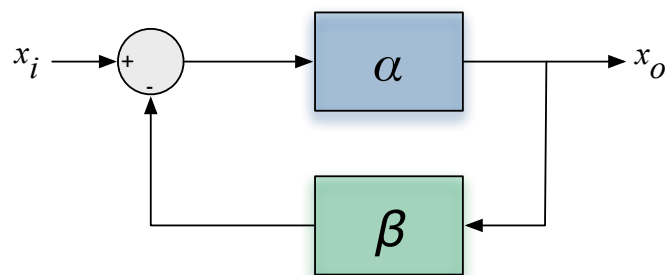


Figura 1 - Estrutura básica de um oscilador.

Note que a ponte formada pelos elementos resistivos e capacitivos é denominada de ponte de Wien, empregando realimentação positiva e negativa. Assim, o ganho e a fase do circuito dependem dos elementos desta rede (ponte) de realimentação.

O objetivo deste capítulo é o estudo de osciladores em duplo-t, em específico empregando resistores e capacitores (RC), com rede de realimentação semelhante ao mostrado na Figura 2.

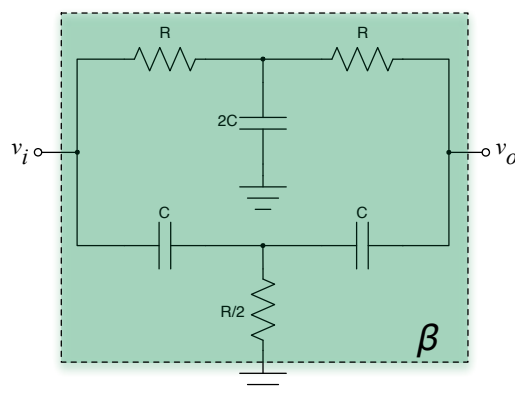


Figura 2 – Rede de realimentação do oscilador em duplo-t.

## 2 Análise do Oscilador em Duplo-T

Seja o circuito oscilador em duplo-t com rede de realimentação resistiva-capacitiva (RC), conforme mostrado na Figura 3 [2 e 3].

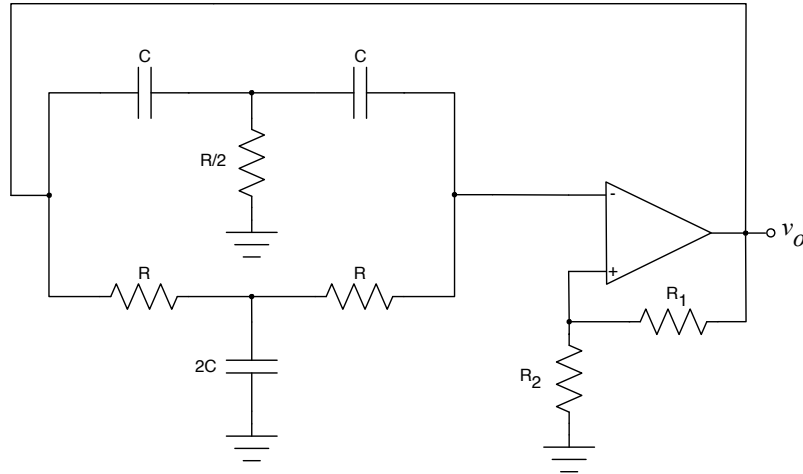


Figura 3 - Oscilador em duplo-t com amplificador operacional.

O filtro em duplo-t que aparece na Figura 3 é um filtro rejeita-faixa ou de entalhe. As baixas frequências atingem a saída do filtro mostrado na Figura 2 passando pela malha formada pelos resistores (R) e capacitor (2C) da parte inferior. Este é um caminho de baixa impedância para baixas frequências.

Ao analisar a Figura 2, lembre que:

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

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

Por outro lado, as altas frequências atingem a saída pelo caminho superior, onde se tem os capacitores em série e o resistor em paralelo.

Assim, em síntese, o filtro duplo-t conduz baixas e altas frequências, as primeiras por um caminho resistivo, desviando para a terra as altas frequências que aparecem neste caminho; já as altas frequências são conduzidas por um caminho capacitivo, desviando para a terra por um resistor as baixas frequências.

