UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE ENGENHARIA ELÉTRICA E INFORMÁTICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

LABORATÓRIO DE ELETRÔNICA

Experimento #5

GERADORES DE SINAIS

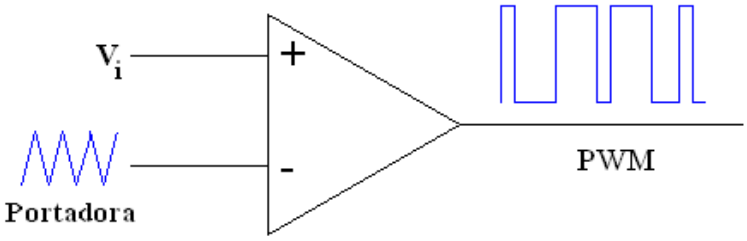
Gerador de onda quadrada e exponencial

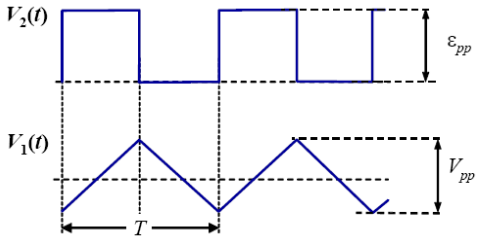
Gerador de onda triangular

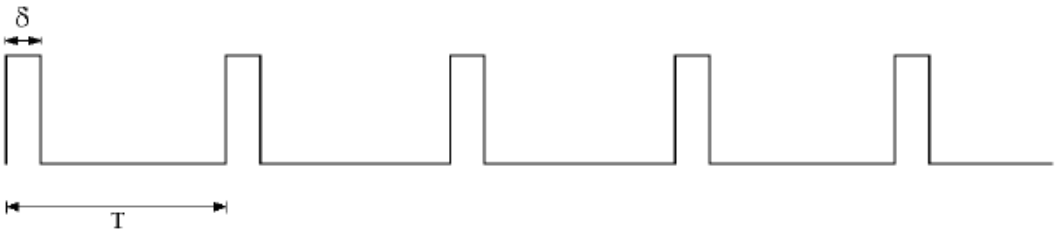
Gerador de rampa e pulso

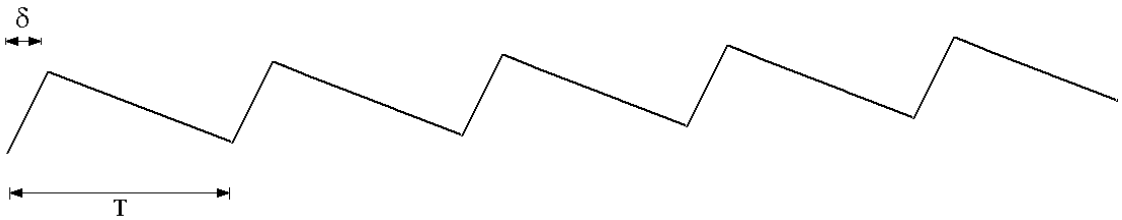
VCO (Voltage Controled Oscillator)

PLL (*PHASE LOCKED LOOP*)









EXPERIMENTO #5

Objetivos Gerais

Esta prática tem como objetivo a montagem e verificação da funcionalidade de um oscilador astável, gerador de pulso, gerador de onda triangular e rampa. Montagem de um gerador de onda quadrada, pulso, triangular e rampa crescente e decrescente. Estudo de um Oscilador Controlado por Tensão (VCO).

Objetivos Específicos

Após completar estas atividades de laboratório, o aluno deverá estar apto a:

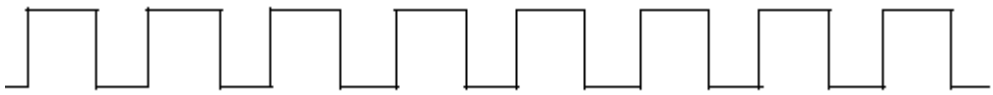
1. Projetar um oscilador de onda quadrada e triangular.
2. Projetar um gerador de pulso e rampa.
3. Projetar um multivibrador astável.

Questões Teóricas

(1) Explique o ***princípio de funcionamento do gerador de onda quadrada*** apresentado na montagem 1. Determine as expressões para os cálculos da frequência e da amplitude do sinal gerado a partir do circuito.
Sugestão: Sugira aplicações para os circuitos montados neste experimento usando sensores de temperatura, umidade, força, pressão e luminosidade.

MONTAGENS EXPERIMENTAIS

OSCILADOR DE ONDA QUADRADA E EXPONENCIAL



A figura 1 representa o circuito de um gerador de onda quadrada. Seu funcionamento é bastante simples, o tempo de comutação é feito através da realimentação negativa, onde o capacitor carrega-se exponencialmente até atingir a referência positiva $V_+ = \beta V_o$, neste ponto o capacitor começa a descarregar até atingir a referência negativa $V_- = -\beta V_o$. Veja ilustração a seguir.

O circuito da figura 1 não tem sinal de excitação na entrada, entretanto o circuito gera uma onda quadrada na saída. É um circuito comparador com realimentação positiva definindo duas tensões limiares (*threshold*) que dependem do valor de V_+, que é dada por:

$V_+ = \dfrac{R_1}{R_1 + R_2} V_o = \beta V_o$. Suponha que a saída V_o esteja inicialmente no nível V_{CC} (saturação positiva). O capacitor C se carrega exponencialmente em direção V_{CC}, mas nunca atinge este valor, pois ao atingir a tensão de limiar dada por βV_o, a diferença $(V_+ - V_-)$ fica negativa e neste momento a saída inverte a tensão para $-V_{CC}$. Desta maneira o capacitor inverte o sentido de sua carga. A tensão do capacitor diminui como mostra a figura 2. Quando a tensão no capacitor atinge o nível $-\beta V_{CC}$ a saída muda novamente para $+V_{CC}$. Desta maneira a saída é uma onda quadrada como mostrada na figura 2.

