

# 2

## Capítulo

### Oscilador de Deslocamento de Fase RC

#### Meta deste capítulo

Entender o princípio de funcionamento de osciladores de deslocamento de fase.

#### objetivos

- Entender o princípio de funcionamento de um oscilador de deslocamento de fase RC;
- Analisar osciladores de deslocamento de fase;
- Projetar os componentes de osciladores de deslocamento de fase;
- Avaliar o funcionamento por simulação de osciladores de deslocamento de fase;
- Implementar e ensaiar osciladores de deslocamento de fase.

#### Pré-requisitos

Ter estudado o capítulo sobre teoria geral dos osciladores.

#### Continuidade

A continuidade no estudo de osciladores e multivibradores se dará pelo estudo do oscilador com Ponte de Wien.

## 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.

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

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

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

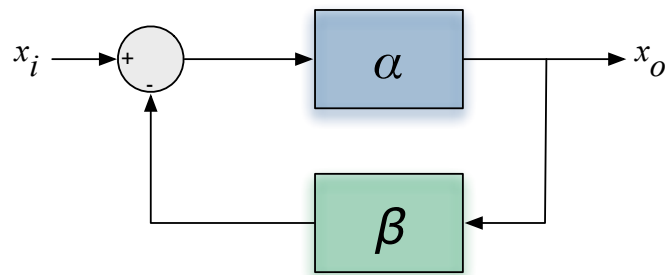


Figura 1 - Estrutura básica de um oscilador.

Assim, precisa-se que o ganho seja unitário e a malha de realimentação provoque um deslocamento de fase de  $180^\circ$ . Isso pode ser conseguido com uma rede RC, como a mostrada na Figura 2. Nota-se nesta figura a presença do amplificador com ganho ( $\alpha$ ) e a rede de realimentação RC, que constitui o bloco ( $\beta$ ) da Figura 1.

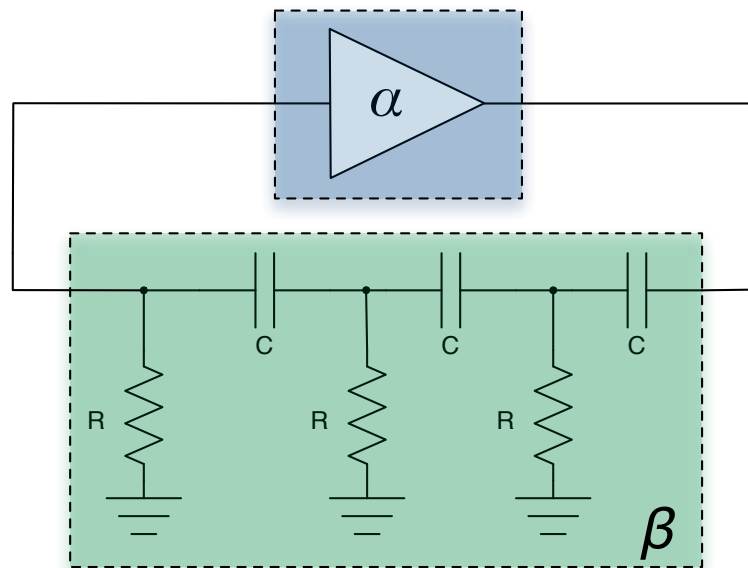


Figura 2 - Estrutura básica do oscilador de deslocamento de fase.

O objetivo deste capítulo é o estudo de osciladores por deslocamento de fase, em específico empregando resistores e capacitores (RC), semelhantes ao mostrado na Figura 2.

## 2 Análise do Oscilador de Deslocamento de Fase RC

Seja o circuito oscilador de deslocamento de fase RC mostrado na Figura 3 [7].

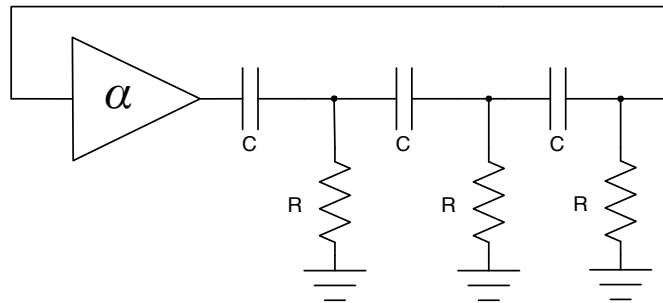


Figura 3 - Oscilador de deslocamento de fase RC.

