

11

Capítulo

Osciladores de Relaxação

Meta deste capítulo

Entender o princípio de funcionamento de osciladores de relaxação.

objetivos

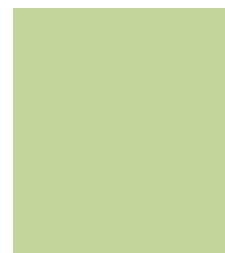
- Entender o princípio de funcionamento de um oscilador de relaxação;
- Analisar osciladores de relaxação;
- Projetar os componentes de osciladores de relaxação;
- Avaliar o funcionamento por simulação dos osciladores de relaxação;
- Implementar e ensaiar osciladores de relaxação.

Pré-requisitos

Ter estudado o capítulo sobre osciladores com transistores bipolares.

Continuidade

A continuidade no estudo de osciladores e multivibradores se dará pelo estudo dos circuitos multivibradores monoestáveis, biestáveis e astáveis .



1 Introdução

Os osciladores de relaxação são circuitos que possuem como característica serem fontes de ondas quadradas, caracterizadas por usarem dispositivos biestáveis e dispositivos que provocam oscilação como os elementos RC por exemplo. Esses tipos de osciladores são indicados principalmente em uso de circuitos com boa estabilidade na frequência de oscilação e também pela alta taxa de variação na saída, requisitos essenciais para dispositivos digitais com temporização.

Nessa abordagem serão analisados dois tipos de circuitos osciladores de relaxação, sendo a primeira estrutura a que utiliza transistores FET de Unijunção (UJT) e a segunda com amplificadores operacionais.

2 JFET de Unijunção (UJT)

O transistor FET (transistor de efeito de campo) de Unijunção (UJT) é um dispositivo utilizado principalmente em circuitos osciladores e também como chave comutadora. Sua simbologia e estrutura física são mostradas na Figura 1.

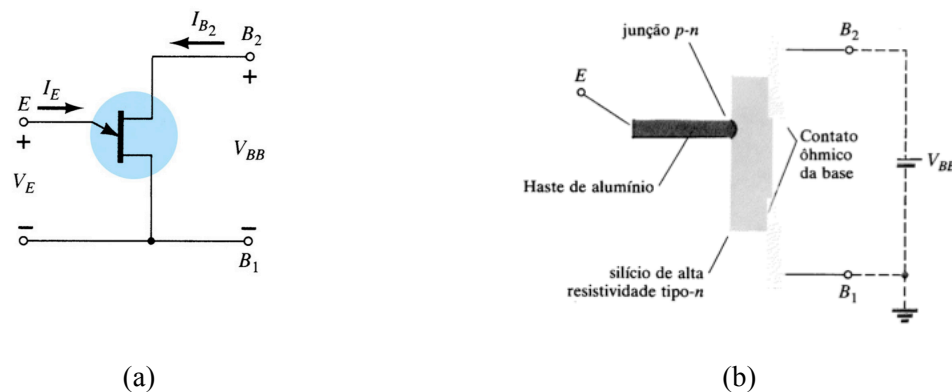


Figura 1 – Transistor FET de Unijunção – (a) Simbologia; (b) Estrutura do dispositivo..

O UJT é constituído por uma barra de material N levemente dopada, que forma as regiões de base 1 e base 2, e uma pequena região com material P, compondo a região do emissor. Entre as base 1 e 2, existe uma região com um elevado valor resistivo denominado de região de interbases (R_{BB}). O circuito equivalente é mostrado na Figura 2.