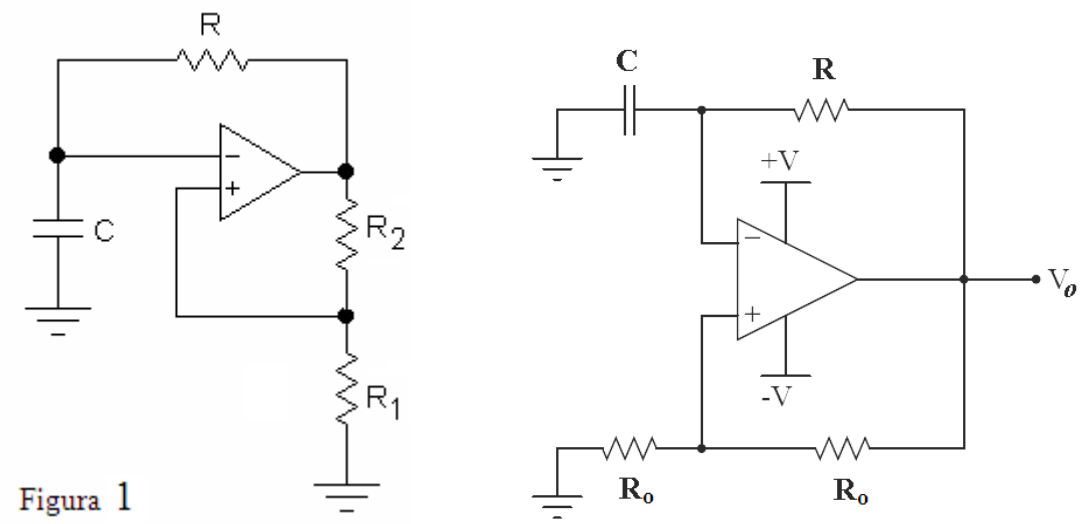
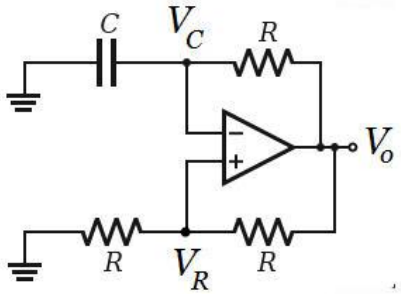
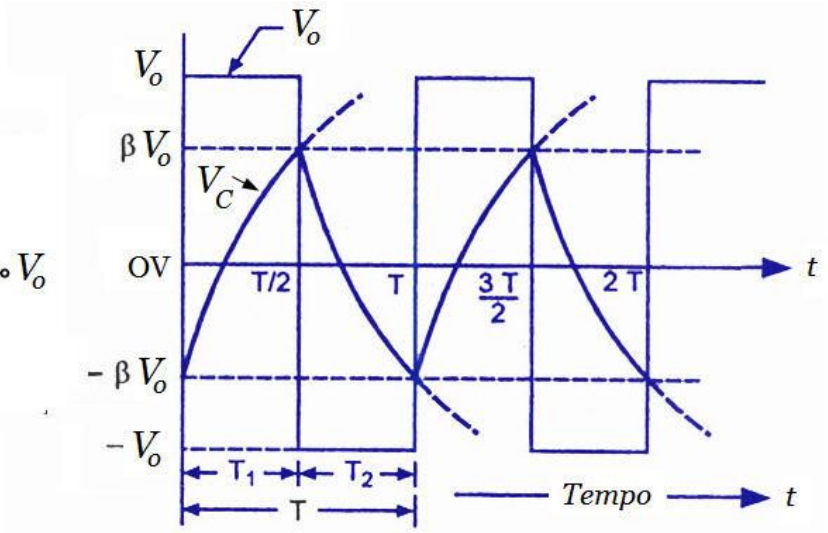


Figura 1

$$V_+ = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_o = \beta V_o$$



$$T = 2RC \ln\left(\frac{1+\beta}{1-\beta}\right)$$



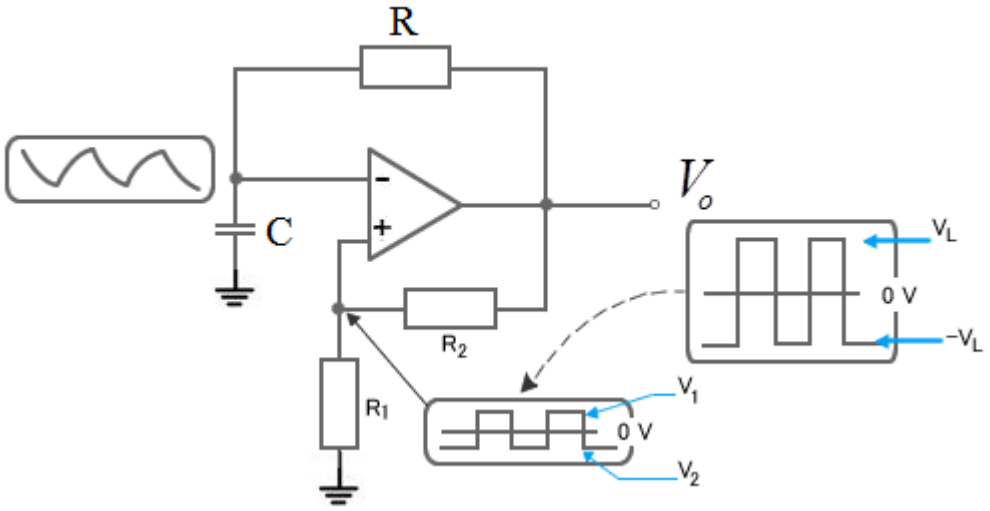


Figura 2

O período de oscilação T pode ser facilmente encontrado e é dado pela expressão: $T = 2RC \ln\left(\frac{1+\beta}{1-\beta}\right)$.

Monte o circuito da figura 1. Considere R_1=R_2=R=10kΩ e C=10nF. Conecte os canais do osciloscópio na saída e na entrada inversora do Amp-Op. Observe as formas de onda obtidas. Meça a frequência e compare com o valor teórico esperado.

Acrescente ao resistor R um potenciômetro R_P= 47kΩ, conforme mostrado na figura 3. Varie o potenciômetro para obter ondas quadradas com diferentes frequências. Substitua o potenciômetro por um ***fotoresistor*** e observe a variação de frequência em função da incidência de luz sobre o mesmo (***oscilador de onda quadrada com frequência dependente da luz***). A frequência do oscilador aumenta ou diminui com o aumento da intensidade luminosa? Observe experimentalmente e justifique teoricamente.