Pode-se abrir a malha de realimentação, conforme mostrado na Figura 4. A seguir será feita a análise para obtenção da função de transferência ( $v_4 / v_i$ ) do circuito mostrado na Figura 4.

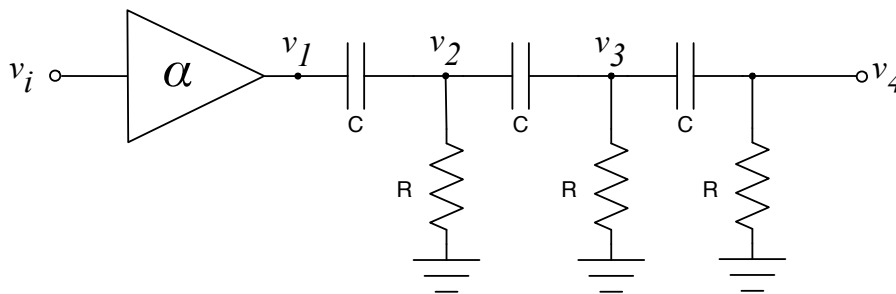


Figura 4 - Abertura da malha de realimentação do oscilador de deslocamento de fase RC.

De modo idêntico, considerando o circuito da Figura 5, o ganho do amplificador inversor é dado a seguir. Este ganho deve ser suficiente para compensar as perdas (atenuações) inseridas pela malha de realimentação passiva (RC) no circuito do oscilador.

$$\frac{v_o}{v_{in}} = -\frac{R_f}{R_1}$$

Considerando apenas a malha de realimentação da Figura 5, tomando como base o circuito da Figura 4, pode-se escrever que:

$$\frac{v_4}{v_1} = \frac{(\omega \cdot R \cdot C)^3}{(\omega \cdot R \cdot C)^3 - 5 \cdot (\omega \cdot R \cdot C) - j \cdot (6 \cdot (\omega \cdot R \cdot C)^2 - 1)}$$

Considerando o ganho do amplificador inversor:

$$\frac{v_4}{v_i} = \frac{\alpha \cdot (\omega \cdot R \cdot C)^3}{(\omega \cdot R \cdot C)^3 - 5 \cdot (\omega \cdot R \cdot C) - j \cdot (6 \cdot (\omega \cdot R \cdot C)^2 - 1)}$$

Para atender ao critério de Barkhausen, o ganho deve ser nulo, portanto:

$$\left| \frac{v_4}{v_i} \right| = \sqrt{\text{Re}^2 + \text{Im}^2} ;$$

$$\left| \frac{v_4}{v_i} \right| = \sqrt{\frac{(\alpha \cdot (\omega \cdot R \cdot C)^3)^2}{\left( (\omega \cdot R \cdot C)^3 - 5 \cdot (\omega \cdot R \cdot C) \right)^2 + \left( -j \cdot (6 \cdot (\omega \cdot R \cdot C)^2 - 1) \right)^2} ;$$

$$6 \cdot (\omega \cdot R \cdot C)^2 - 1 = 0 ;$$

$$\omega_o = \frac{1}{\sqrt{6} \cdot R \cdot C} ;$$

$$F_o = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{6} \cdot R \cdot C} .$$

