Amplificadores operacionais como Osciladores

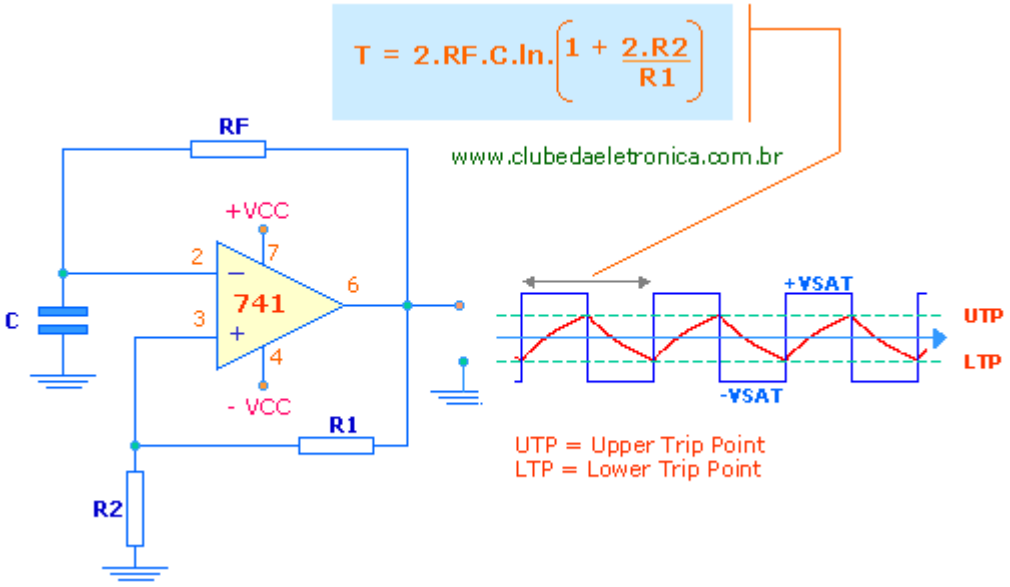
Em muitas aplicações é necessário gerar um sinal, que pode ter as mais diversas formas, retangular, senoidal, triangular, etc. Entretanto, o único sinal disponível é continuo da própria alimentação, daí há necessidade dos osciladores, estes são de grande importância em sistemas eletrônicos.

Os osciladores podem ser classificados como de relaxação, que produzem não lineares e senoidais que produzem sinais lineares. Estes ainda podem ser divididos nas mais diversas formas de circuitos, sendo que algumas serão detalhadas neste capítulo.

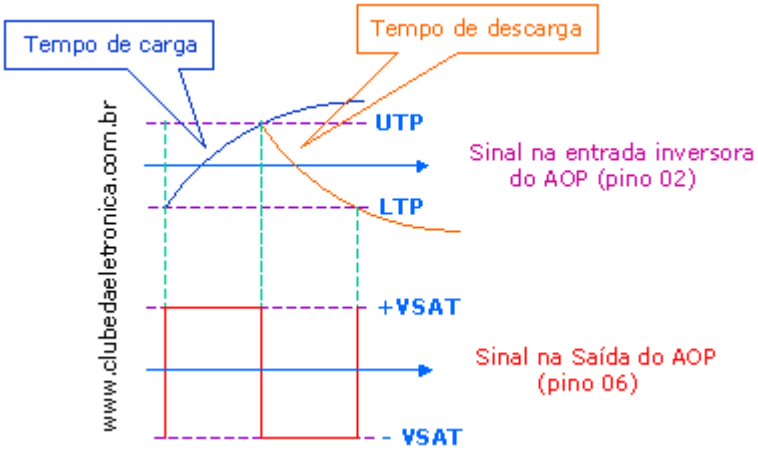
- Osciladores de relaxação
  - → Multivibradores astáveis
  - → Geradores de onda triangulares
  - → Geradores de onda dente de serra
  - → Etc.
- Osciladores senoidais
  - → Ponte de Wien
  - → Oscilador de quadratura
  - → Oscilador duplo T
  - → Oscilador Colpitt
  - → Etc.

Multivibrador astável

É um gerador de onda retangular, é utilizado para produzir pulsos na saída a partir de um sinal continuo, utilizado na alimentação. Este tipo de circuito é multo comum em circuitos digitais, onde são usados como "clock".



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 UTP, neste ponto o capacitor começa a descarregar até atingir a referência negativa LTP. Veja ilustração:



Observe que há uma semelhança com um comparador com histerese, onde o sinal de saída comuta quando o sinal de entrada encontra uma referência. Porém o sinal de entrada é fornecido pela carga e descarga do capacitor e as referências pelo divisor de tensão na entrada não inversora.

Ponto de comutação inferior

$$LTP = -V_{SAT} \cdot \left(\frac{R2}{R1 + R2} \right)$$

Ponto de comutação Superior

$$UTP = +V_{SAT} \cdot \left(\frac{R2}{R1 + R2} \right)$$

Exercícios

1- Se R1 = R2 = RF = 10kΩ e C = 10nF, qual o período e freqüência dos pulsos?

Solução:

T = 2.RF.C.ln[1 + (2.R2÷R1)]
T = 2.10kΩ.10nF.ln[1 + (2.10kΩ÷10kΩ)]
T = 219,72μs

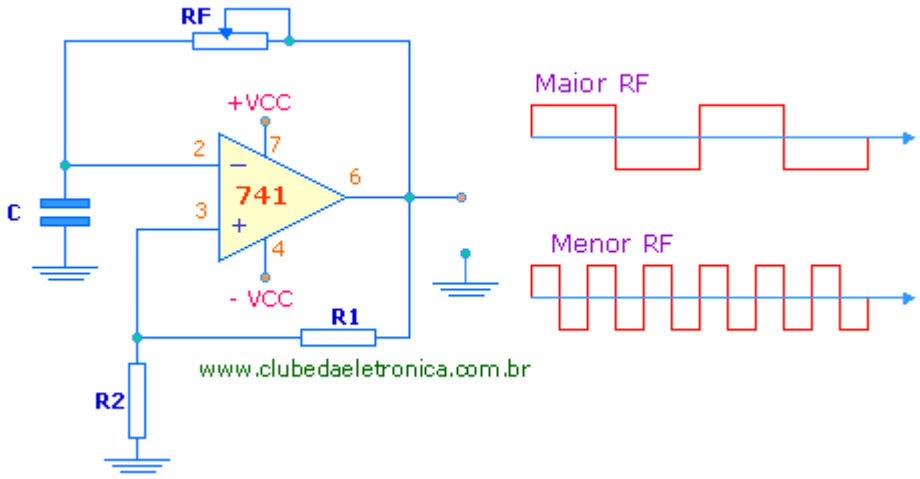
Logo,

F = 1 ÷ T
F = 1 ÷ 219,72s
F = 4551,20Hz

Necessidades práticas

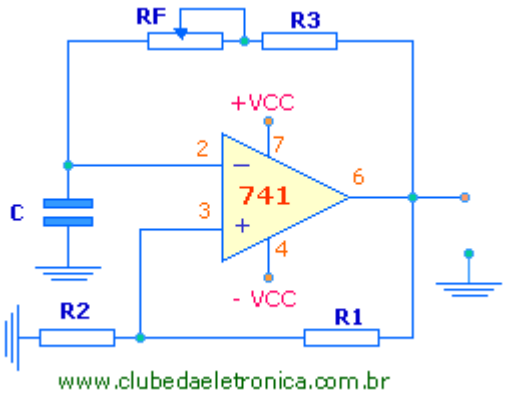
Multivibrador astável com freqüência variável

É possível variar a freqüência do circuito acima simplesmente substituindo RF por um potenciômetro, assim quanto maior RF maior a largura do pulso.



Exercícios

2- Implementando um potenciômetro RF de 100kΩ e um resistor R3 de 10kΩ. Pedem-se a máxima e mínima freqüência gerada. Dados: R1 = R2 = 10kΩ e C = 100μF.



Solução 01: freqüência máxima

T = 2.RF.C.ln[1 + (2.R2÷R1)]
T = 2.10kΩ.100μF.ln[1 + (2.10kΩ÷10kΩ)]
T = 2,2s

Logo;

F = 1 ÷ T
F = 1 ÷ 2,2s
F = 0,45Hz

Solução 02: freqüência mínima

T = 2.RF.C.ln[1 + (2.R2÷R1)]
T = 2.110kΩ.100μF.ln[1 + (2.10kΩ÷10kΩ)]
T = 24,2s

Logo;

F = 1 ÷ T
F = 1 ÷ 24,2s
F = 41,32mHz

3- Ainda em relação ao exercício 2, quais os valores de UTP e LTP? Use VCC= ±10V

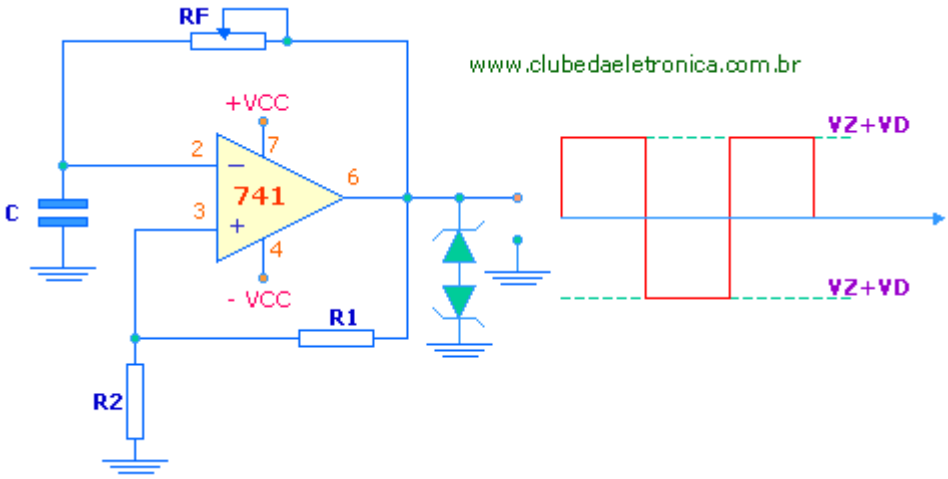
Solução:

UTP = +V_{SAT}.[R2÷ (R1+R2)]
UTP = +10V.[10kΩ÷ (10kΩ+10kΩ)]
UTP = +5V

LTP = -V_{SAT}.[R2÷ (R1+R2)]
LTP = -10V.[10kΩ÷ (10kΩ+10kΩ)]
LTP = -5V

Definindo limites à saída antes da saturação do AOP

Utilizando diodos Zener pode-se definir amplitudes diferentes das tensões de saturação, neste caso a amplitude será dada por VZ + VD.



Exercícios

4- Adicionando dois diodos zener 1N4531A na saída, qual a amplitude do sinal? Use VCC= ±10V

Solução:

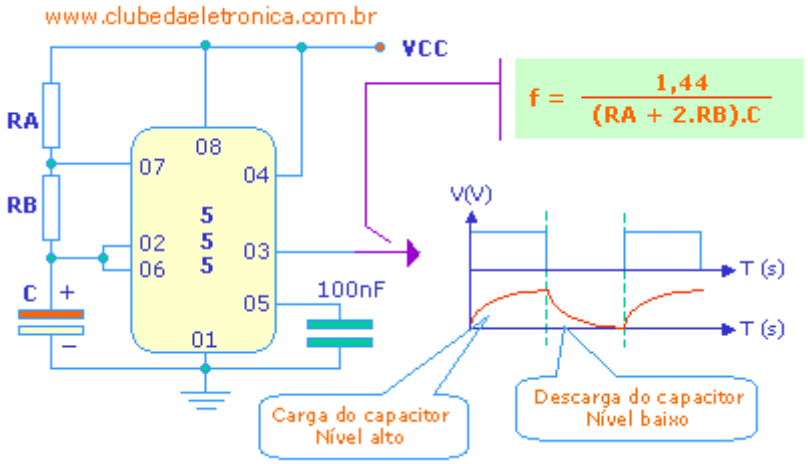
Sabendo-se que a tensão reversa do diodo 1N4531A é de 4,3V e direta de 0,7V, tem-se:

+V_{PICO} = +(VZ + VD)
+V_{PICO} = +(4,3V + 0,7V)
+V_{PICO} = 5V

-V_{PICO} = -(VZ + VD)
-V_{PICO} = (4,3V + 0,7V)
-V_{PICO} = -5V

Circuito Integrado dedicado

A necessidade de obter sinais retangulares levarem fabricantes de circuitos integrados a produzirem circuitos integrados dedicados. O exemplo mais comum é o circuito integrado 555 introduzido pela Signetics em 1970.