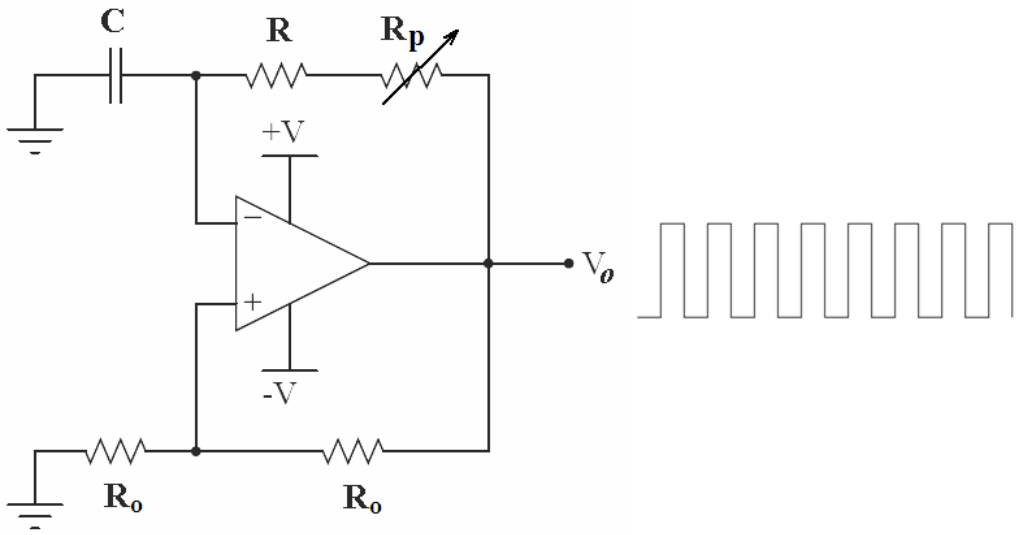


Figura 3

GERADOR DE PULSOS

O oscilador de onda quadrada pode ser modificado para funcionar como um gerador de pulsos. Neste caso o resistor R que determina a constante de tempo de carregamento e descarregamento com o capacitor C é substituído por dois resistores (R_1 e R_2) e diodos fornecendo caminhos distintos para carregar e descarregar o capacitor C, formando assim duas constantes de tempo, ou seja, $\tau_1 = R_1 C \; e \; \tau_2 = R_2 C$. Desta forma, na saída tem-se uma assimetria entre os tempos de saturação positiva e negativa do amplificador operacional, gerando pulsos conforme mostrado na figura 4.

Monte o circuito da figura 4. $R_1 = R_o$ =10kΩ, R_2=100kΩ e C=10nF.

Conecte os canais do osciloscópio na saída e na entrada inversora do Amp-Op. Observe as formas de ondas obtidas. Inverta simultaneamente as polaridades dos 2 diodos e observe novamente as formas de ondas obtidas. Compare e justifique com os valores obtidos antes da inversão de polaridade dos diodos.

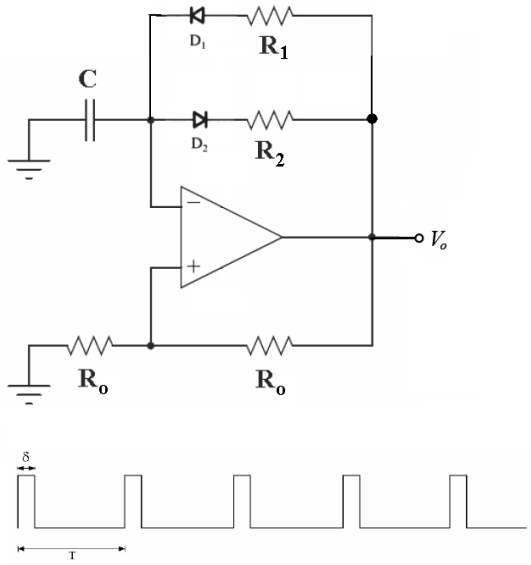


Figura 4

GERAÇÃO DE ONDA TRIANGULAR E RAMPA

A partir de uma onda quadrada ou pulso aplicado na entrada de um circuito integrador obtém-se uma onda triangular ou rampa, conforme ilustrado na Figura 5.