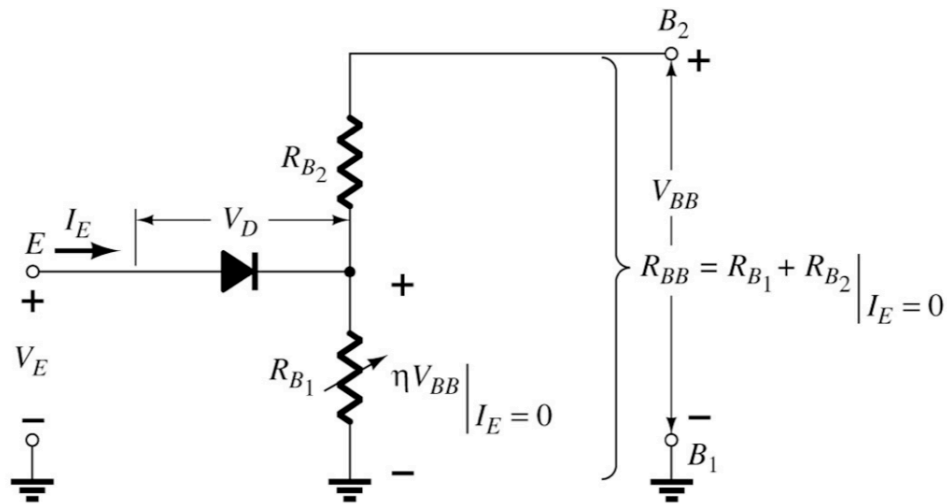


Figura 2 – Circuito equivalente do UJT.

Nesse circuito equivalente existem duas resistências que compõem a R_{BB} , que são R_{B1} e R_{B2} . Com o emissor aberto, a resistência entre o emissor e a base 2 (R_{B2}) é menor do que a resistência entre emissor e base 1 (R_{B1}). Essas resistências serão responsáveis em realizar uma divisão de tensão internamente no dispositivo, após ser aplicado uma diferença de potencial entre as mesmas. Existe também um diodo composto pela junção do emissor e a região entre as bases. Se for aplicado um potencial no emissor $V_E < 0,7 + V_{RB1}$ o UJT estará cortado, pois o diodo está reversamente polarizado. Onde $V_{RB1} = \eta \cdot V_{BB}$, sendo que η é a razão intrínseca de disparo cujo valor está compreendido entre 0,4 e 0,8 (valores estes definidos pelos fabricantes do dispositivo). Quando $V_E = 0,7 + \eta \cdot V_{BB} = V_p$ (tensão no ponto de pico), o diodo fica polarizado diretamente e o UJT dispara. A explicação física para o disparo é dada pela realimentação positiva interna. O aparecimento de uma corrente aumenta o número de portadores na região próximo à base 1, o que diminui a resistividade e consequentemente a resistência R_{B1} , como consequência diminui a tensão em R_{B1} , incrementando mais ainda a polarização direta, e assim aumentando ainda mais a corrente. Esse ciclo leva a um aumento muito grande na corrente (o disparo), limitada unicamente pelas resistências externas. Após ter disparado, o UJT só voltará a cortar novamente quando a tensão de emissor não for mais suficiente para manter a polarização direta da junção, essa tensão é chamada de tensão de vale, V_v . Essa característica de funcionamento do UJT pode ser observada no gráfico da Figura 3.

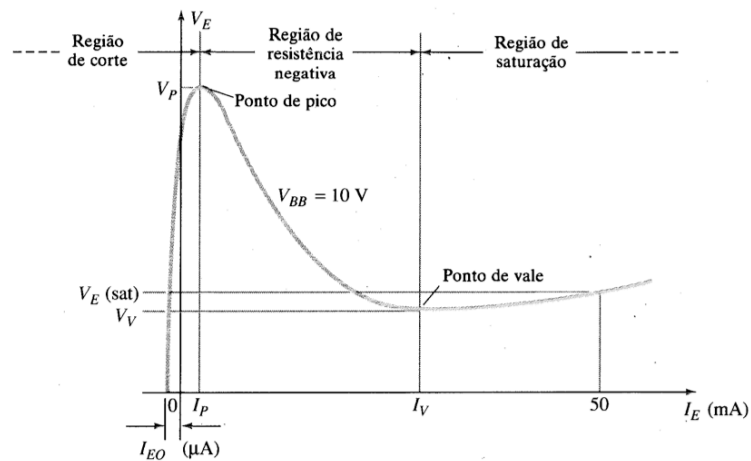


Figura 3 – Gráfico com a curva característica do UJT.