Exercícios

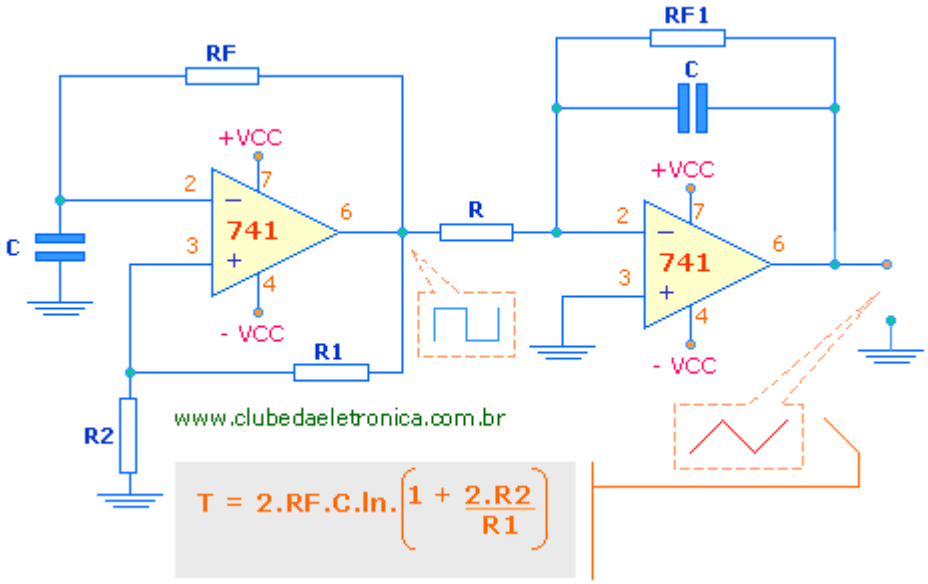
5- Se RA = RB = 10kΩ e C = 48μF, qual a freqüência de oscilação?

Solução:

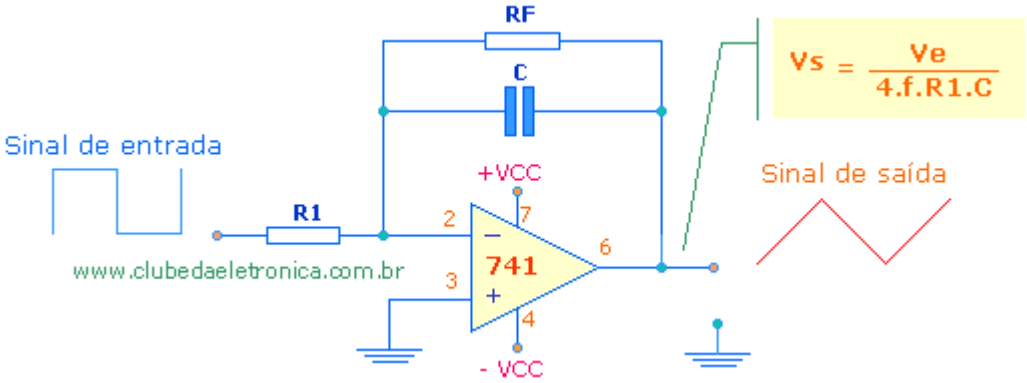
F = 1,44 ÷ [(RA+ 2.RB).C]
F = 1,44 ÷ [(10kΩ+ 2.10kΩ).48μF]
F = 1Hz

Gerando sinais triangulares

Quando um sinal constante positivo é aplicado em um capacitor ele produz uma rampa linear descendente, se o sinal for constante e negativo a rampa será ascendente. Essa inversão ocorre devido ao circuito integrador inversor que é colocado na saída de um gerador de onda quadrada.

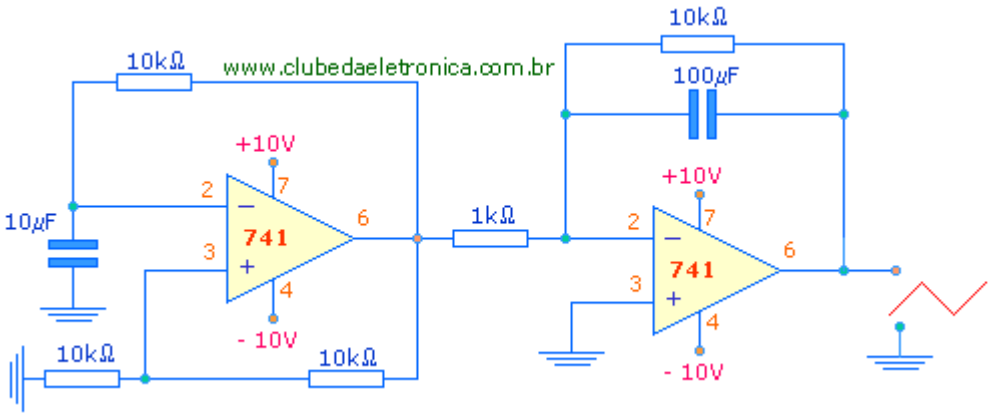


A freqüência de oscilação (sinal triangular) de saída depende da oscilação de entrada (sinal retangular), ou seja, a freqüência é a mesma. A amplitude (pico a pico) do sinal de saída pode ser calculado por:



Exercícios

6- Qual a tensão (pico a pico) de saída?