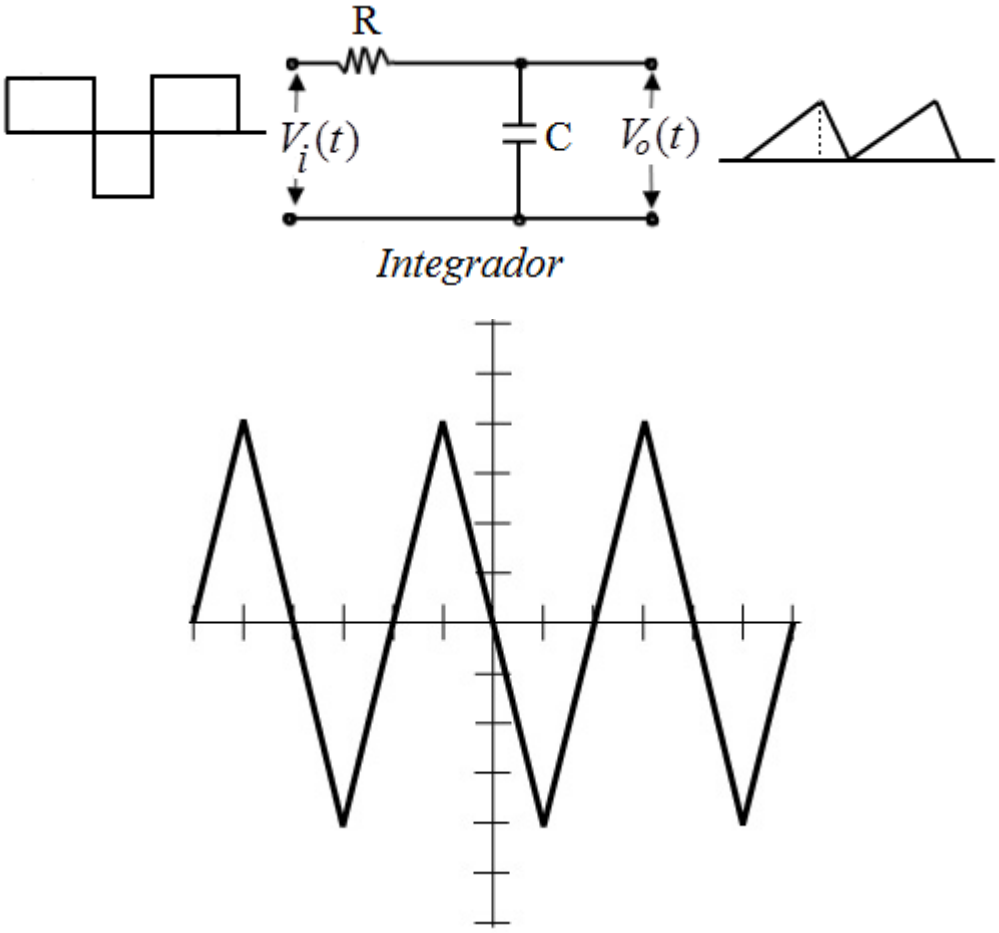


Figura 5

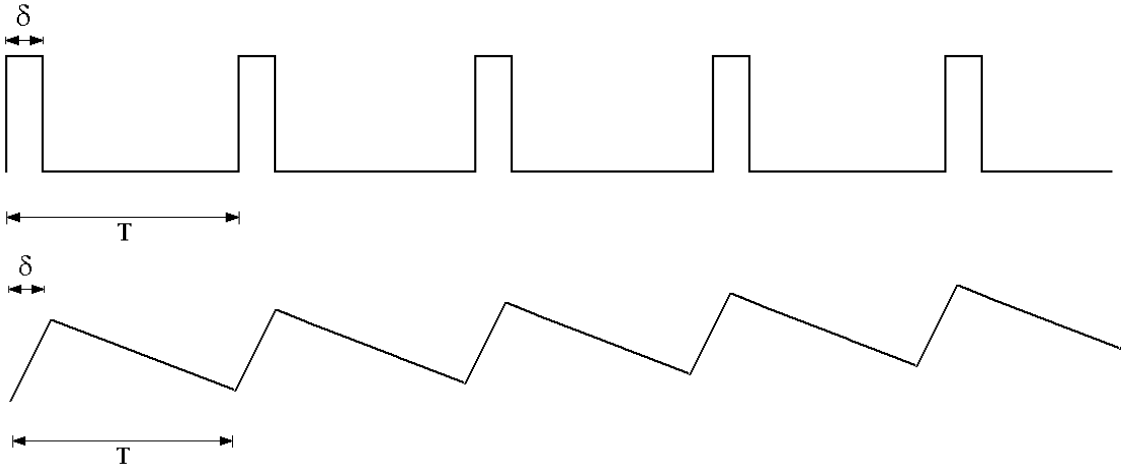


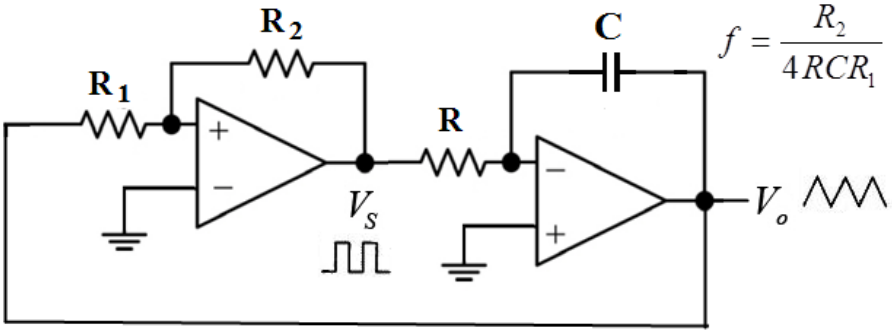
Figura 6

GERADOR DE ONDA QUADRADA E TRIANGULAR

(I) Monte o circuito da figura 7 e observe as tensões nos pontos V_S e V_o.

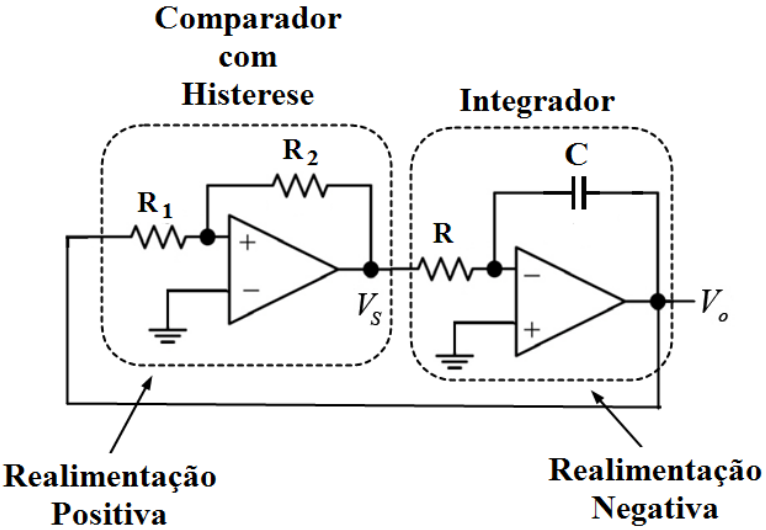
(II) Substitua R por um potenciômetro e observe a variação da frequência dos sinais.

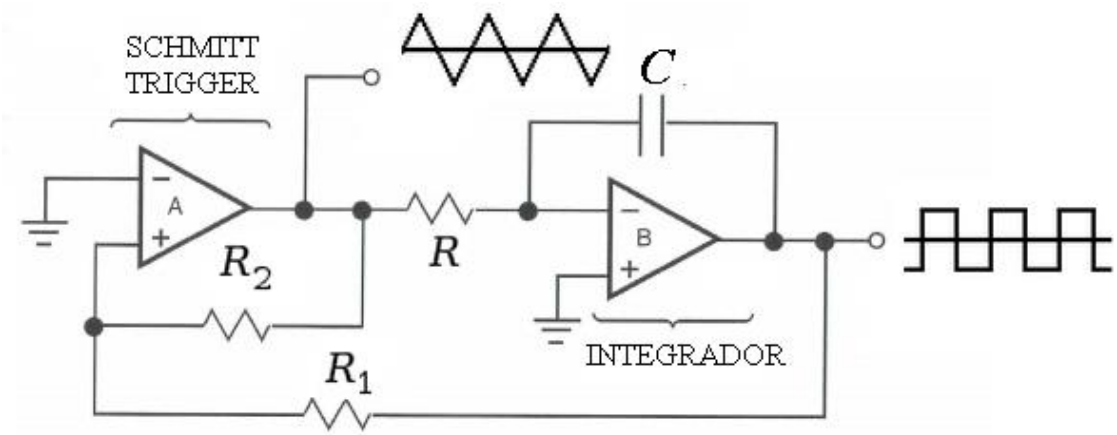
$$R_1 = 8k2 \quad R_2 = 10k\Omega \quad R = 10k\Omega \quad C = 10nF$$