Em uma região bem específica, próxima da frequência crítica do filtro, ocorre uma oposição substancial para o fluxo de corrente entre os terminais de entrada e de saída, conforme está mostrado na Figura 4. Esta frequência crítica é determinada por:

$$F_o = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot C}.$$

Note que é importante manter-se a relação entre os elementos do filtro, ou seja, o

capacitor conectado em paralelo no ramo inferior deve ter capacitância com o dobro do valor dos capacitores conectados em série no ramo superior. Por sua vez, para o resistor conectado em paralelo no ramo superior, este deve ter resistência com a metade do valor da resistência dos resistores série do ramo inferior.

A resposta em frequência do filtro duplo-t é mostrada na Figura 5, onde nota-se que em frequências baixas ocorre uma defasagem de  $-90^\circ$ , enquanto em altas frequências a defasagem será de  $90^\circ$ . Na frequência de ressonância ( $F_0$ ) a defasagem será nula, confirmando o atendimento do critério de Barkhausen para que o circuito funcione como oscilador.

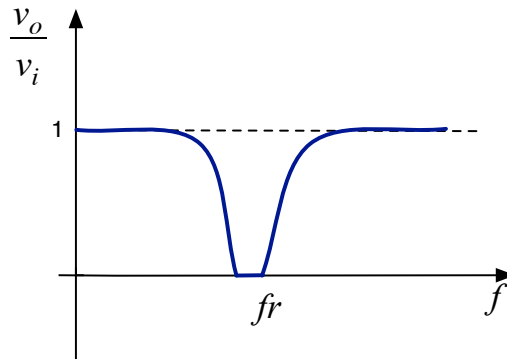


Figura 4 – Ganho de tensão do filtro duplo-t.

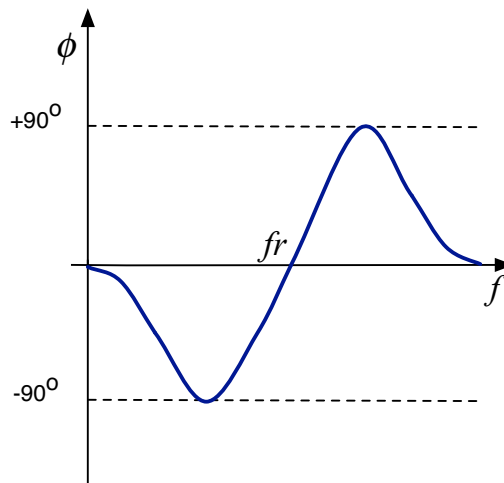


Figura 5 - Deslocamento de fase do filtro duplo-t.

O circuito do oscilador em duplo-t da Figura 3 utiliza uma rede de realimentação positiva com resistores ( $R_1$  e  $R_2$ ) e o filtro duplo-t na realimentação negativa. Em frequências muito altas ou muito baixas, a realimentação negativa atenua o ganho para as mesmas, enquanto que para a frequência de ressonância (crítica) não ocorre atenuação por parte da realimentação negativa, ficando esta amplificada pela realimentação positiva.

Normalmente um dos resistores do filtro duplo-t é ajustável, visando o ajuste para a frequência exata de oscilação desejada.

Em comparação com o oscilador com ponte de Wien, o oscilador em duplo-t tem a desvantagem de funcionar bem em apenas uma determinada frequência, não permitindo o ajuste para uma faixa ampla de frequências de oscilação.

