

3

Capítulo

Oscilador com Ponte de Wien

Meta deste capítulo

Entender o princípio de funcionamento de osciladores com ponte de Wien.

objetivos

- Entender o princípio de funcionamento de um oscilador com ponte de Wien;
- Analisar osciladores com ponte de Wien;
- Projetar os componentes de osciladores com ponte de Wien;
- Avaliar o funcionamento por simulação de osciladores com ponte de Wien;
- Implementar e ensaiar osciladores com ponte de Wien.

Pré-requisitos

Ter estudado o capítulo sobre osciladores de deslocamento de fase.

Continuidade

A continuidade no estudo de osciladores e multivibradores se dará pelo estudo do oscilador em duplo-t.

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 estudados no capítulo anterior, ou outro oscilador muito utilizado, o oscilador com ponte de Wien.

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

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

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

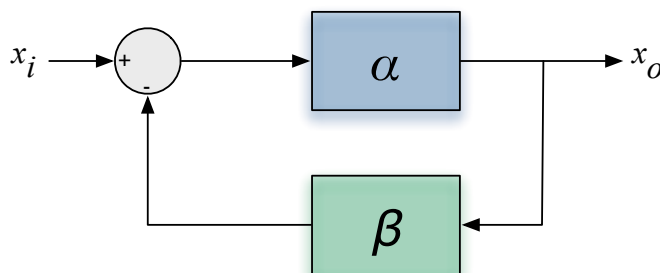


Figura 1 - Estrutura básica de um oscilador.

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 com ponte de Wien¹, em específico empregando resistores e capacitores (RC), semelhantes ao mostrado na Figura 2.

¹ Max Wien – Físico Alemão que viveu de 1866 até 1938, foi o autor do circuito original da ponte de Wien, utilizada no oscilador que a emprega; posteriormente o circuito foi modificado por William Redington Hewlett em 1939, que é co-fundador da HP.

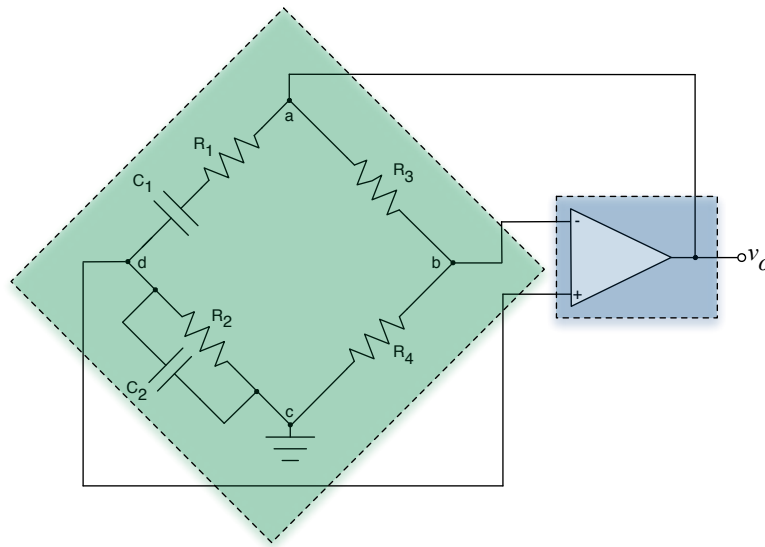


Figura 2 - Estrutura básica do oscilador com a ponte de Wien original.

2 Análise do Oscilador com Ponte de Wien RC

Seja o circuito oscilador com ponte de Wien RC mostrado na Figura 3 [4].

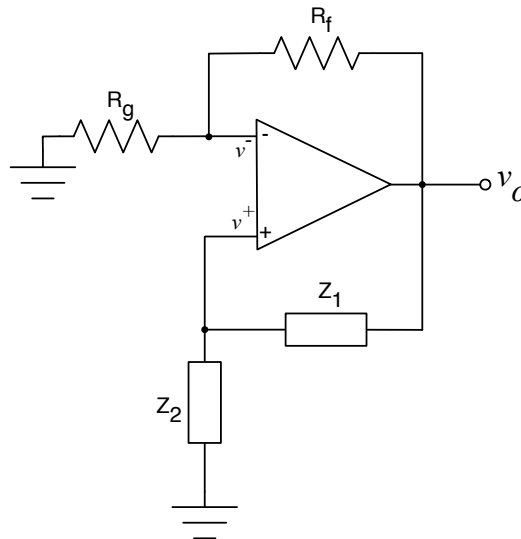


Figura 3 - Oscilador com ponte de Wien RC.