Solução:

T = 2.RF.C.ln[1 + (2.R2÷R1)]
T = 2.10kΩ.10µF.ln[1 + (2.10kΩ÷10kΩ)]
T = 219,72ms

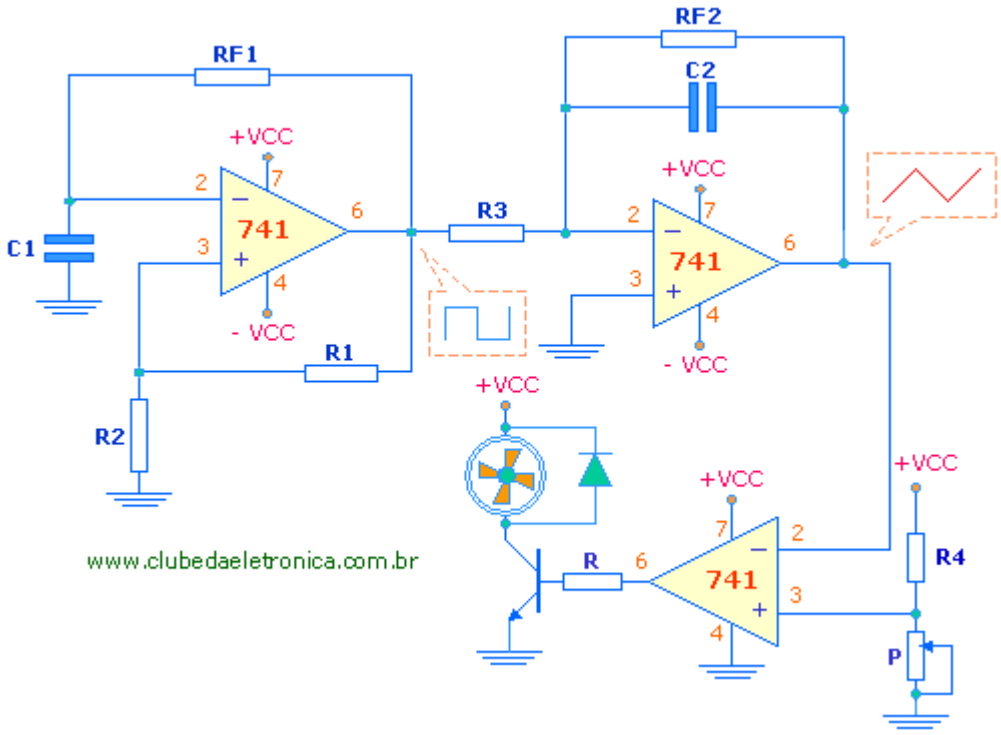
Logo,

F = 1 ÷ T
F = 1 ÷ 219,72ms
F = 4,55Hz

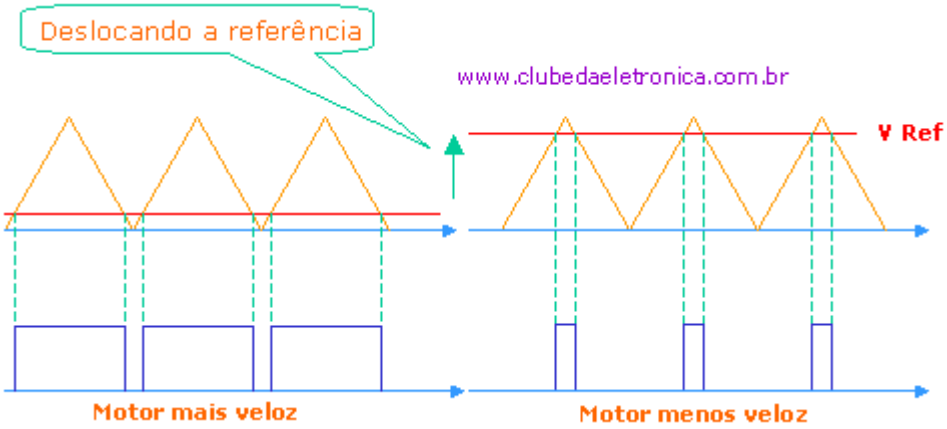
Vs = Ve ÷ (4.f.R.C)
Vs = 10V ÷ (4.4,55Hz.1kΩ.100µF)
Vs = 5,49 V

Modulação por largura de pulso

As ondas triangulares são usadas como freqüência intermediária de controle na modulação PWM principalmente em acionamentos elétricos.



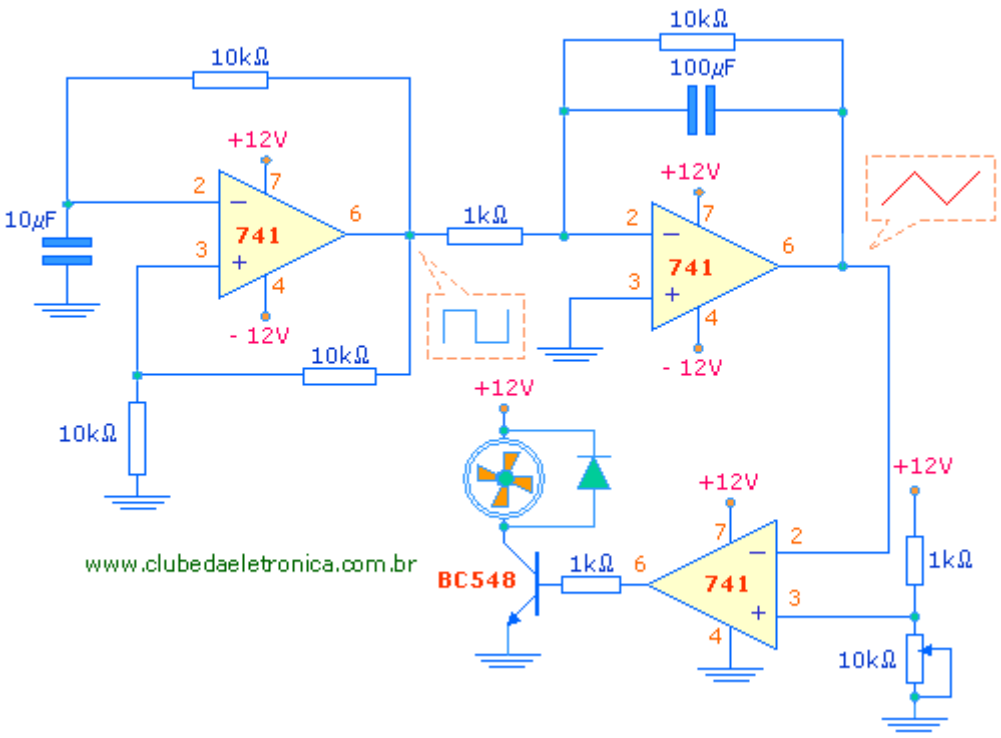
O circuito é capaz de controlar a velocidade da ventoinha modulando a largura do pulso. O circuito é formado por um gerador de onda quadrada, um integrador que converte a onda quadrada em triangular, um comparador com referência variável e um driver de potência.