3 Oscilador de relaxação com o UJT

O oscilador de relaxação é um circuito em que a frequência é controlada pela carga e descarga de um capacitor através de um resistor. A Figura 4 ilustra o circuito oscilador de relaxação.

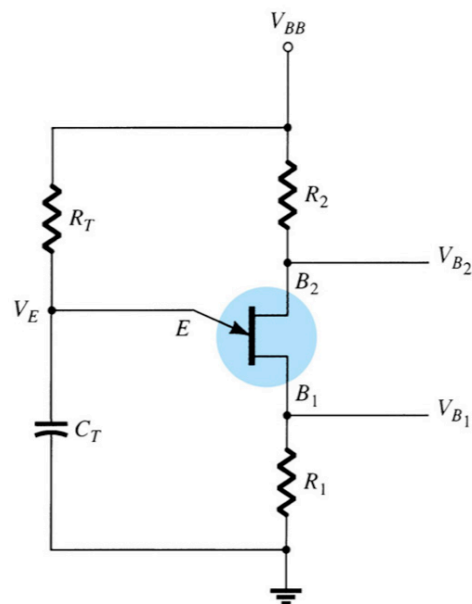


Figura 4 – Esquemático do circuito oscilador de relaxação com o UJT.

As funções dos componentes do circuito da Figura 4 são:

- R_1 - Fornecer pulsos de tensão de saída do oscilador e limitar a corrente de descarga do capacitor;
- R_2 - Estabiliza termicamente o UJT por meio da variação de tensão;
- R_T - Limitar a tensão de carga no capacitor em um determinado tempo;

- C_T - Levar ao emissor do UJT a tensão necessária para o dispositivo conduzir.

O funcionamento desse circuito é iniciado com o carregamento do capacitor (C_T), sendo a corrente de carga limitada pelo resistor (R_T), constituindo uma constante de carga que irá durar até que a tensão do capacitor chegue ao valor limite V_P do dispositivo UJT. O tempo de carga do capacitor será definido conforme os valores de C_T e R_T , ou seja, $\tau = R_T \cdot C_T$ (constante de tempo de carga do capacitor). Após o valor de tensão no capacitor atingir o valor de pico (V_P) do UJT, a junção emissor - base 1 atinge potencial suficiente para polarizar diretamente o diodo interno e por consequência disso a resistência R_{B1} diminuirá, descarregando o capacitor. O tempo de descarga do capacitor será definido conforme os valores de R_{B1} , R_1 e C_T , ou seja, $\tau = (R_{B1} + R_1) \cdot C_T$ (constante de tempo de descarga de C_T). Resumidamente pode-se definir que quando:

- $V_C = V_E = V_{corte} \leq 0 \rightarrow$ UJT está cortado;
- $V_C = V_P = V_E \geq 0,7 + \eta \cdot V_{BB} \rightarrow$ UJT começa a conduzir .

O comportamento desse circuito está indicado na Figura 5.

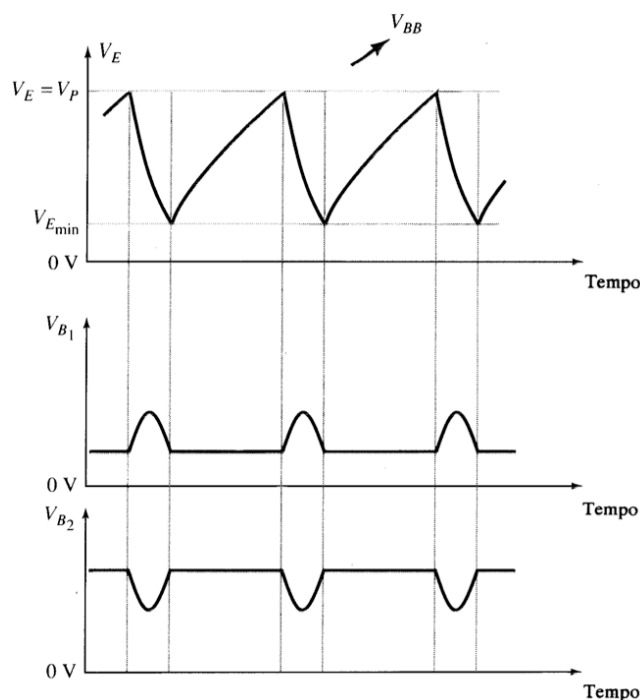


Figura 5 – Gráfico da relação das tensões de emissor, base 1 e base 2 em função do tempo.