No circuito da Figura 3, os resistores R_f e R_g determinam o ganho de realimentação negativa, que deve compensar o ganho da malha de realimentação positiva (Z_1 e Z_2), tornando o ganho total unitário.

Em uma frequência específica, a fase da rede de realimentação positiva (Z_1 e Z_2) será nula, fazendo com que o circuito atenda ao critério de Barkhausen e oscile.

Normalmente a impedância Z_1 é implementada por um conjunto de resistores e capacitores em série, como apresentado na Figura 4, formando uma rede de avanço de fase. Por sua

vez, a impedância Z_2 é implementada por um conjunto de resistores e capacitores em paralelo, formando uma rede de atraso de fase.

Pode-se escrever que:

$$Z_1 = R_1 - j \cdot X_{C1};$$

$$Z_2 = R_2 \parallel -j \cdot X_{C2} = \frac{-j \cdot R_2 \cdot X_{C2}}{R_2 - j \cdot X_{C2}};$$

$$v_+ = v_o \cdot \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2};$$

$$\frac{v_+}{v_o} = \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2};$$

$$\frac{v_+}{v_o} = \frac{R_2 \cdot X_{C2}}{(R_1 \cdot X_{C2} + R_2 \cdot X_{C1} + R_2 \cdot X_{C2}) + j \cdot (R_1 \cdot R_2 + X_{C1} \cdot X_{C2})};$$

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

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

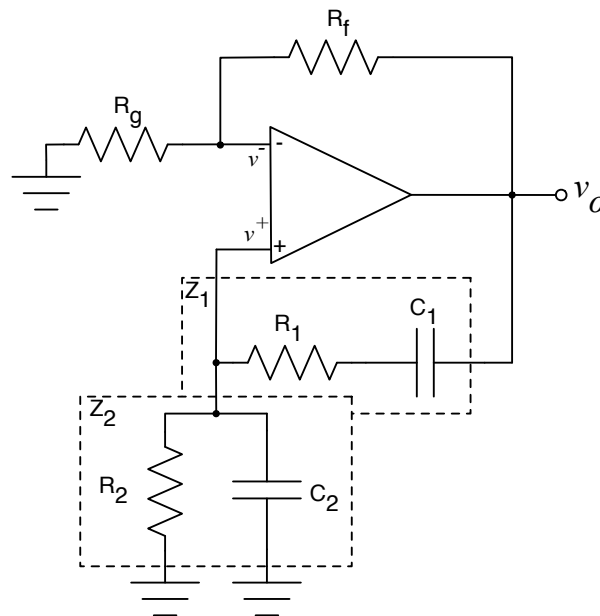


Figura 4 - Oscilador com ponte de Wien.

Para que o critério de Barkhausen seja atendido e o circuito oscile, o ganho do sistema deve ser unitário e a fase nula. Assim, para que a realimentação seja positiva e com defasagem nula (v_+ com mesma fase de v_o), a expressão v_+ / v_o deve ser um número real, portanto:

$$R_1 \cdot R_2 - X_{C1} \cdot X_{C2} = 0;$$

$$R_1 \cdot R_2 = \left(\frac{1}{\omega \cdot C_1} \right) \cdot \left(\frac{1}{\omega \cdot C_2} \right);$$

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{R_1 \cdot R_2 \cdot C_1 \cdot C_2}}.$$

Usualmente é comum utilizar-se resistores e capacitores iguais nas duas redes de realimentação, levando a:

$$R_1 = R_2 \text{ e } C_1 = C_2;$$

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

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

O ganho da malha de realimentação positiva, na frequência de oscilação, é:

$$X_{C1} = X_{C2} = R_1 = R_2 = R \quad ;$$

$$\frac{v_+}{v_o} = \frac{R^2}{3 \cdot R^2 + j \cdot 0} = \frac{1}{3}.$$

Assim, o ganho da malha de realimentação negativa deverá ser:

$$v_- = v_+;$$

$$v_- = v_o \cdot \frac{R_g}{R_g + R_f};$$

$$v_+ = v_o \cdot \frac{1}{3};$$

$$v_- = v_+ = v_o \cdot \frac{R_g}{R_g + R_f} = v_o \cdot \frac{1}{3};$$

$$\frac{R_f}{R_g} = 2.$$

Exercício Específico

Exercício 01:

Considerando o circuito da Figura 4, determine os componentes para uma frequência de oscilação de 1 kHz. Especifique componentes comerciais.