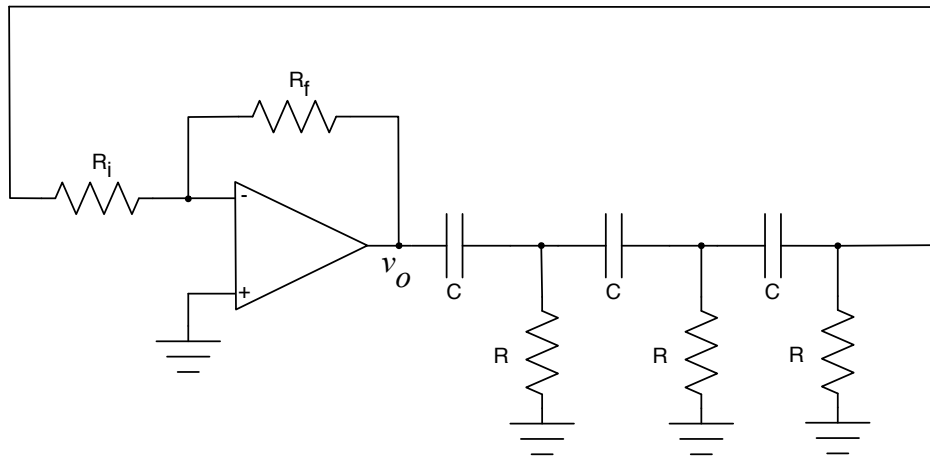


Figura 5 - Oscilador de deslocamento de fase com AmpOp.

Aplicando esta frequência na função de transferência do circuito, tem-se:

$$\frac{v_4}{v_i} = -\frac{\alpha}{29} .$$

Deste modo, para que o circuito oscile, o ganho do amplificador inversor deve ser maior do que 29.

## Exercício Específico

### Exercício 01:

Considerando o circuito da Figura 5, determine os componentes para uma frequência de oscilação de 1 kHz. Especifique componentes comerciais.

### Exercício 02:

Deduz a expressão que relaciona a tensão de entrada e saída do circuito da Figura 4.

## 3 Oscilador de Deslocamento de Fase RC com BJT

### 3.1 Análise em Corrente Contínua

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

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

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

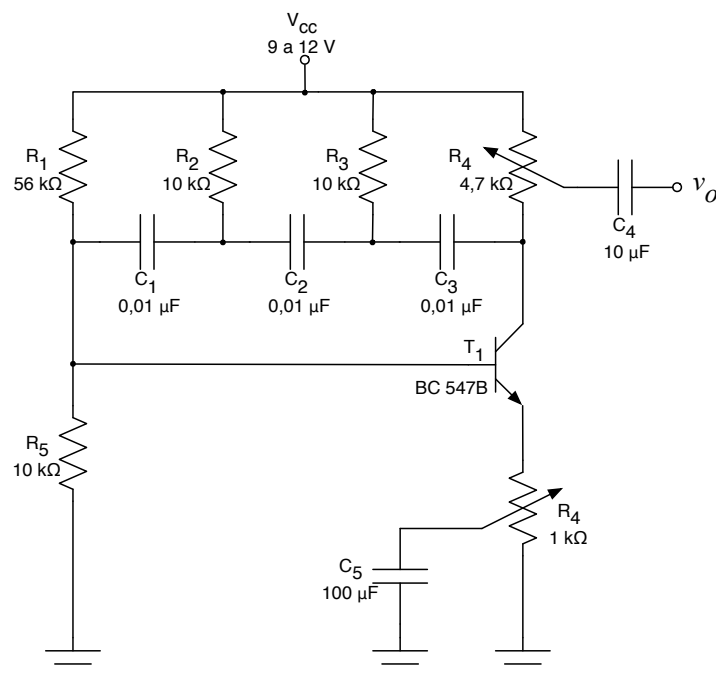


Figura 6 - Oscilador de deslocamento de fase RC com transistor bipolar.

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

$$R_{TH} = \frac{R_1 \cdot R_5}{R_1 + R_5} = \frac{56k \cdot 10k}{56k + 10k} \cong 8,6k\Omega ;$$

$$V_{TH} = \frac{V_{CC} \cdot R_5}{R_1 + R_5} = \frac{9 \cdot 10k}{56k + 10k} = 1,36V ;$$

$$I_B = \frac{V_{TH} - V_{BE}}{R_{TH} + (\beta + 1) \cdot R_E} = \frac{1,36 - 0,7}{8,6k + (200 + 1) \cdot 1k} = 3,15\mu A ;$$

$$I_C = \beta \cdot I_B = 200 \cdot 3,15\mu = 0,63mA$$

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C \cdot (R_4 + R_6) = 9 - 0,63m \cdot (4,7k + 1k) = 5,4V .$$

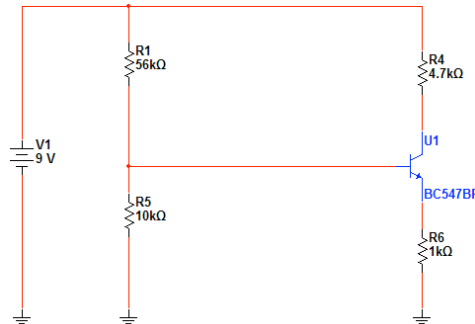


Figura 7 - Circuito de polarização do oscilador de deslocamento de fase com transistor.

