

## Circuito Gerador de Onda Quadrada e Onda Triangular

### Introdução

A realimentação positiva é a responsável pelo aparecimento dos comparadores com realimentação conhecidos como disparadores Schmitt. Também é possível usar a realimentação positiva para construir osciladores, circuitos que geram um sinal de saída sem a necessidade de um sinal de entrada externo. No oscilador não há criação de energia; ele muda somente a energia CC dada pela fonte de alimentação CC do circuito por energia CA. No circuito gerador de onda quadrada esta transformação se dará através de um circuito RC que transforma energia CC em energia CA na forma de uma onda quadrada numa determinada frequência. No caso do gerador de onda triangular o que acontece é o seguinte: Um gerador de onda quadrada alimenta a entrada de um integrador para que na saída possa aparecer um onda triangular.

### Gerador de onda quadrada

O gerador de onda quadrada também é conhecido como oscilador de relaxação ou multivibrador astável. O circuito mostrado na figura 1.1 representa o gerador de onda quadrada e a figura 1.2 mostra a histerese correspondente do circuito. A região de atuação do gerador de onda quadrada é a parte interna da histerese. O circuito básico do gerador de onda quadrada é o disparador Schmitt inversor acrescentado de uma rede RC.

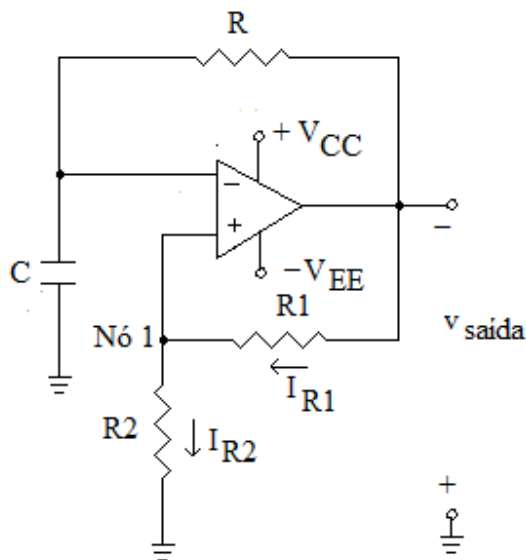


figura 1.1

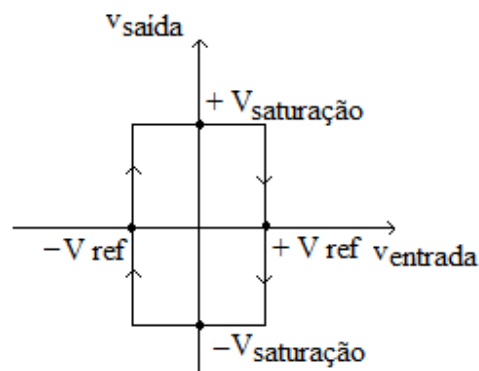


figura 1.2

O circuito funciona da seguinte maneira: Suponha que a saída esteja saturada positivamente (+V<sub>saturação</sub>). O capacitor se carregará exponencialmente em direção a +V<sub>saturação</sub>. Ele nunca atinge +V<sub>saturação</sub> porque a sua tensão atinge +V<sub>referência</sub>. A saída então muda para -V<sub>saturação</sub>. Agora a tensão negativa está sendo realimentada, assim o capacitor inverte o sentido de sua carga. Quando a tensão do capacitor atinge -V<sub>saturação</sub>, a saída muda novamente para +V<sub>saturação</sub>. Devido à carga e descargas contínuas do capacitor, a saída será uma onda retangular. As figuras 2.1 e 2.2 mostram as formas de onda sobre o capacitor e na saída do circuito.

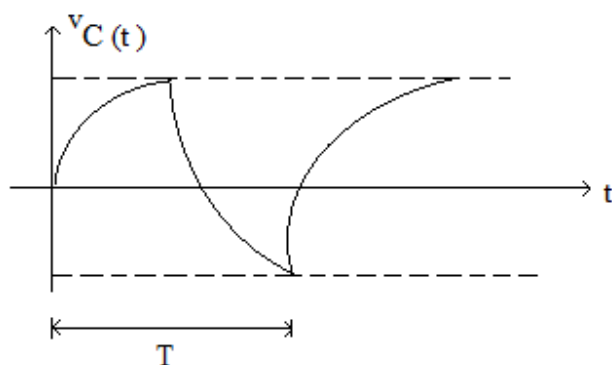


figura 2.1

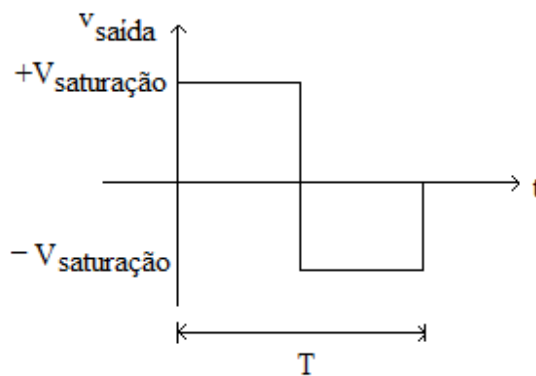


figura 2.2

Analisando a carga e a descarga exponencial do capacitor mostra-se que o período da onda retangular na saída do circuito toma a forma:

$$T = 2RC \ln [(1 + B) / (1 - B)]$$

onde: R é a resistência da rede RC

C é a capacitância do capacitor da rede RC

B é o fator de realimentação  $B = R_2 / (R_1 + R_2)$

A demonstração simplificada de T é feita da seguinte maneira:

A equação básica de chaveamento que se aplica a qualquer circuito RC é

$$v = v_{\text{inicial}} + (v_{\text{final}} - v_{\text{inicial}})(1 - e^{-t/RC})$$

onde: v é a tensão instantânea do capacitor

$v_{\text{inicial}}$  é a tensão inicial do capacitor

$v_{\text{final}}$  é a tensão a ser atingida

t é o tempo de carga do capacitor

RC é a constante de tempo do circuito

Supondo que a carga do capacitor começa com um valor inicial de  $-BV_{\text{saturação}}$  e termina com um valor  $+BV_{\text{saturação}}$ . A tensão a ser atingida para a tensão do capacitor é  $V_{\text{saturação}}$  e o tempo de carga do capacitor é a metade do período T/2.

Substituindo estas informações na equação acima tem-se:

$$BV_{\text{saturação}} = -BV_{\text{saturação}} + (V_{\text{saturação}} + BV_{\text{saturação}})(1 - e^{-T/2RC})$$

Fazendo as devidas manipulações na equação acima e obtendo a devida simplificação tem-se:

$$(2B) / (1 + B) = (1 - e^{-T/2RC})$$

Rearranjando os termos e tomando o antilog, a equação anterior torna-se:

$$T = 2RC \ln [(1 + B) / (1 - B)]$$

A amplitude do sinal de saída pode ser reduzida através da utilização de dois diodos zener idênticos colocados na saída do circuito. Na figura 3 se mostra a possibilidade de se alterar a faixa de

variação da frequência do sinal de saída ao se usar um potenciômetro em série com a resistência mínima que se deve colocar na rede RC. No caso, a resistência varia entre o valor  $R_{\text{mínimo}}$  e  $R_{\text{máximo}}$ . O valor de  $R_{\text{mínimo}}$  é obtido quando a resistência do potenciômetro for igual a zero e  $R_{\text{máximo}}$  se dá quando a resistência do potenciômetro for a máxima possível.

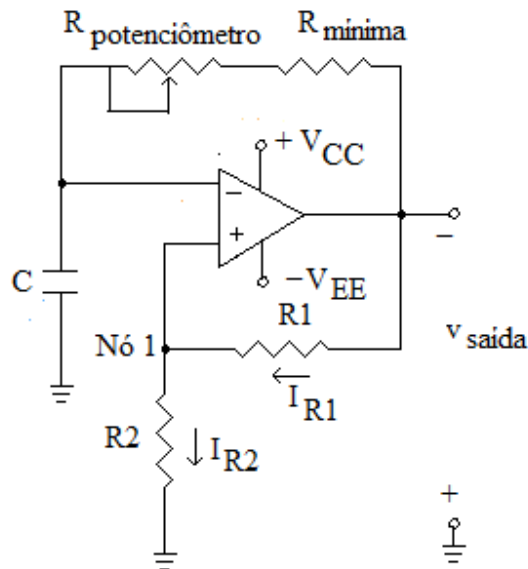


figura 3

Para evitar problemas de limitação ou distorção por taxa de inclinação (SR) quando se trabalha com frequências relativamente altas, deve-se utilizar amplificadores operacionais com taxa de inclinação adequados. Outra consideração prática a ser feita diz respeito ao capacitor  $C$  utilizado no circuito. Como a tensão no capacitor não é contínua, não se pode utilizar capacitores eletrolíticos.

### Gerador de onda triangular

O gerador de onda triangular é obtido ao se colocar em cascata um oscilador de relação e um integrador como é mostrado na figura 4.