Exercício 02:

Determine a frequência de oscilação do circuito da Figura 5.

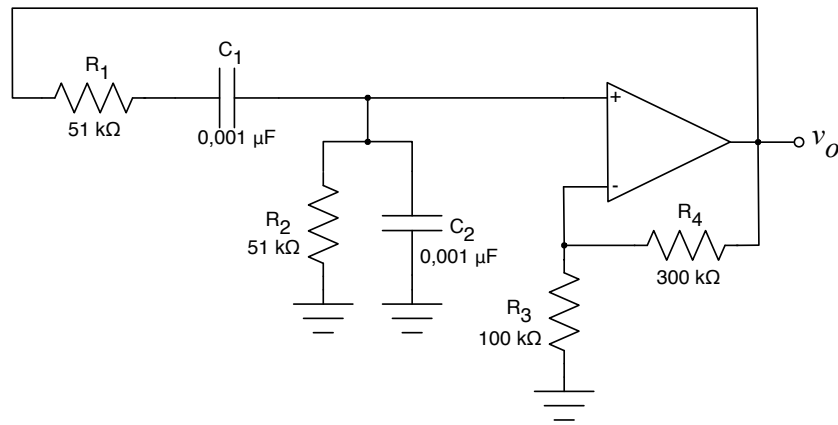


Figura 5 - Figura para exercício 02.

3 Oscilador com Ponte de Wien RC com BJT

3.1 Análise em Corrente Contínua

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

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

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

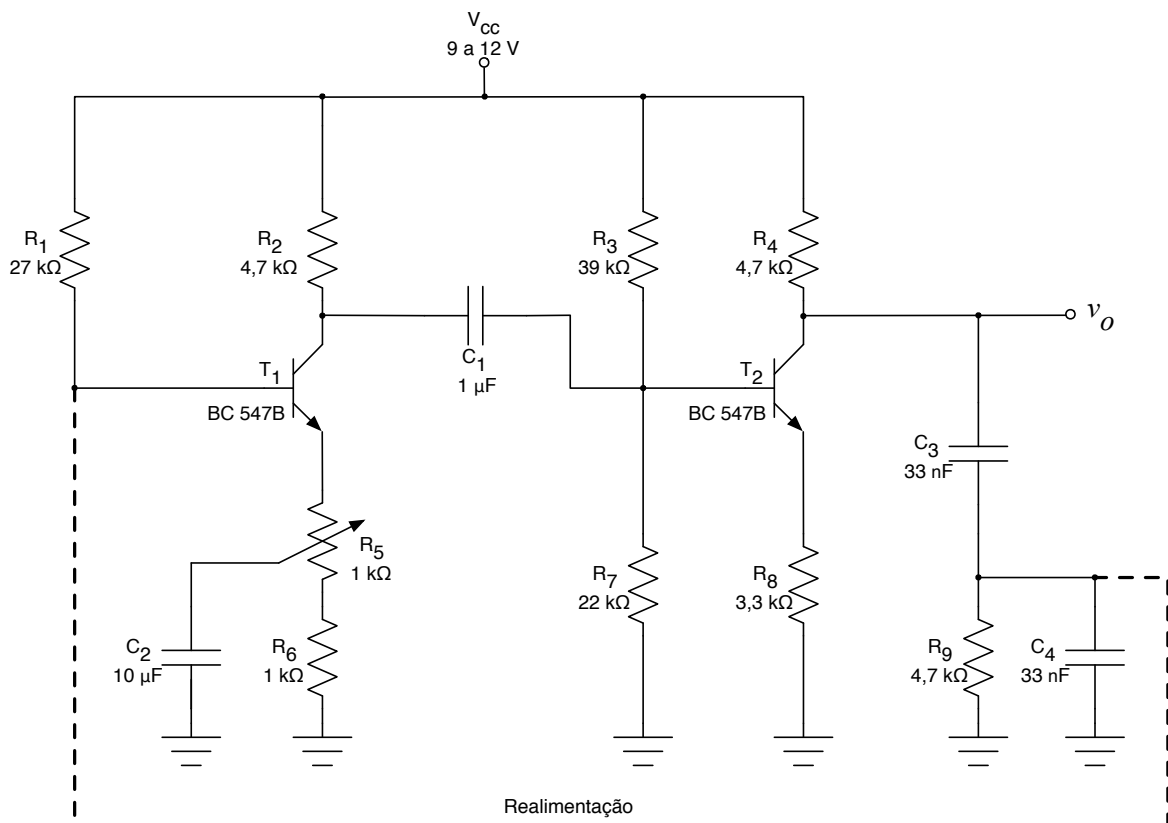


Figura 6 - Oscilador com ponte de Wien RC com transistor bipolar.