Conclui-se daí que o transistor estará operando na região ativa, como desejado para implementar o oscilador por deslocamento de fase.

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 ( $\beta = 200$ ).

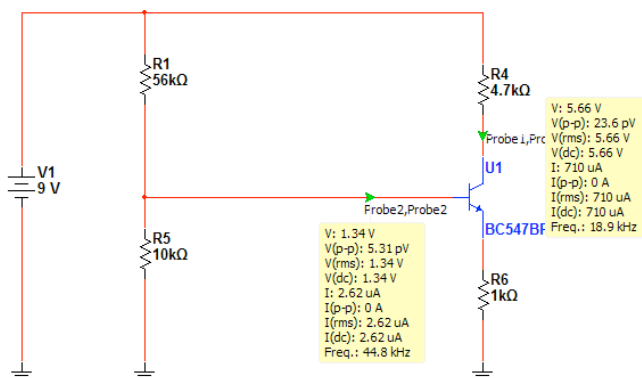


Figura 8 - Ponto de operação do oscilador de deslocamento de fase com transistor bipolar.

### 3.2 Análise do Oscilador de Deslocamento de Fase RC

A frequência de oscilação é dada pela expressão a seguir. Note que no circuito de simulação foram utilizados capacitores de 100 nF (Figura 9) e não de 10 nF, como aqueles da Figura 6.

$$F_o = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{6} \cdot R \cdot C} = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{6} \cdot 10 \cdot 10^3 \cdot 100 \cdot 10^{-9}} = 65 \text{ Hz} .$$

A partir do circuito da Figura 6 realizou-se uma simulação no software Multisim, conforme o circuito mostrado na Figura 9. Se o ajuste de ganho do amplificador não for correto, o que pode ser feito no potenciômetro (resistor R<sub>6</sub>), o critério de Barkhausen não será respeitado e pode-se ter a saturação ou não oscilação. Na Figura 10 mostra-se a saída do oscilador, onde nota-se o transitório inicial e o posterior regime permanente.

A frequência de oscilação é determinada pela análise da Figura 11 onde nota-se que o tempo entre um pico da senóide gerada e outro é de 16,2517 ms, o que equivale a uma frequência de oscilação de 61,53 Hz.

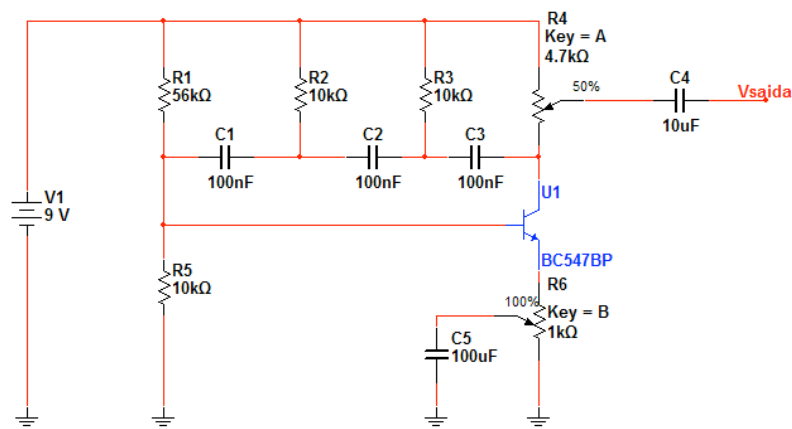


Figura 9 - Circuito do oscilador de deslocamento de fase simulado no Multisim.