Exercícios

7- Para o circuito abaixo, pedem-se:

a) Qual a freqüência de oscilação?
b) Qual a tensão (pico a pico) na saída do primeiro oscilador?
c) Qual a tensão de saída triangular (pico a pico) do circuito integrador?
d) Qual o período de oscilação do sinal triangular?
e) Qual a tensão de referência se o potenciômetro estiver ajustado em 5kΩ?



Solução (a)

T = 2.RF.C.ln[1 + (2.R2÷R1)]
T = 2.10kΩ.10µF.ln[1 + (2.10kΩ÷10kΩ)]
T = 219,72ms

Portanto a freqüência é:

F = 1 ÷ T
F = 1 ÷ 219,72ms
F = 4,55Hz

Solução (b)

A tensão de saída é idealmente a tensão de alimentação, no caso ±12V

Solução (c)
Vs = Ve ÷ (4.f.R.C)
Vs = 12V ÷ (4.4,55Hz.1kΩ.100µF)
Vs = 6,59 V

Solução (d)

O período do sinal triangular é o mesmo do sinal retangular presente na entrada, assim,

T = 219,72ms

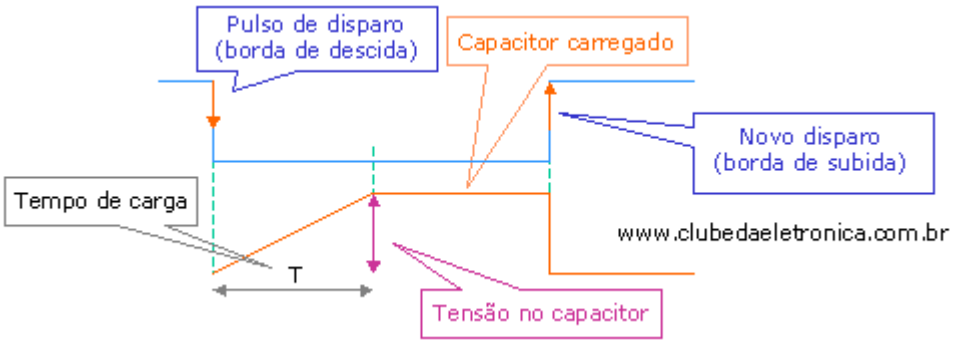
Solução (d)

V_{REF} = Pot.VCC ÷ (Pot + R)
V_{REF} = 5kΩ.12V ÷ (5kΩ + 10kΩ)
V_{REF} = 4V

Gerando sinais dente de serra

Os sinais dente de serra são usados como base de tempo na geração de sinais, onde as rampas ascendentes demonstram a velocidade com que a tensão elétrica aumenta em função do tempo, obviamente há um limite estabelecido pela saturação do circuito, neste momento deverá haver um retorno brusco a fim de que o ciclo recomece. Os sinais dente de serra têm aplicação decisiva nos circuitos de varredura de osciloscópios e TVs.

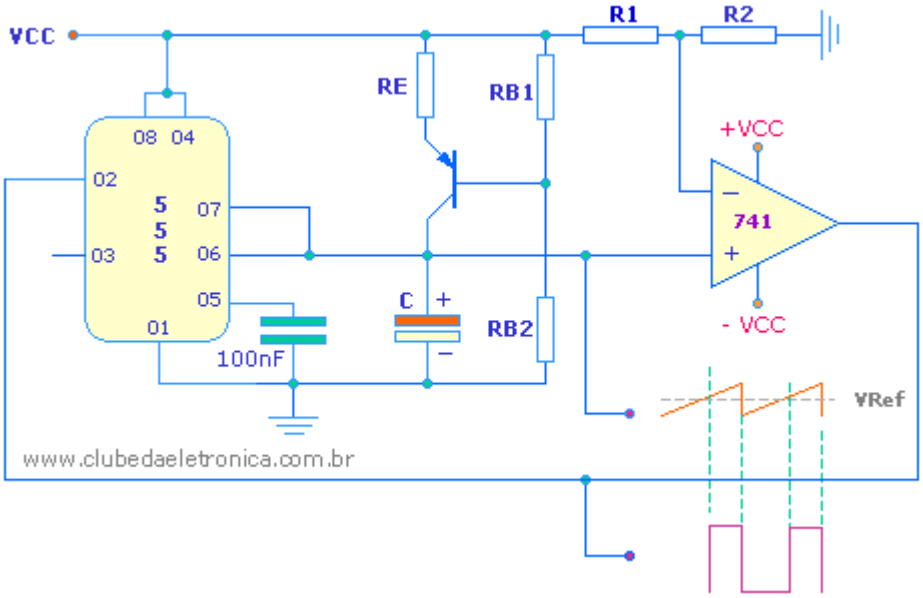
Seu funcionamento é bastante simples. O transistor opera como uma fonte de corrente constante que começa a carregar o capacitor no momento em que um pulso negativo for aplicado ao disparo do 555.



Sabendo-se que **V = Q ÷ C** e que **IE = Q ÷ T**, pode-se facilmente deduzir a relação tensão tempo ou a taxa de inclinação da rampa.