Pode-se calcular a frequência de operação para o circuito oscilador de relaxação com UJT conforme a equação descrita abaixo:

$$F_o = \frac{1}{R \cdot C \cdot \ln\left(\frac{1}{1-\eta}\right)}$$

A frequência de oscilação para esse oscilador depende da carga e descarga do capacitor, que ocorre exponencialmente em função da razão intrínseca do disparo do UJT.

3.1 Simulação do Oscilador de Relaxação com UJT

O oscilador de relaxação estudado na etapa anterior será simulado utilizando um software de simulação de circuitos eletrônicos. Na Figura 6 é mostrado o circuito simulado. Note que o transistor empregado e o circuito são diferentes daqueles apresentados anteriormente, visto o componente utilizado no simulador ser um transistor Unijunção ser programável pelo divisor de tensão formado por R_2 e R_3 .

O valor de η é dado por:

$$\eta = \frac{R_3}{R_2 + R_3}$$

Portanto:

$$\eta = \frac{R_3}{R_2 + R_3} = \frac{10k}{4,7k + 10k} = 0,68;$$

$$F_o = \frac{1}{R \cdot C \cdot \ln\left(\frac{1}{1-\eta}\right)} = \frac{1}{100k \cdot 100n \cdot \ln\left(\frac{1}{1-0,68}\right)} = 87,76 \text{ Hz} .$$

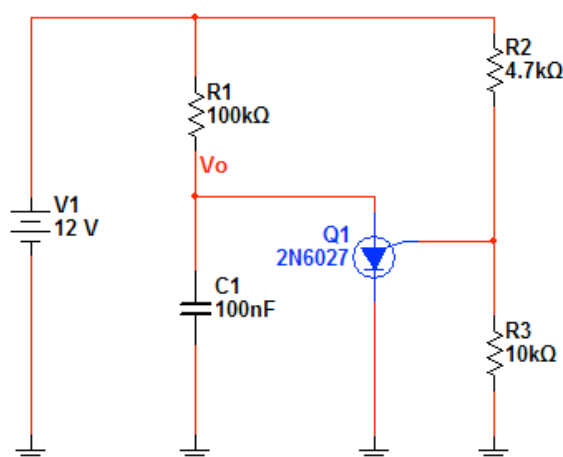


Figura 6 - Circuito oscilador com transistor Unijunção.

A forma de onda da tensão sobre o capacitor é mostrada na Figura 7 onde nota-se o

comportamento exponencial que representa o estágio de carga do mesmo. Como o componente empregado é um transistor Unijunção programável a descarga do capacitor ocorre instantaneamente, pois no circuito da Figura 6 não há resistência que limita a descarga do capacitor.

A frequência de oscilação obtida por simulação foi de 80,70 Hz.