$$f = \frac{R_2}{4RCR_1}$$

Figura 7





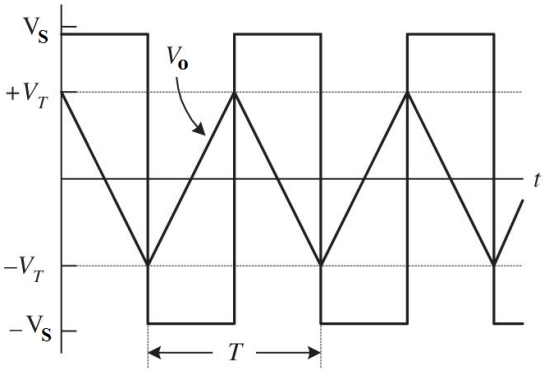


Figura 8

GERADOR DE RAMPA E PULSOS

(I) Monte o circuito da figura 9 e observe as tensões nos pontos V_S e V_o, enquanto varia o potenciômetro.

(II) Substitua R por um potenciômetro e observe a variação da frequência dos sinais.

$$R_1 = 8k2 \quad R_2 = 10k\Omega \quad R = 10k\Omega \quad C = 10nF$$

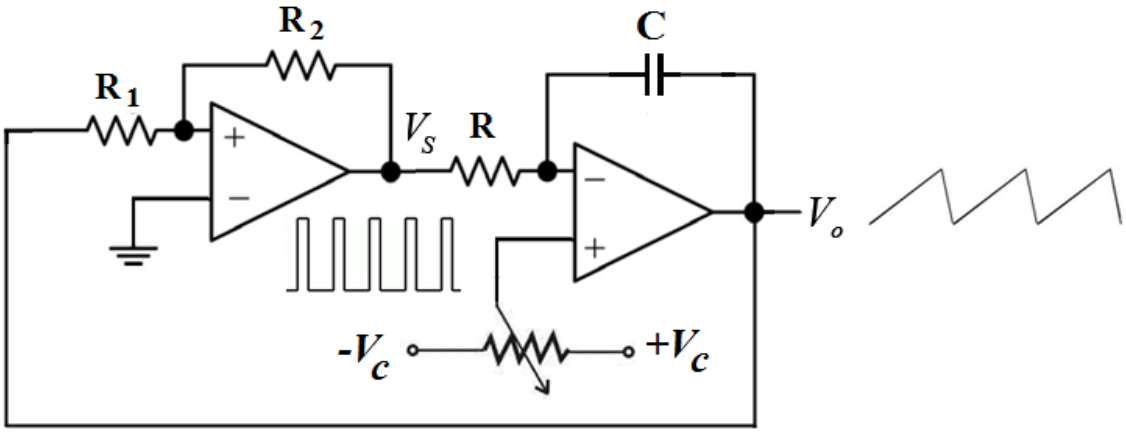
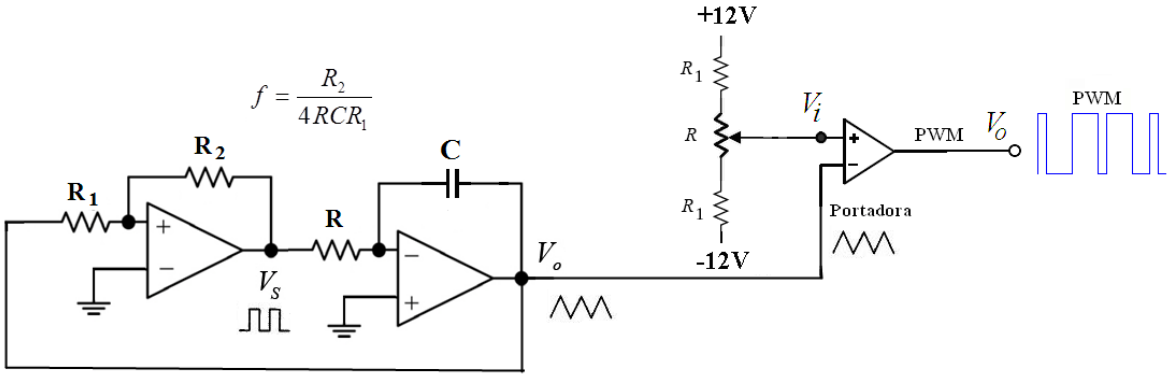
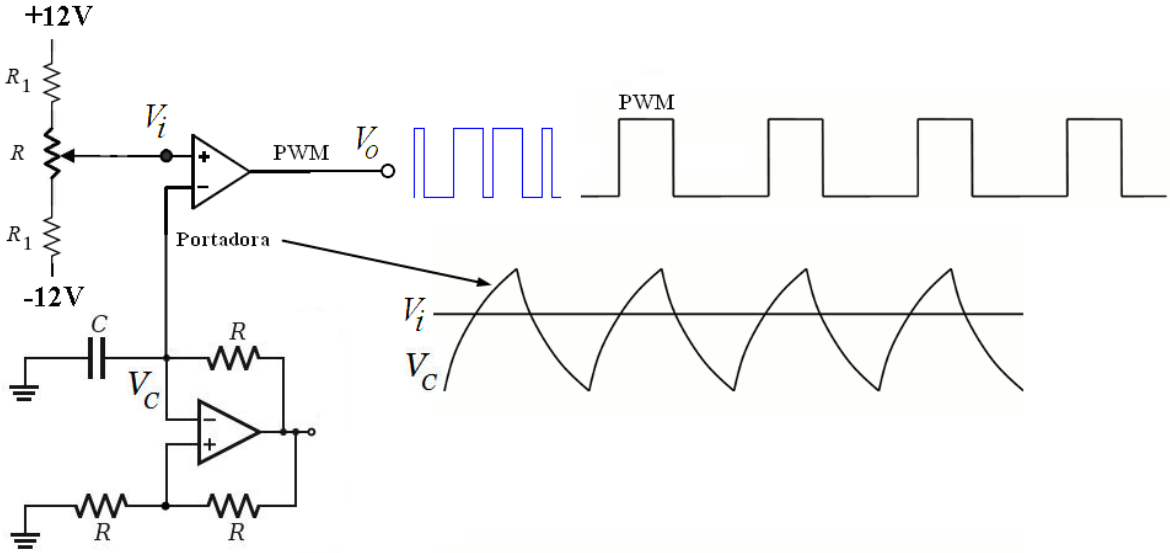