### 3 Oscilador em Duplo-T com BJT

#### 3.1 Análise em Corrente Contínua

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

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

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

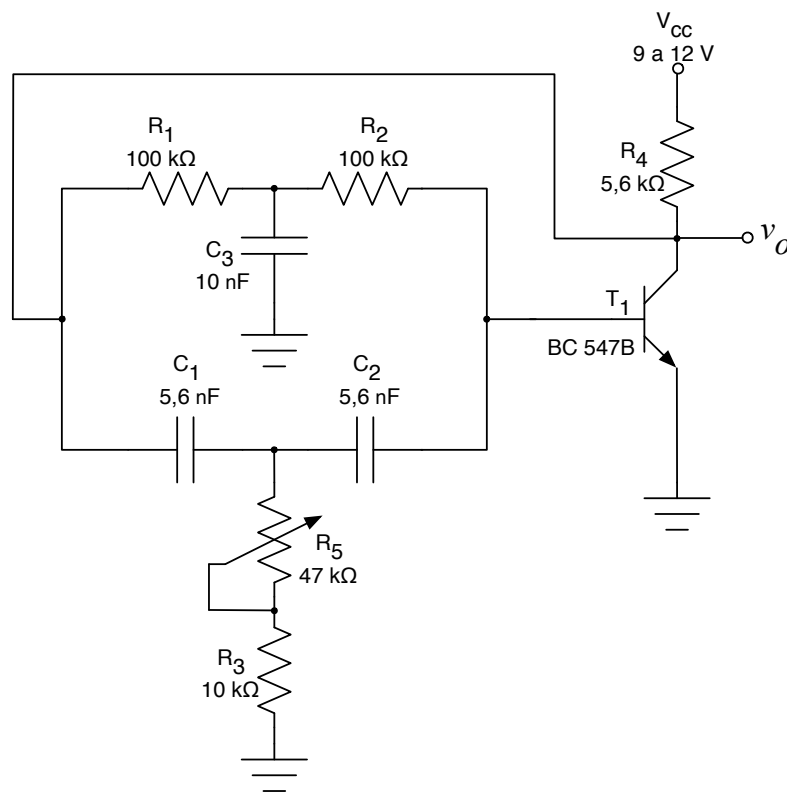


Figura 6 - Oscilador em duplo-t com transistor bipolar.

Assim, o circuito da Figura 6 pode ser desenhado como mostrado na Figura 7, de onde pode-se escrever, considerando por realimentação de tensão:

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{(R_1 + R_2) + \beta \cdot R_3} = \frac{9 - 0,7}{(100k + 100k) + 200 \cdot 5,6k} = 6,29 \mu A ;$$

$$I_C = \beta \cdot I_B = 200 \cdot 6,29 \mu = 1,26 mA$$

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C \cdot R_3 = 9 - 1,26m \cdot 5,6k = 1,944 V .$$

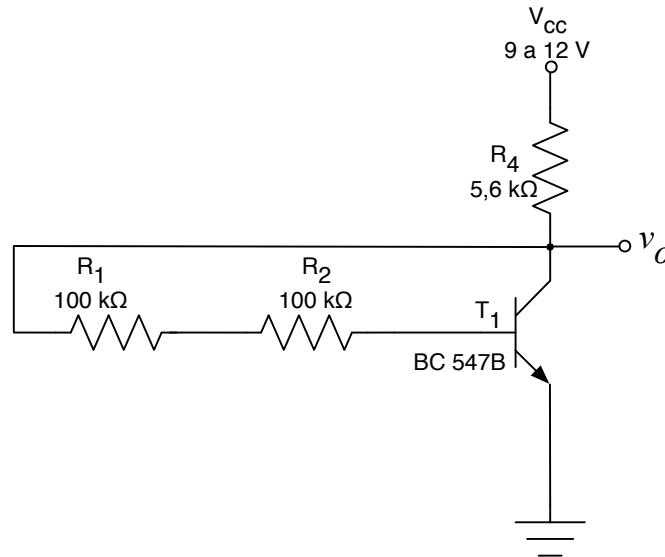


Figura 7 - Circuito de polarização do oscilador em duplo-t com transistor.

Conclui-se daí que o transistor estará operando na região ativa, como desejado para implementar o oscilador com ponte de Wien.

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 ( $\beta = 200$ ).

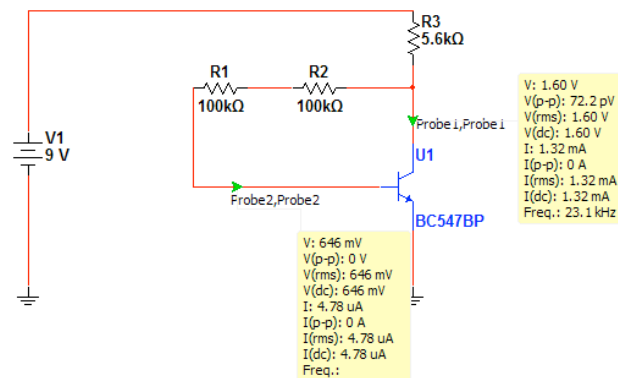


Figura 8 - Ponto de operação do oscilador em duplo-t com transistor bipolar.