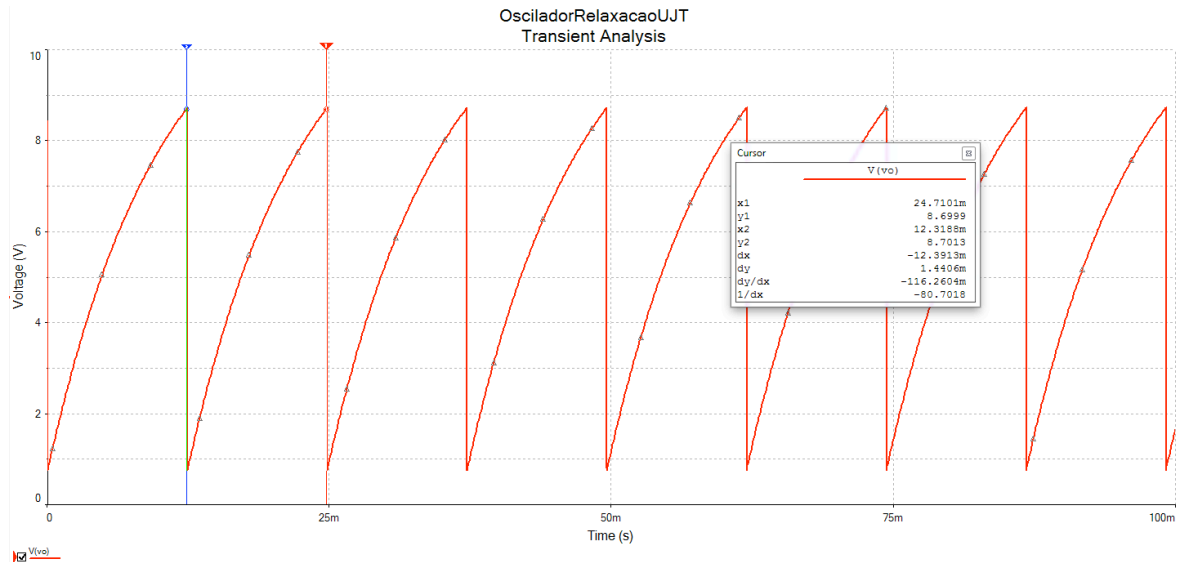


Figura 7 - Tensão sobre o capacitor do oscilador de relaxação.

Exercícios Específicos

Exercício 01:

Aplicando um potencial de 10 V entre os terminais de base 1 e base 2 do dispositivo e sabendo que a razão intrínseca de disparo é de 0,5 calcule a tensão de pico V_p .

Exercício 02:

Projete o oscilador de relaxação com UJT e considere que o mesmo tenha uma frequência de oscilação de 100 Hz. Considerar a tensão de alimentação do circuito de 20 V e a razão intrínseca de disparo de 0,55.

4 Oscilador de relaxação com Amplificador Operacional

Existe também a possibilidade de implementação dos osciladores de relaxação com amplificador operacional a partir da comparação de tensão entre a entrada inversora e não-inversora. O esquema do circuito oscilador de relaxação com amplificador operacional é ilustrado na Figura 8.

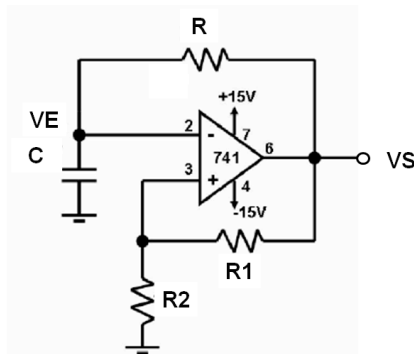


Figura 8 – Esquemático do circuito oscilador de relaxação com o amplificador operacional.

As funções dos componentes do circuito da Figura 8 são:

- R_1 e R_2 – Fornecer a tensão de referência para a entrada não-inversora do amplificador operacional;
- R - Limitar a tensão de carga no capacitor em um determinado tempo, proveniente da saída do circuito;
- C - Levar à entrada inversora a tensão, positiva ou negativa, necessária para sempre alterar a saída do amplificador operacional.

O funcionamento desse circuito pode ser explicado inicialmente com a definição dos resistores R_1 e R_2 , que tem como função a introdução da tensão de referência na entrada não-inversora do amplificador operacional. Através da equação descrita abaixo, pode-se definir qual será a tensão de referência na entrada não-inversora e também calcular a frequência de oscilação.

$$B = \frac{R_2}{R_1 + R_2} .$$

Tendo o valor definido de B e propondo um valor para saída V_S , pode-se saber o valor da tensão de referência na entrada não inversora do amplificador operacional, conforme o exemplo descrito a seguir.