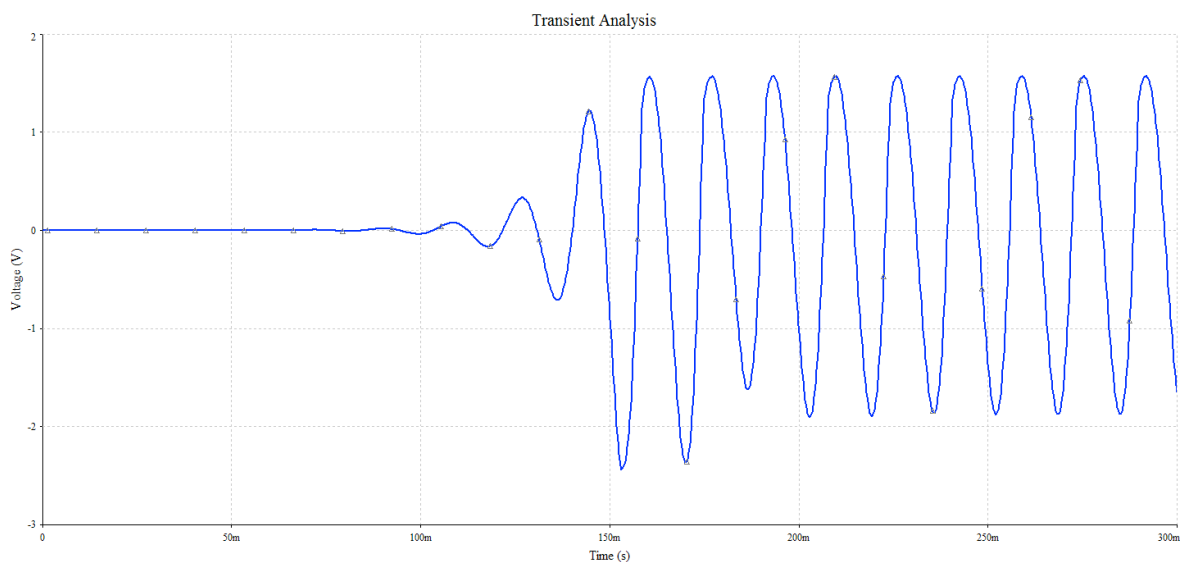


Figura 10 - Sinal de saída do oscilador.

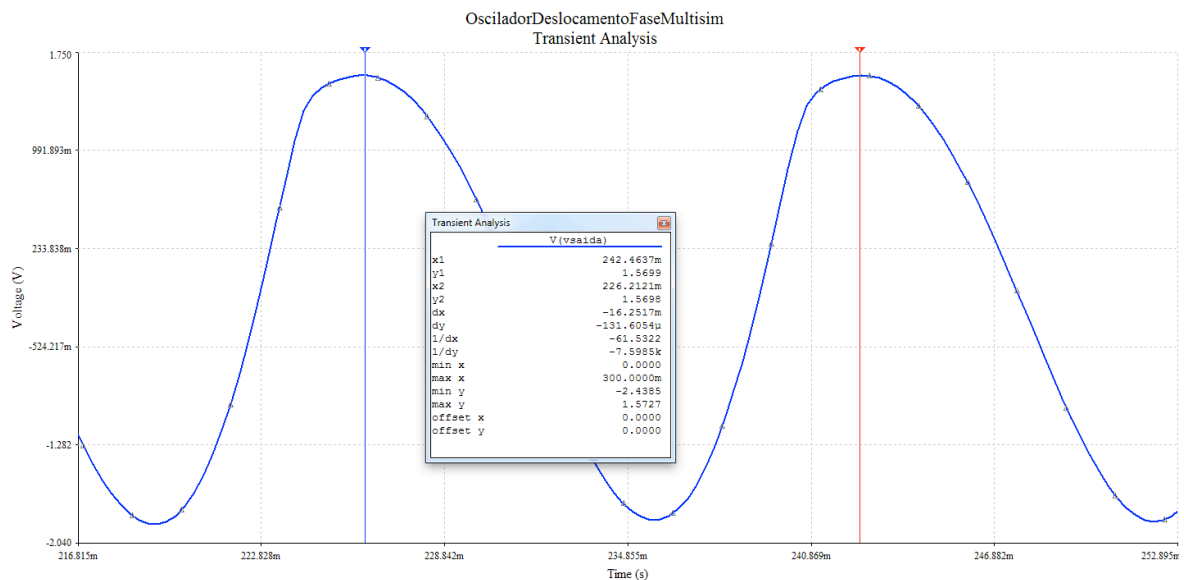


Figura 11 - Frequência de oscilação do circuito simulado.