### 3.2 Análise do Oscilador em Duplo-T

A frequência de oscilação é dada pela expressão a seguir.

$$F_o = \frac{1}{2\pi \cdot R \cdot C} = \frac{1}{2\pi \cdot 100 \cdot 10^3 \cdot 5,6 \cdot 10^{-9}} = 284,35 \text{ Hz}.$$

A partir do circuito da Figura 6 realizou-se uma simulação no software Multisim, conforme o circuito mostrado na Figura 9. Se o ajuste do filtro duplo-t não for correto, o que pode ser feito no potenciômetro (resistor  $R_4$ ), o critério de Barkhausen não será respeitado e pode-se ter a

saturação ou não oscilação. Na Figura 11 mostra-se a saída do oscilador, onde nota-se que a tensão de saída está distorcida. Para eliminar esta distorção deve-se ajustar o resistor  $R_4$ , eliminando a distorção presente no sinal, conforme se pode observar na Figura 11.

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 2,83 ms, o que equivale a uma frequência de oscilação de 353,64 Hz.

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 também caracteriza uma desvantagem deste oscilador em relação aos osciladores de deslocamento de fase ou com ponte de Wien.

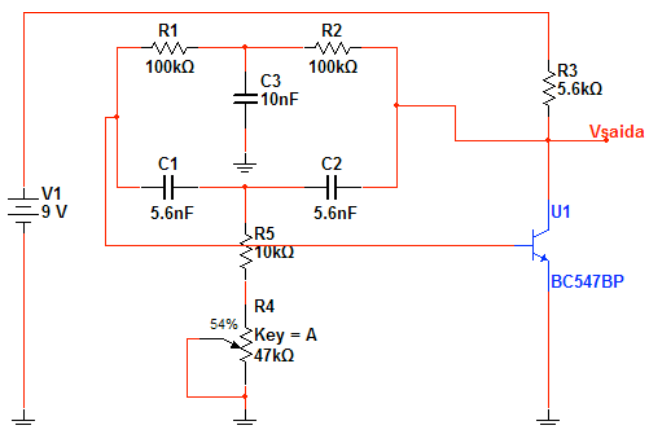


Figura 9 - Circuito do oscilador em duplo-t simulado no Multisim.

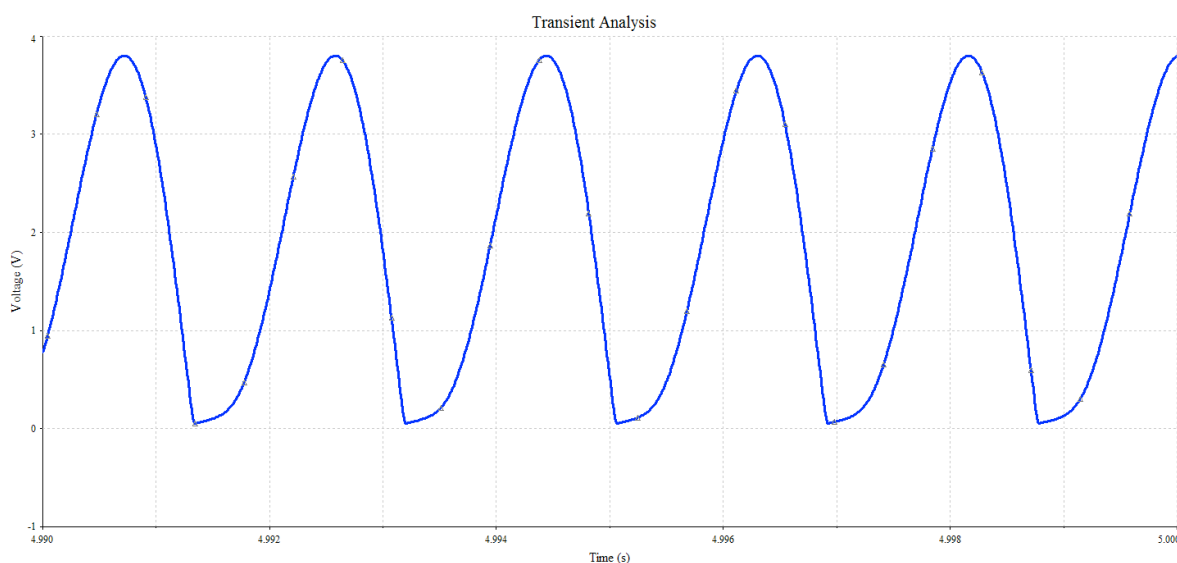


Figura 10 - Sinal gerado pelo oscilador com ajuste incorreto do potenciômetro ( $R_4$ ).