Taxa de inclinação = IE ÷ C

O comparador colocado na saída tem a função de gerar o disparo quando a referência for alcançada. A Rampa também pode ser usada como base para um sinal PWM, onde variando R2 varia-se a largura do pulso.



Exercícios

8- Calcule a taxa de inclinação da rampa gerada se VCC = 15V, RE = 20kΩ, RB1 = 5kΩ, RB2 = 10kΩ e C =100μF.

Solução:

VB = RB2.VCC ÷ (RB2 + RB1)
VB = 10kΩ.15V ÷ (10kΩ + 5kΩ)
VB = 10V

Logo,

VE = VB + VBE (transistor PNP)
VE = 10V + 0,7V
VE = 10,7V

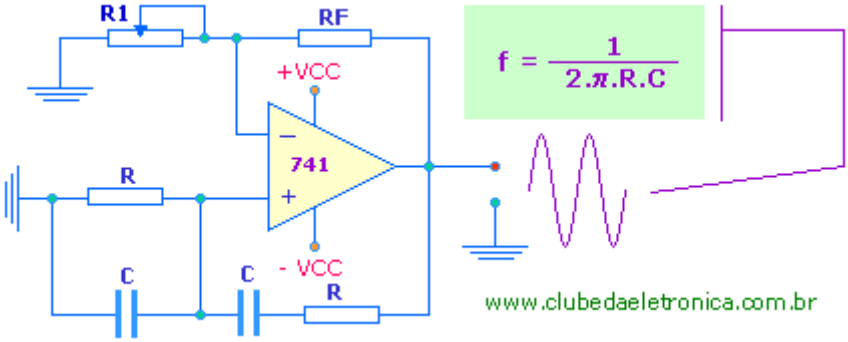
VRE = VCC – VE
VRE = 15V – 10,7V
VRE = 4,3V

IE = VRE ÷ RE
IE = 4,3V ÷ 20kΩ
IE = 215μA

Taxa de inclinação = IE ÷
Taxa de inclinação = 215μA ÷ 100μF
Taxa de inclinação = 2,15V/s

Ponte de Wien

Se um sinal senoidal em baixas freqüências for o desejado o projetista poderá recorrer a um clássico entre os osciladores, trata-se da ponte de Wien, capaz de fornecer um sinal senoidal a partir de um sinal DC com baixíssima distorção.



Uma condição é essencial para que o circuito oscile, o ganho deve ser 3. Assim,

$$Av = 1 + (RF \div R1)$$

O circuito é de difícil implementação, pois opera no limite da estabilidade, daí a necessidade do resistor R1 (variável), para ajuste do ponto de oscilação.

Exercícios

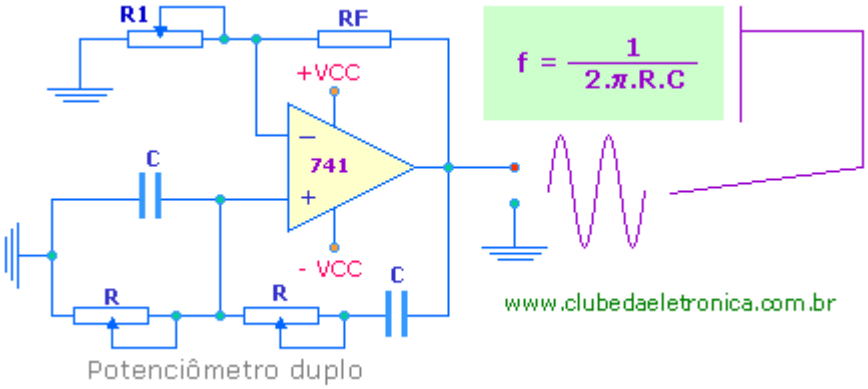
9- Se R = 10kΩ e C = 10nF, qual a freqüência de oscilação?

Solução

F = 1 ÷ 2.π.R.C
F = 1 ÷ 2.π.10kΩ.10nF
F = 1592,36Hz *(Os resistores RF e R1 são de 10kΩ sendo R1 ajustável)*

Variando a freqüência

Pode-se variar a freqüência de oscilação variando a resistência com um potenciômetro duplo.



Exercícios

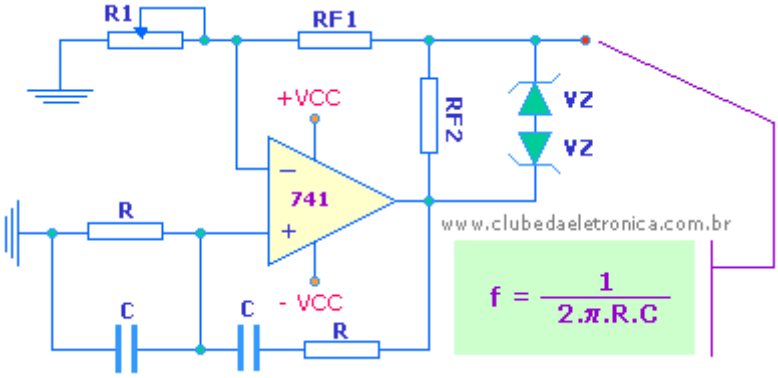
10- Se R(variável) = 10kΩ e C = 10nF, qual a freqüência de oscilação, para R ajustado em 5kΩ?