Figura 9

APLICAÇÃO

GERADOR DE PWM (Pulse Width Modulation)





OSCILADOR CONTROLADO POR TENSÃO (VCO)

Muitos equipamentos de transmissão e recepção de radio utilizam em seus projetos circuitos **PLL (Phase-Locked Loop)** na implementação de moduladores e demoduladores de FM, multiplicadores de frequência, sintetizadores de frequência e sincronização de dados. O PLL é constituído basicamente por um ***oscilador controlado por tensão*** - um oscilador cuja frequência é controlada pela entrada de tensão - VCO (Voltage Controlled Oscilator), um ***detetor de fase*** (comparador de fase) e um ***filtro passa-baixas***.

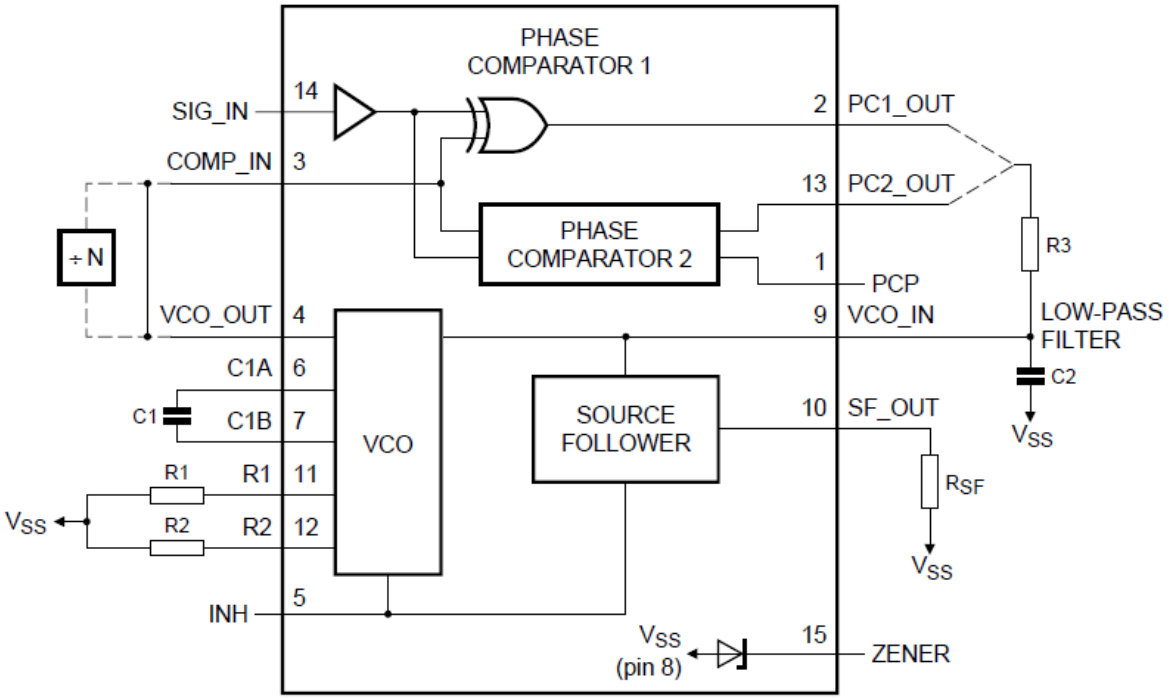
O VCO produz um sinal na sua saída cuja frequência é determinada pela tensão aplicada na entrada.

Osciladores Controlados por Tensão, referidos como VCOs (Voltage-Controlled Oscillator), são circuitos de grande importância em sistemas de comunicação por radiofrequência. O princípio básico do VCO é a sua frequência de saída, a qual é controlada por uma tensão de controle. Por apresentar uma frequência de saída que pode ser controlada a partir de uma tensão de controle, o VCO é frequentemente inserido dentro de um PLL (Phase-Locked Loop). O PLL é uma das principais topologias usadas na implementação de sintetizadores de frequência nos sistemas de comunicação por radiofrequência.

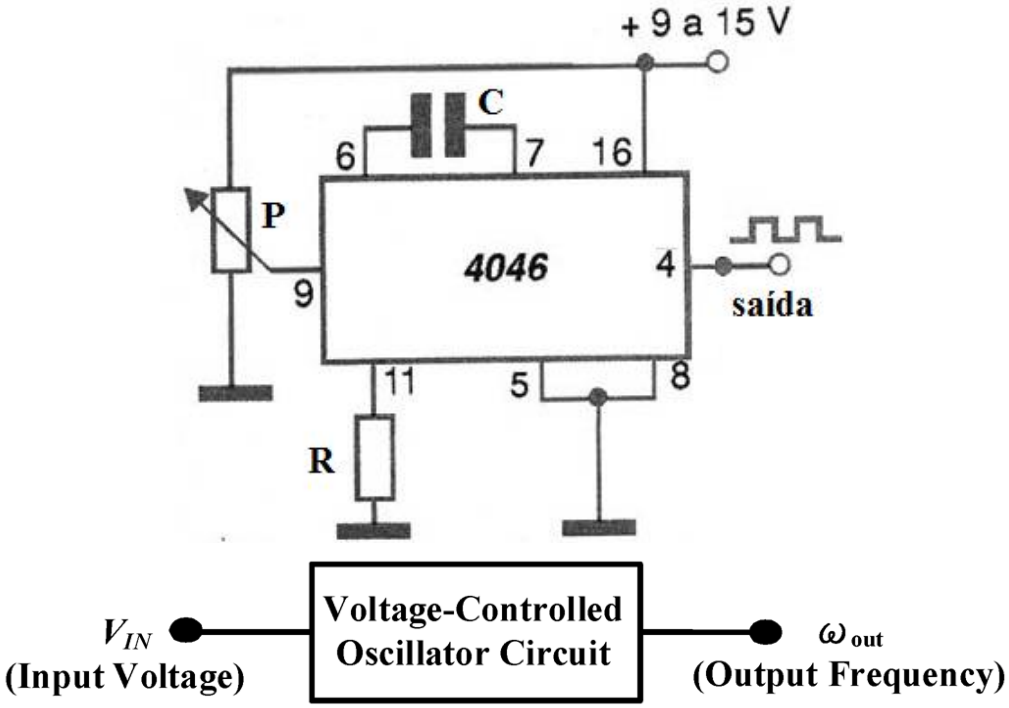
O circuito integrado CD4046 consiste de um **PLL** (**P**hase **L**ocked **L**oop) que possui internamente um Oscilador Controlado por Tensão - **VCO** (**V**oltage **C**ontrolled **O**scillator).