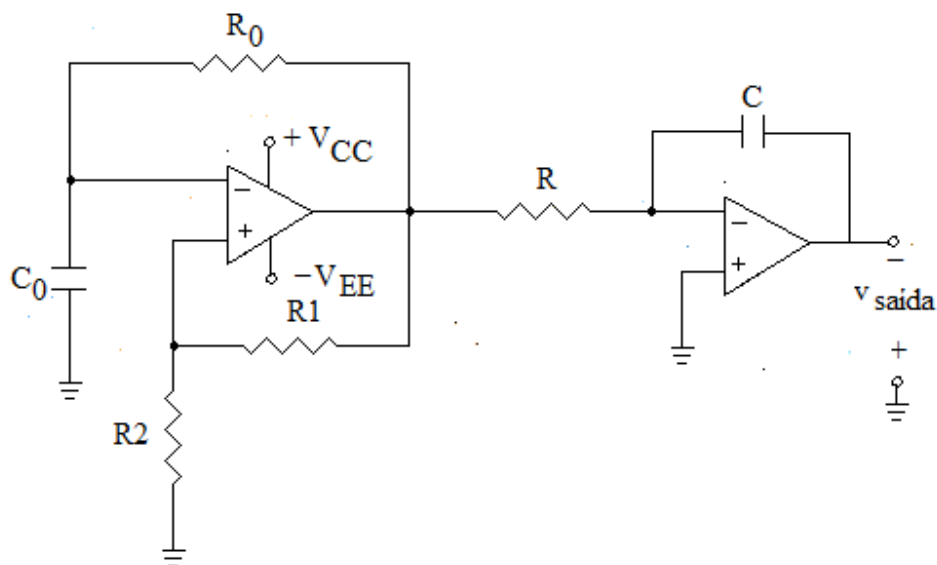


figura 4

A onda retangular oscila entre  $+V_{\text{saturação}}$  e  $-V_{\text{saturação}}$  e sua frequência é calculada a partir do período  $T$  do oscilador de relaxação com as devidas adaptações como é mostrado na expressão abaixo.

$$T = 2R_0C_0 \ln [(1 + B) / (1 - B)]$$

onde B é igual a  $R_2 / (R_1 + R_2)$

A onda triangular tem a mesma frequência obtida no gerador de onda quadrada. O valor de pico a pico da tensão da onda triangular é dada pela expressão:

$$V_{saída(pico\ a\ pico)} = [V_{entrada(pico\ a\ pico)}] / (4 f R C)$$

onde:

$V_{saída(pico\ a\ pico)}$  é a tensão de saída de pico a pico da onda triangular

$V_{entrada(pico\ a\ pico)}$  é a tensão de entrada pico a pico da onda retangular

f é a frequência do circuito gerado pelo oscilador de relaxação

R é a resistência do integrador

C é a capacitância do integrador

A figura 5 mostra uma outra proposta de geração de um sinal triangular. Um disparador Schmitt não inversor que alimenta um integrador. A saída do integrador é uma onda triangular. Esta onda triangular é realimentada e usada para acionar o disparador Schmitt. O primeiro estágio alimenta o segundo, e o segundo alimenta o primeiro.

Como o circuito entra em funcionamento pela primeira vez? Quando se alimenta pela primeira vez, a saída do disparador Schmitt deve ser alta ou baixa. Se for baixa, o integrador produzirá uma rampa ascendente; se for alta, produzirá uma rampa descendente. De qualquer modo, a forma de onda triangular teve início, e a realimentação positiva a mantém em andamento.

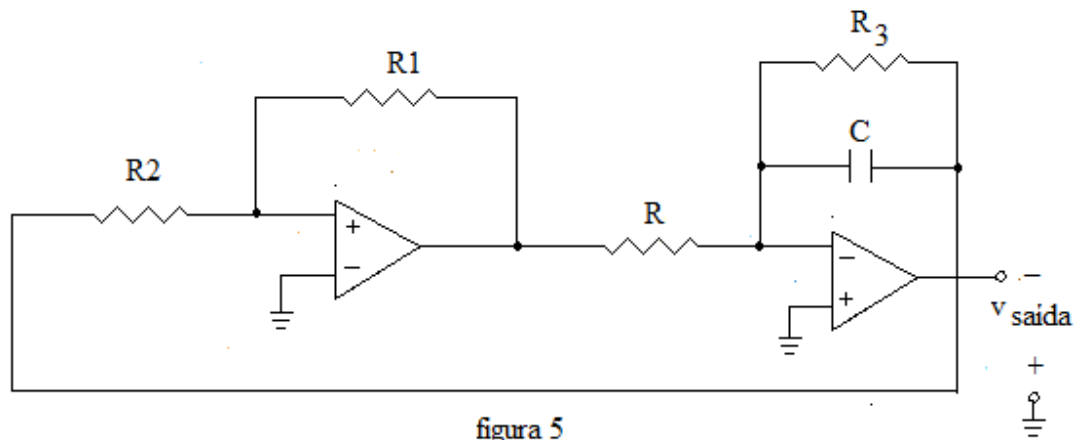


figura 5