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

$$R_{TH1} = \frac{R_1 \cdot R_9}{R_1 + R_9} = \frac{27k \cdot 4,7k}{27k + 4,7k} \cong 4k\Omega;$$

$$V_{TH1} = \frac{V_{CC} \cdot R_9}{R_1 + R_9} = \frac{9 \cdot 4,7k}{27k + 4,7k} = 1,33V;$$

$$I_{B1} = \frac{V_{TH1} - V_{BE1}}{R_{TH1} + (\beta_1 + 1) \cdot R_{E1}} = \frac{1,33 - 0,7}{4k + (200 + 1) \cdot (1k + 1k)} = 1,55\mu A;$$

$$I_{C1} = \beta_1 \cdot I_{B1} = 200 \cdot 1,55\mu = 0,31mA$$

$$V_{CE1} = V_{CC} - I_{C1} \cdot (R_2 + R_5 + R_6) = 9 - 0,31m \cdot (4,7k + 1k + 1k) = 6,923V.$$

Já para o segundo estágio de amplificação se tem:

$$R_{TH2} = \frac{R_3 \cdot R_7}{R_3 + R_7} = \frac{39k \cdot 22k}{39k + 22k} \cong 14k\Omega;$$

$$V_{TH2} = \frac{V_{CC} \cdot R_7}{R_3 + R_7} = \frac{9 \cdot 22k}{39k + 22k} = 3,245V;$$

$$I_{B2} = \frac{V_{TH2} - V_{BE2}}{R_{TH2} + (\beta_2 + 1) \cdot R_{E2}} = \frac{3,245 - 0,7}{14k + (200 + 1) \cdot (3,3k)} = 3,76\mu A;$$

$$I_{C2} = \beta_2 \cdot I_{B2} = 200 \cdot 3,76\mu = 0,75mA$$

$$V_{CE2} = V_{CC} - I_{C2} \cdot (R_4 + R_8) = 9 - 0,75m \cdot (4,7k + 3,3k) = 3V.$$

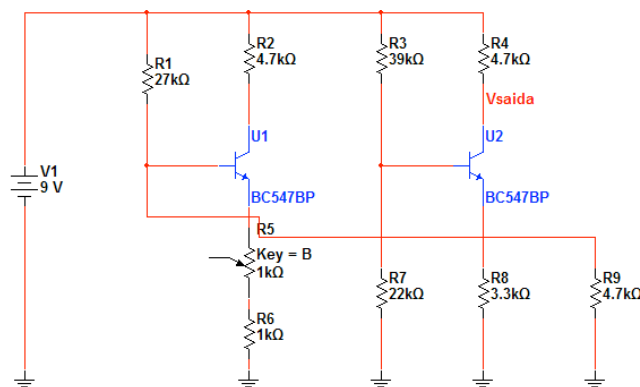


Figura 7 - Circuito de polarização do oscilador com ponte de Wien com transistor.

Conclui-se daí que os transistores estarão 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 ($\beta = 200$).