Considerando:

$$R_1 = 2 \text{ k}\Omega;$$

$$R_2 = 20 \text{ k}\Omega;$$

$$B = 0,909.$$

Para $V_S = 14 \text{ V}$:

$$V_+ = 14 \cdot 0,909 = 12,72 \text{ V} .$$

Enquanto na entrada não-inversora é definida uma tensão de referência, na entrada inversora o resistor R promoverá um aumento de tensão no capacitor C, que se carregará até atingir o valor de referência V_+ da entrada não-inversora. Como consequência disso, o valor de tensão da saída V_S inverterá para um referencial oposto do anterior, ou seja, nesse caso a tensão V_S que era positiva agora ficará negativa. Quando o valor de referência V_+ da entrada não-inversora possuir sinal negativo, o capacitor carregará com tensão negativa que deverá novamente inverter a tensão de saída para o sinal positivo. Esse processo sempre irá se repetir, definindo assim uma frequência de oscilação da saída V_S , que possuirá um sinal retangular, como mostra a Figura 9.

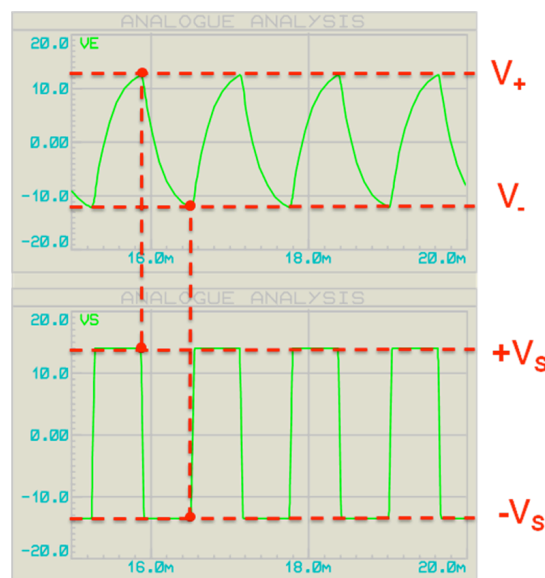


Figura 9 – Gráfico da relação das tensões de entrada e saída em função do tempo.

Para o cálculo da frequência de oscilação é levado em consideração o carregamento e descarregamento do capacitor C, de forma exponencial, no valor da tensão de referência V_+ , produzidos pela divisão de tensão entre R_1 e R_2 . A equação da frequência de oscilação é dada por:

$$F_o = \frac{1}{2 \cdot R \cdot C \cdot \ln\left(\frac{1+B}{1-B}\right)}$$

4.1 Simulação do Oscilador de Relaxação com AmpOp

O oscilador de relaxação com amplificador operacional foi simulado, conforme mostrado na Figura 10. Por sua vez, a forma de onda da tensão de saída é apresentada na Figura 11. Note que o sinal gerado por este oscilador é quadrado. Além disso, nesta figura também é mostrada a tensão no capacitor. Observe os intervalos de carga e descarga deste componente.

A frequência de oscilação do circuito simulado é dada por:

$$F_o = \frac{1}{2 \cdot R \cdot C \cdot \ln\left(\frac{1+B}{1-B}\right)} = \frac{1}{2 \cdot 2,2k \cdot 1\mu \cdot \ln\left(\frac{1+0,909}{1-0,909}\right)} = 82,14Hz .$$

A frequência de oscilação do circuito simulado foi de 73,5829 Hz.