A tensão de controle deve ficar entre 0 e a tensão de alimentação.

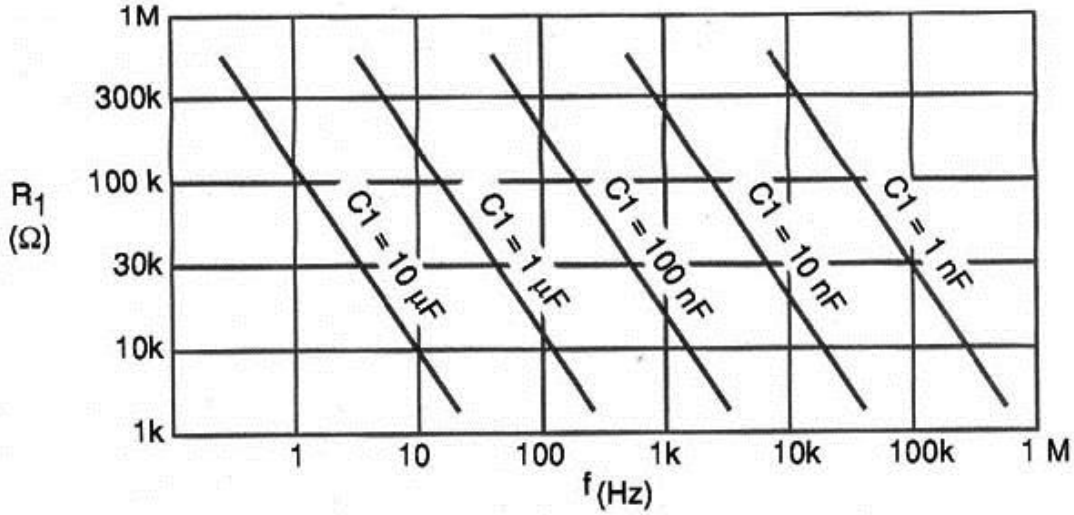
O capacitor C e R determinam a frequência básica do circuito.

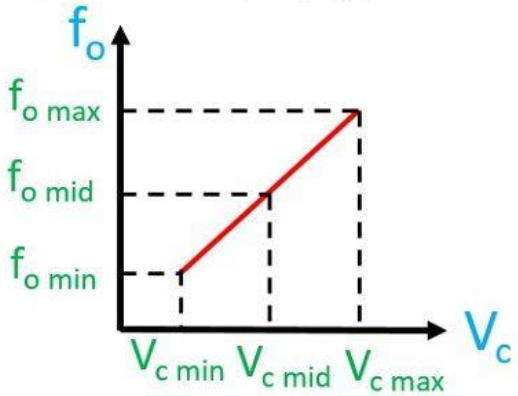


CD4046 – PHASE LOCKED LOOP



O circuito integrado CD4046 consiste num PLL que tem um oscilador controlado por tensão (**VCO** Voltage Controlled Oscillator). Na figura abaixo temos o modo de se utilizar este oscilador com um nomograma que permite selecionar o valor do capacitor e o valor do resistor para a frequência desejada.