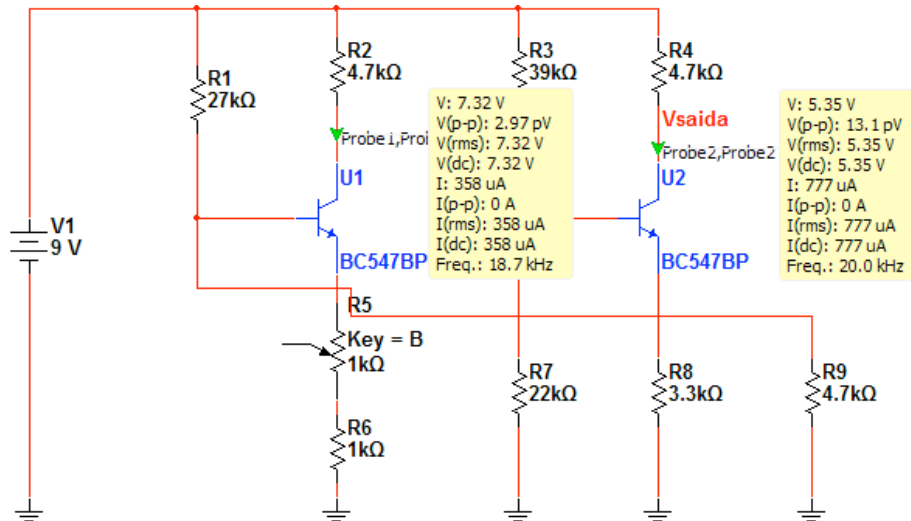


Figura 8 - Ponto de operação do oscilador com ponte de Wien com transistor bipolar.

3.2 Análise do Oscilador com Ponte de Wien RC

A frequência de oscilação é dada pela expressão a seguir.

$$F_o = \frac{1}{2\pi \cdot R \cdot C} = \frac{1}{2\pi \cdot 4,7 \cdot 10^3 \cdot 33 \cdot 10^{-9}} = 1.030,93 \text{ Hz} .$$

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_5), 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 que a tensão de saída está distorcida. Para eliminar esta distorção deve-se ajustar o resistor R_5 . No entanto, com o valor original de 1 k Ω não foi possível eliminar a distorção, optando-se então pela substituição deste potenciômetro por outro, de 2,2 k Ω .

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 903,13 μs , o que equivale a uma frequência de oscilação de 1.107,42 Hz.

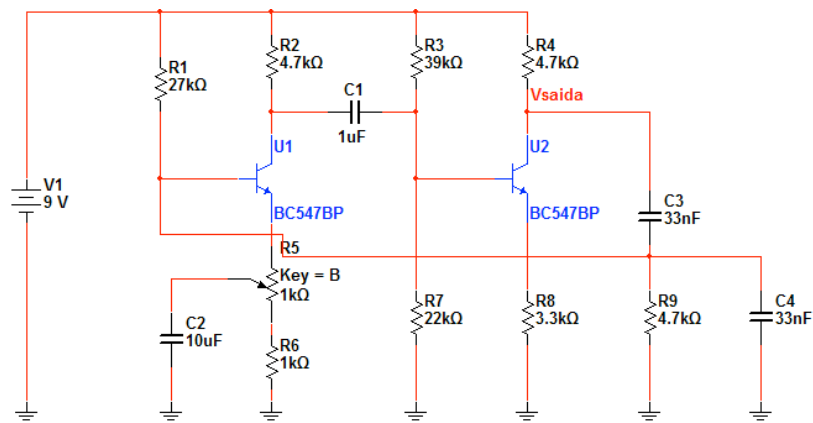


Figura 9 - Circuito do oscilador com ponte de Wien simulado no Multisim.

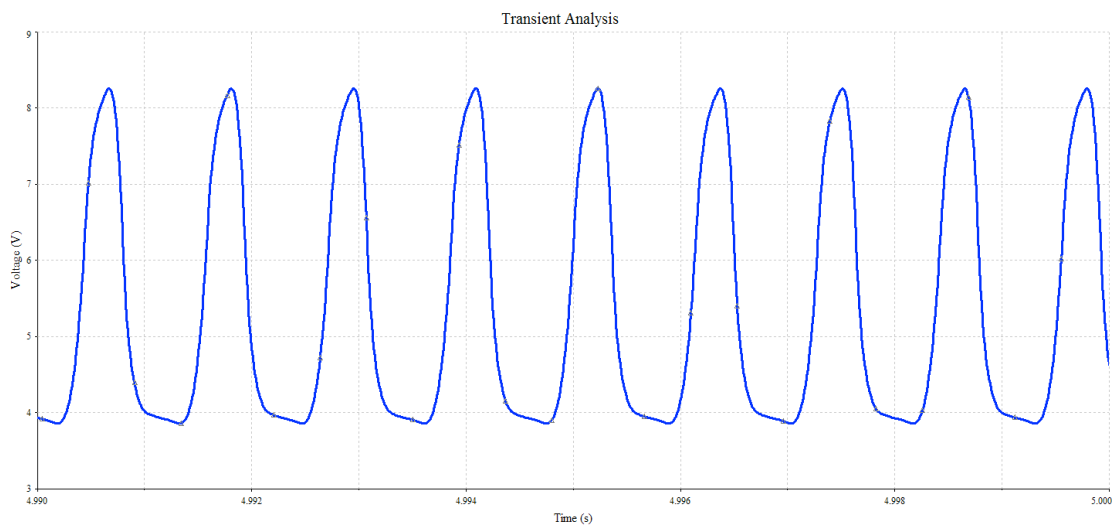


Figura 10 - Sinal de saída do oscilador com a configuração original.