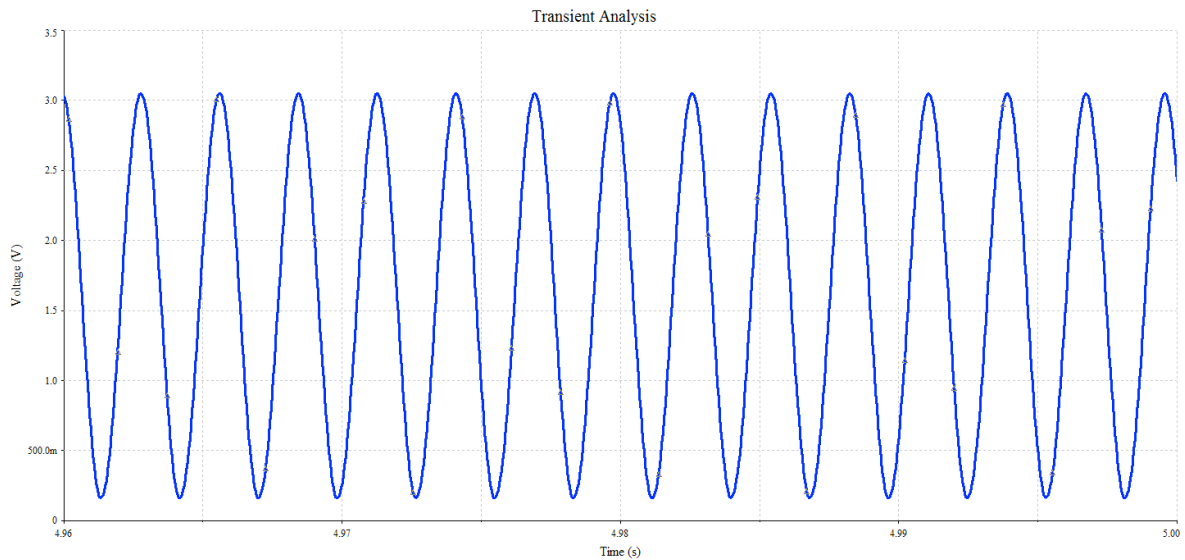


Figura 11 - Sinal de saída do oscilador.

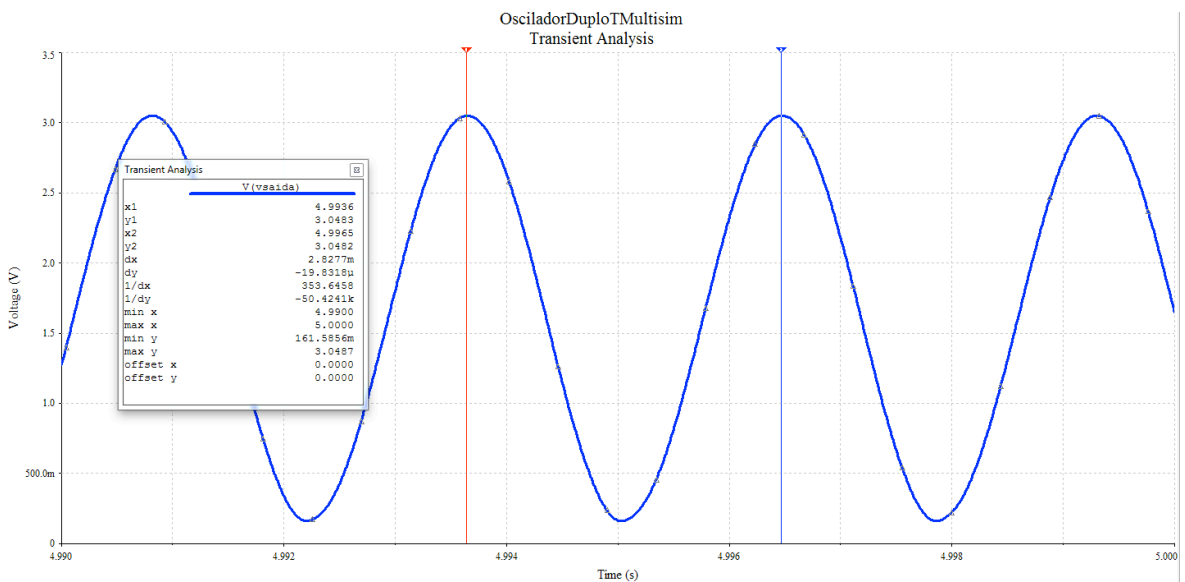


Figura 12 - Frequência de oscilação do circuito simulado.

## Exercícios Gerais

### Exercício 01:

Determine a frequência de oscilação do circuito mostrado na Figura 13.