Note na Figura 11 que o sinal gerado pelo oscilador apresenta certa distorção. Isso pode ser corrigido atuando no ajuste de ganho do circuito, resistor  $R_6$ , tornando assim o sinal de saída puramente senoidal, conforme mostrado na Figura 11.

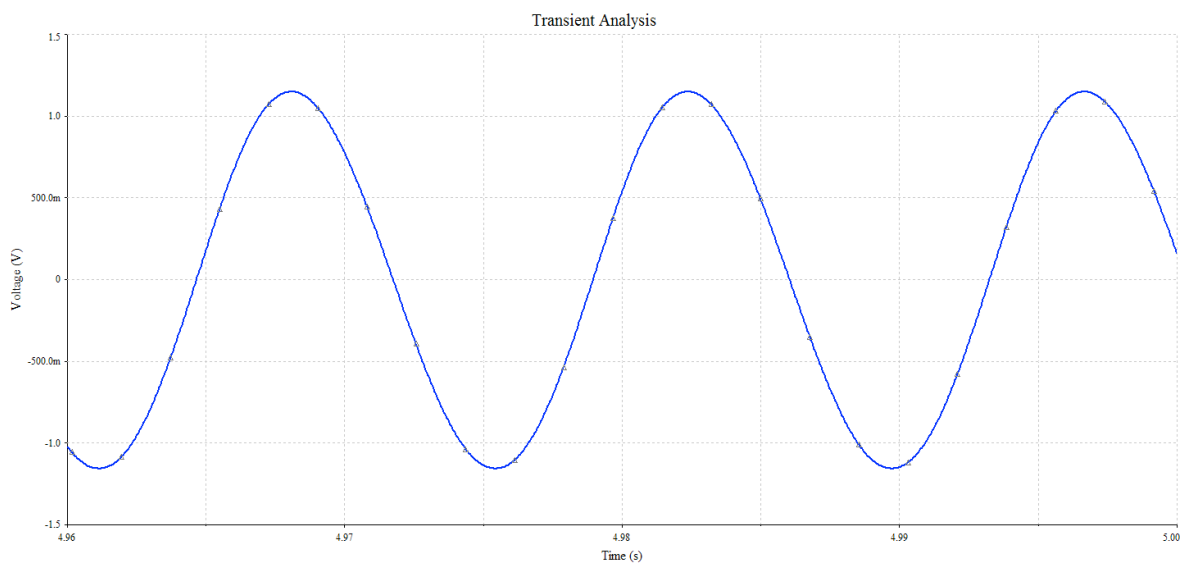


Figura 12 - Sinal de saída do oscilador, puramente senoidal.

## Exercícios Gerais

### Exercício 03:

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

### Exercício 04:

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 de deslocamento de fase.

**Exercício 05:**

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.

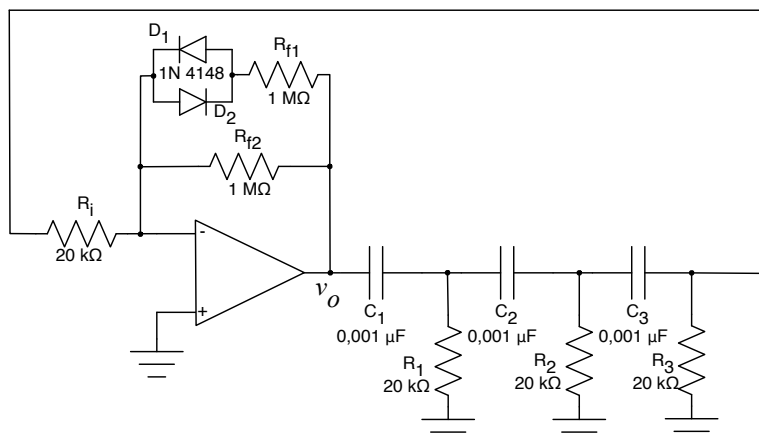


Figura 13 - Circuito oscilador para exercício 03.

## 4 Referências

- [1] BOYLESTAD, R. L. e NASHELSKY, L. Dispositivos Eletrônicos e Teoria de Circuitos. 8<sup>a</sup> 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. 3<sup>a</sup> 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.