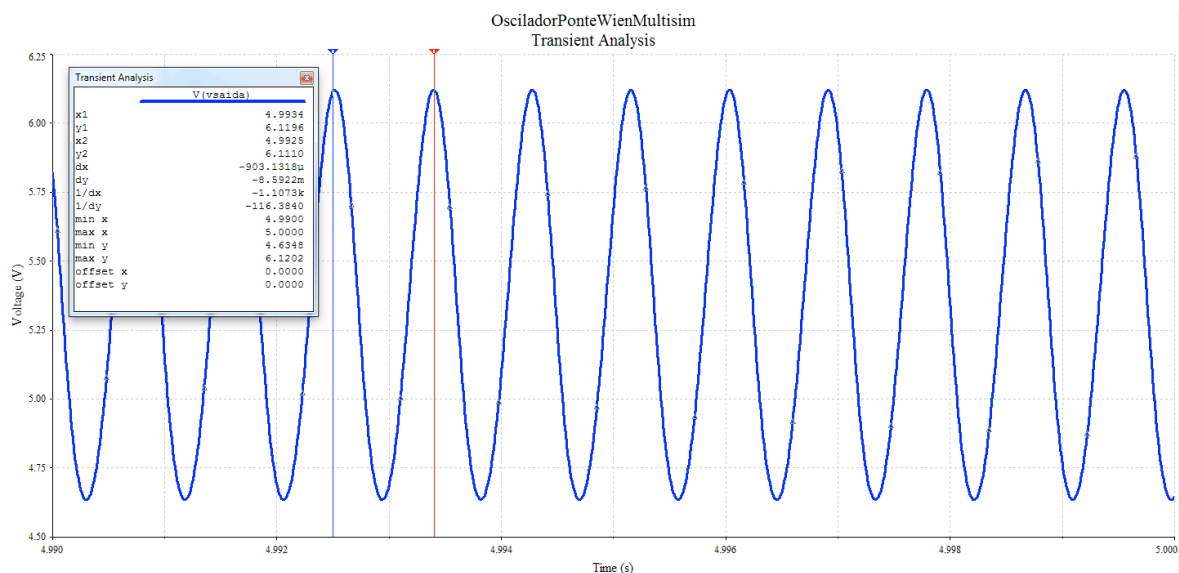


Figura 11 - Frequência de oscilação do circuito simulado, após ajustes no resistor R_5 .

Note na Figura 11 que o sinal gerado pelo oscilador não apresenta distorções, o que foi possível ajustando-se corretamente o resistor R_5 , após sua substituição, originalmente de 1 kΩ por

outro de 2,2 k Ω .

Exercícios Gerais

Exercício 03:

Determine a frequência de oscilação do circuito mostrado na Figura 12.

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 com ponte de Wien.

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.

Exercício 06:

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

Exercício 07:

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

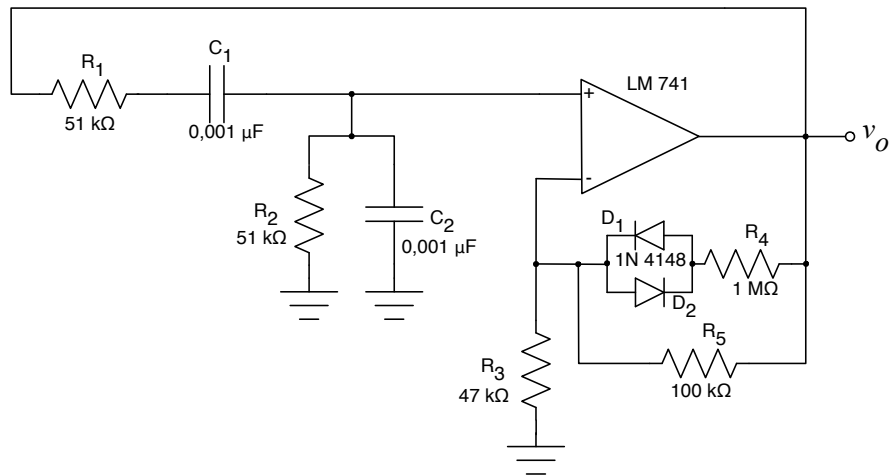


Figura 12 - Circuito oscilador para exercício 03.