### Exercício 02:

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 com ponte de Wien.

**Exercício 03:**

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.

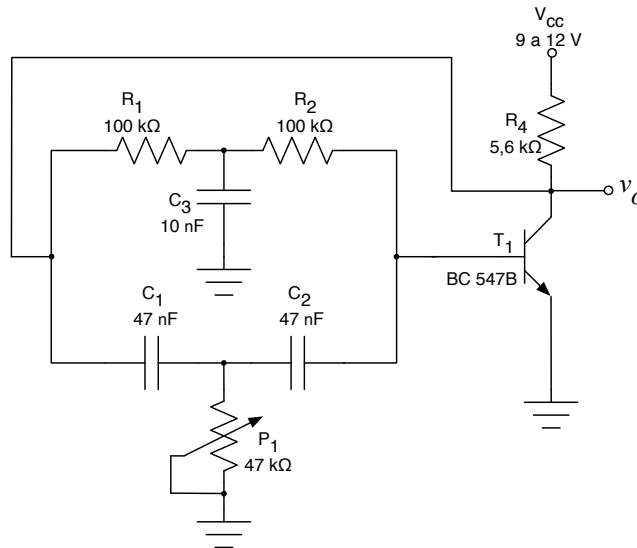


Figura 13 - Circuito oscilador para exercício 01.

**Exercício 04:**

Determine a frequência de oscilação do circuito mostrado na Figura 14.

**Exercício 05:**

Determine a frequência de oscilação do circuito mostrado na Figura 15.

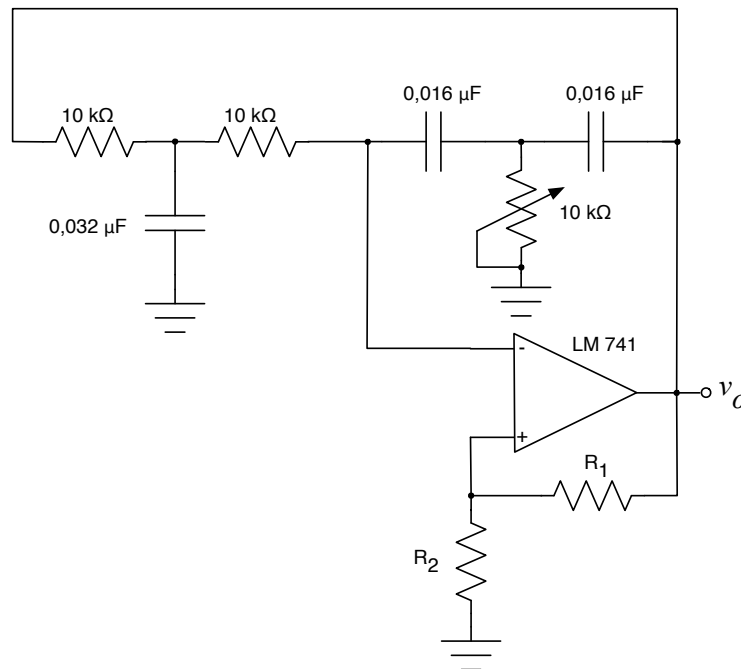


Figura 14 - Oscilador para o exercício 04.

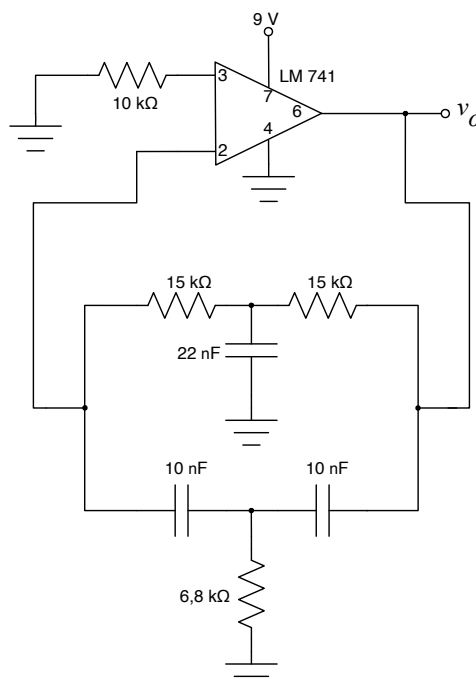


Figura 15 - Circuito oscilador para exercício 05.

## 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 Senoidais. Segunda edição, 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.