Solução

F = 1 ÷ 2.π.R.C
F = 1 ÷ 2.π.5kΩ.10nF
F = 3184,71Hz

Limitando o nível de tensão de saída

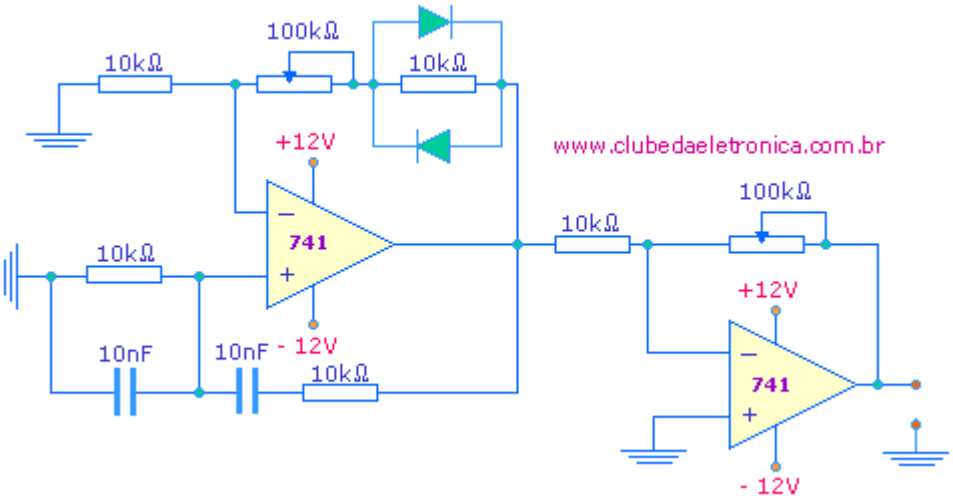
A grande dificuldade deste circuito esta em fixar sua saída em um nível abaixo de ±VSAT e assim estabilizado. Uma técnica bastante comum é a utilização de dois diodos zener contrapostos.



Quando alimentado os diodos ficam aberto, ou seja, não tem influência sobre o circuito, assim, o ganho será definido por AV = 1+ [(RF1+RF2)÷R1]. Quando a tensão zener (VZ + VD) é atingida RF2 é curto circuitado, e o ganho diminui. Dai em diante o ganho total é atende a oscilação estacionária.

Variando a amplitude

Se o projetista desejar variação sem distorção é necessário adicionar um circuito inversor na saída da ponte permitindo então, o ajuste desde o zero até a amplitude ±VCC do amplificador inversor.



Os diodos têm a mesma função do diodo zener, ou seja, manter a estabilidade do ganho.

Exercícios

11- Para o circuito acima, qual a freqüência de oscilação, e qual a máxima e mínima amplitude?

Solução

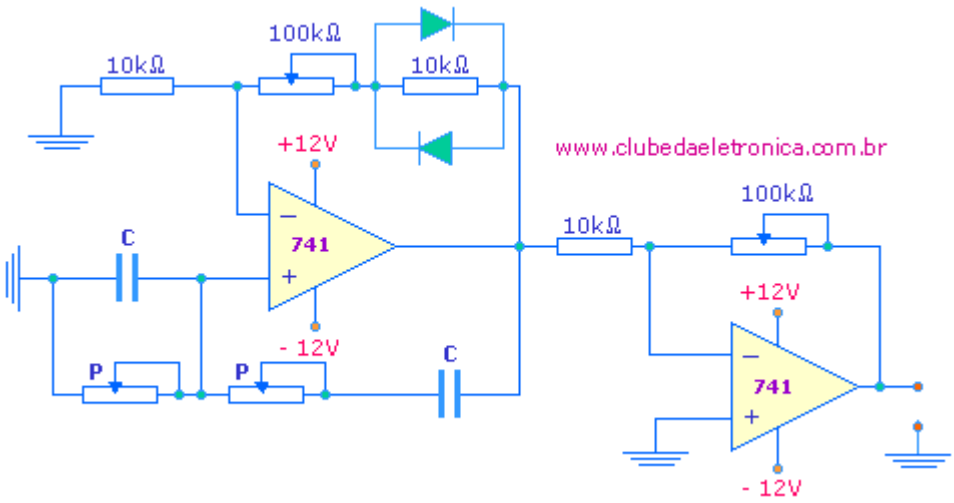
F = 1 ÷ 2.π.R.C
F = 1 ÷ 2.π.10kΩ.1μF
F = 15,92Hz

O circuito inversor permite o ajuste desde o zero. Assim, a mínima amplitude de saída será zero.

O sinal de saída será limitado pela saturação ±VCC. Então, ±12V.

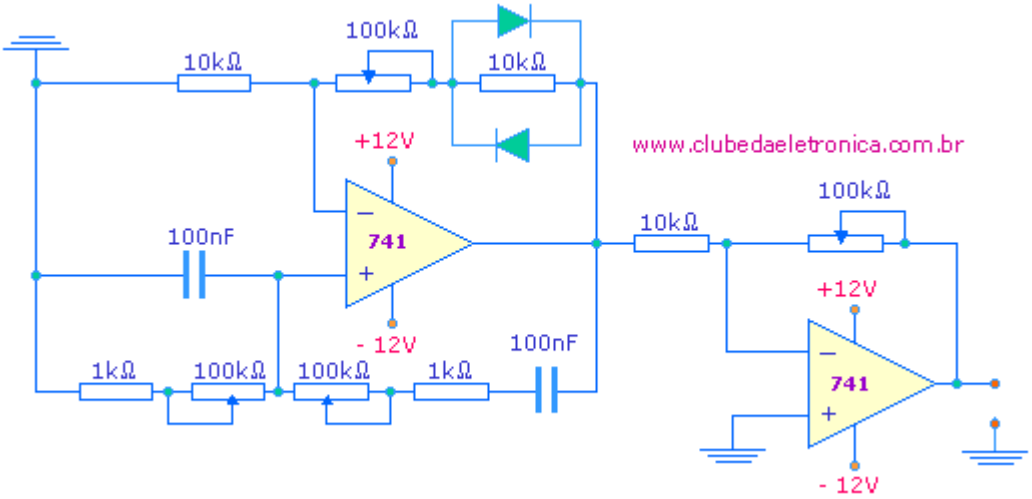
Variando a amplitude e freqüência

Pode-se variar a freqüência e a amplitude em um único circuito. Assim, tem-se um oscilador completo com amplitude e freqüência variável.



Exercícios

12- Para o circuito abaixo, qual a faixa de variação de freqüência?