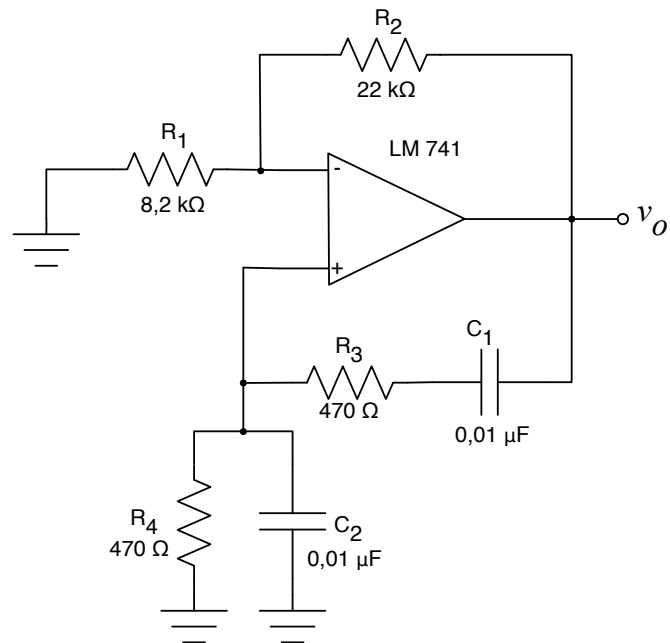


Figura 13 - Oscilador para exercício 06.

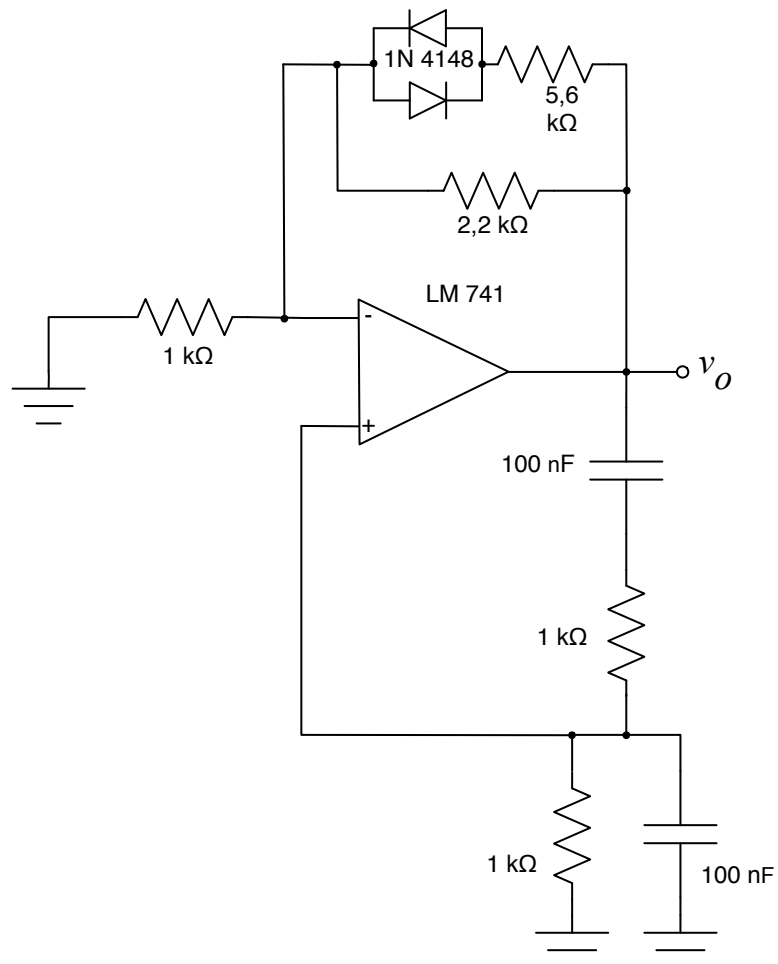


Figura 14 - Oscilador para exercício 07.

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.