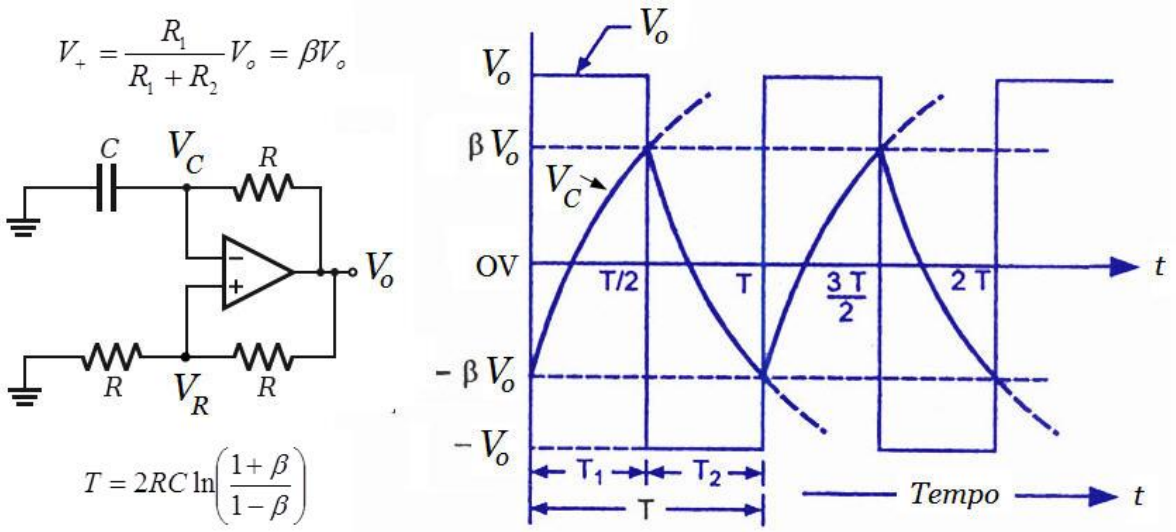




GUIA DAS MONTAGENS

Montagem 1 OSCILADOR DE ONDA QUADRADA E EXPONENCIAL

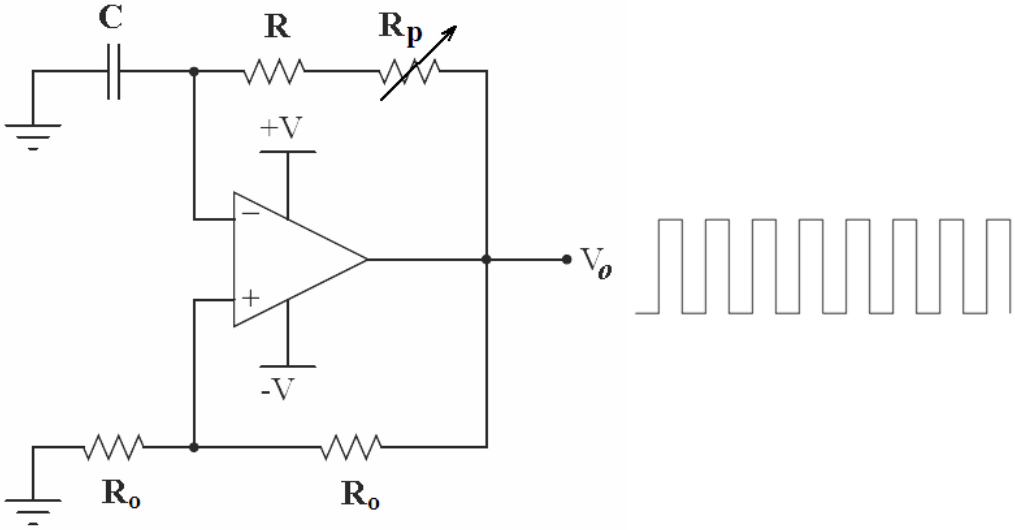
Meça a frequência e compare com o valor teórico esperado.
Observe com o osciloscópio o sinal na saída $\mathbf{V_o}$ e na entrada inversora $\mathbf{V_C}$..



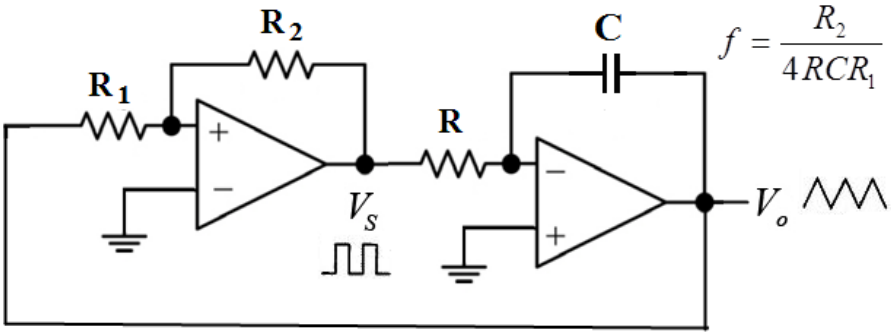
R_1=R_2=R=10kΩ e C=10nF

Montagem 2 OSCILADOR COM FREQUÊNCIA VARIÁVEL

Acrescente ao resistor R um potenciômetro R_P= 47kΩ, conforme mostrado na figura a seguir. Varie o potenciômetro para obter ondas quadradas com diferentes frequências. Substitua o potenciômetro por um ***fotoresistor*** e observe a variação de frequência em função da incidência de luz sobre o mesmo (***oscilador de onda quadrada com frequência dependente da luz***). A frequência do oscilador aumenta ou diminui com o aumento da intensidade luminosa? Observe experimentalmente e justifique teoricamente.



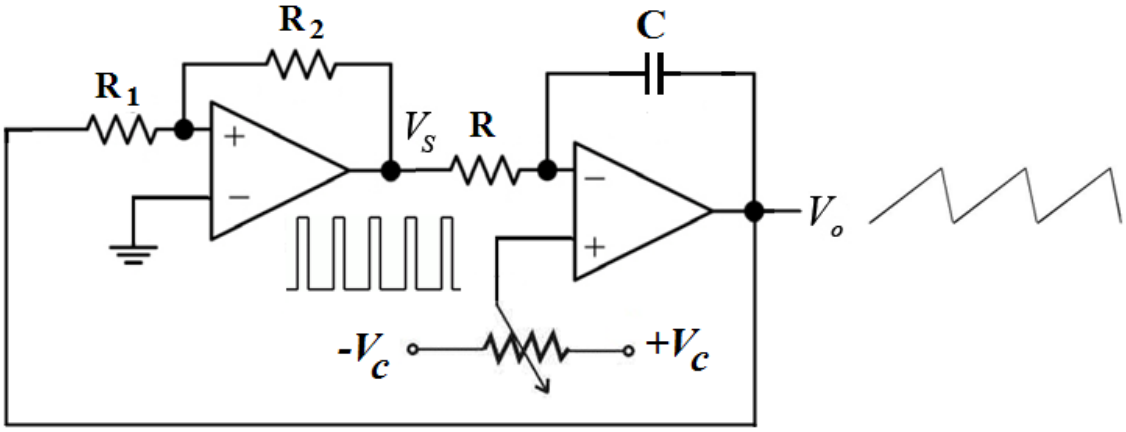
Montagem 3 GERADOR DE ONDA QUADRADA E TRIANGULAR



$$f = \frac{R_2}{4RCR_1}$$

$$R_1 = 8k2 \quad R_2 = 10k\Omega \quad R = 10k\Omega \quad C = 10nF$$

Montagem 4 GERADOR DE RAMPA E PULSO



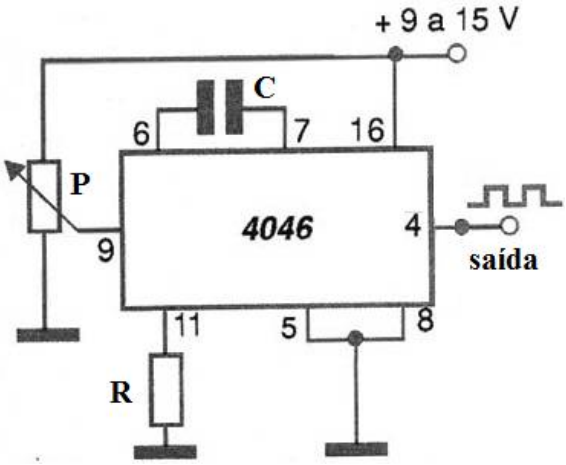
$$R_1 = 8k2 \quad R_2 = 10k\Omega \quad R = 10k\Omega \quad C = 10nF$$

Montagem 5 OSCILADOR CONTROLADO POR TENSÃO (VCO) MODULAÇÃO FM

Mantendo-se constante os valores do capacitor C e do resistor R, a frequência do sinal de saída dependerá apenas da tensão aplicada na entrada.

A tensão de controle deve ficar entre 0 e a tensão de alimentação.

O capacitor C e R determinam a frequência de operação do circuito.



C=10nF, R=10kΩ e P=47kΩ