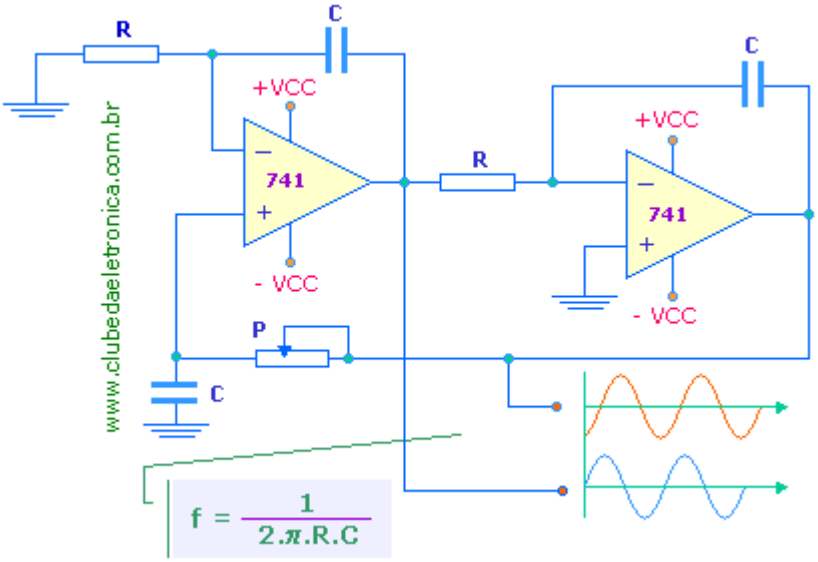
Solução

F = 1 ÷ 2.π.R.C
F = 1 ÷ 2.π.101kΩ.100nF
F = 15,76Hz

F = 1 ÷ 2.π.R.C
F = 1 ÷ 2.π.1kΩ.100nF
F = 15,92kHz

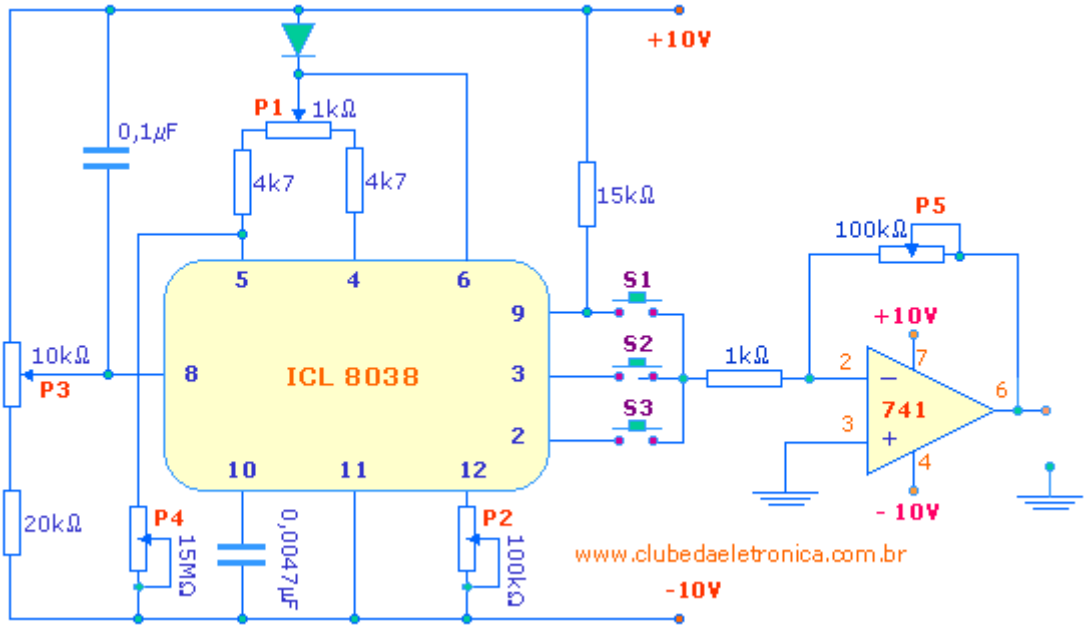
Oscilador de quadratura

Tem a função de gerar dois sinais em quadratura, ou seja, um defasado 90º em relação ao outro. A quadratura é usada em circuitos de modulação e demodulação. Um potenciômetro deve ser colocado a fim de ajustar o ponto de oscilação.



Gerador de sinal ICL 8038 (retangular, triangular, dente de serra e senoidal).

Gerar sinais é de extrema importância na eletrônica, podendo ser sinais senoidais ou de relaxação. Devido a grande necessidade fabricantes, entre eles a Intersil, desenvolveram geradores encapsulados, como o ICL 8038 capaz de gerar quatro tipos de sinais, sendo: retangular, triangular, dente de serra e senoidal.



Os sinais gerados são: S1 (pino 9), saída retangular, saídas S2 (pino 3) triangular e saída S2 (pino 2). O dente de serra pode ser conseguido variando o ciclo de atividade. Os potenciômetros têm as seguintes funções:

- P1 → Ajusta ciclo de atividade em alta freqüência
- P2 → Ajuste de distorção
- P3 → Ajuste da freqüência
- P4 → Ajusta ciclo de atividade em baixa freqüência
- P4 → Ajusta amplitude do sinal de saída

O Amp-OP, além de permitir o ajuste da amplitude, serve com buffer uma vez que o ICL 8038 possui uma alta impedância de saída.

Continua...

m gênio é uma pessoa de talento que faz toda a lição de casa.
Thomas A. Edison

Referências bibliográficas

- Pertence, A. Amplificadores Operacionais – 5ª edição. São Paulo: Makron Books, 1996.
- Gluiter, A .F. Amplificadores Operacionais fundamentos e aplicações. São Paulo: McGraw Hill , 1988.
- Malvino, A.P. Eletrônica - volume II. São Paulo: Makron Books, 1997.
- Boylestad, R. e Nashelsky, L. Dispositivos Eletrônicos e Teoria dos Circuitos. Rio de Janeiro: Prentice-Hall, 1994.
- O' Marlley, John. Analise de circuitos - 2ª edição. São Paulo: Makron Books, 1994.
- Lalond, D.E. e Ross, J.A. Princípios de dispositivos e circuitos eletrônicos. São Paulo: Makron Books, 1999.
- Notas de aula: Professor: Álvaro Murakami, 1991.
- Site: www.eletronica24h.com.br
- Handbook of operational amplifier applications – Texas Instruments