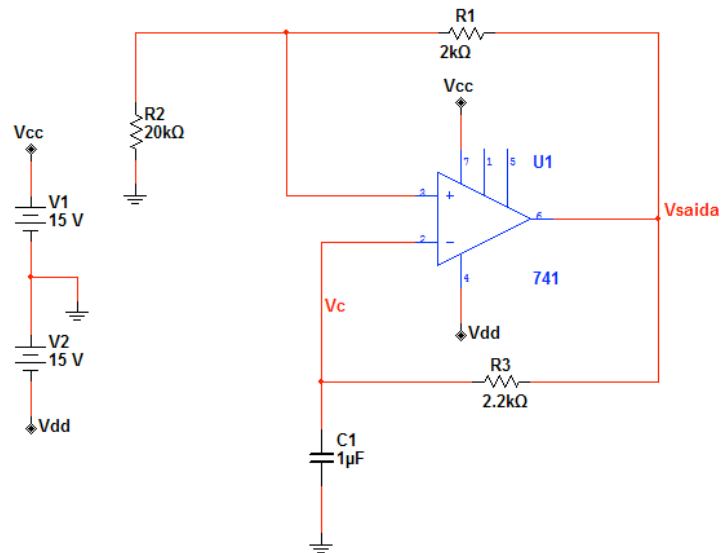


Figura 10 - Oscilador de relaxação com AmpOp.

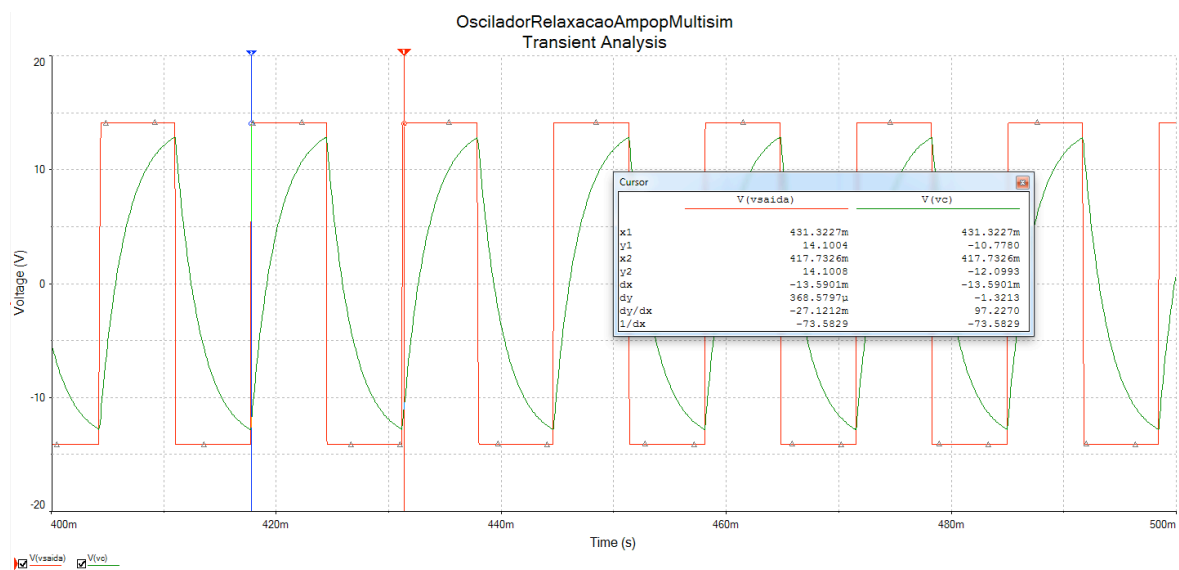


Figura 11 - Formas de onda da tensão de saída e no capacitor do oscilador de relaxação com amplificador operacional.

Exercícios Específicos

Exercício 03:

Projete um oscilador de relaxação com amplificador operacional que tenha frequência de oscilação de 100 kHz e amplitude no sinal de saída de aproximadamente 12 V.

Exercício 04:

Altere o oscilador de relaxação do exercício anterior para uma frequência de oscilação de 10 kHz e amplitude no sinal de saída de aproximadamente 14 V.

5 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] SEDRA, A. S. Microeletrônica. Volume 2. São Paulo: Makron Books, 1995.
- [6] UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ - *Campus Curitiba. Disciplina de Eletrônica Analógica - Professor: Fábio Rizental Coutinho.*
- [7] Edgar Zuim. Apostila de Transistores UJT e FET. Disponível eletronicamente: <http://pt.scribd.com/doc/32852779/Transistores-unijuncao-e-de-efeito-de-campo>. Acessado em 26/04/2012.
- [8] SOBRINHO, J. P. F.; Carvalho, J. A. D. Osciladores. Editora Érica. São Paulo, 1992.