

Resumo

- Multivibradores Biestáveis
- Multivibradores Astáveis
- Multivibradores Monoestáveis
- Circuito integrado temporizador - 555

Multivibradores

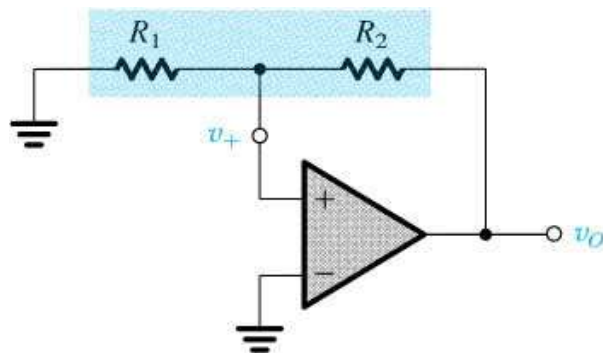
Os circuitos geradores de forma de ondas não lineares, designados por Multivibradores podem ser de três tipos: biestáveis, monoestáveis e astáveis.

O Multivibrador Biestável tem dois estados estáveis. Inicialmente o Multivibrador está em um dos estados estáveis e só se move para o outro se propriamente instado externamente a mudar.

O Multivibrador Monoestável têm só um estado estável. Por um sinal exterior passa para outro estado quase-estável e passado algum tempo regressa ao estado inicial.

O Multivibrador Astável não têm estados estáveis e gera uma onda que oscila continuamente entre dois estados.

Multivibradores Biestáveis

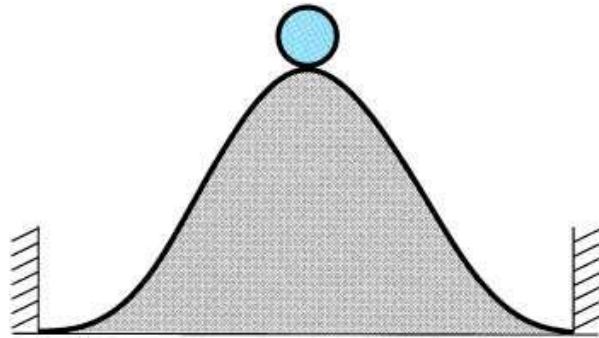


A biestabilidade pode ser obtida com um amplificador DC com realimentação positiva com um ganho de malha maior que a unidade. Este circuito (ver figura) inicialmente vai saturar em direcção a uma das tensões de alimentação (superior ou inferior) dependendo do ruído à entrada do amplificador operacional ou do desvio de tensão do próprio AmpOp.

O divisor de tensão (R_1, R_2) vai fornecer uma fracção da tensão de saída $\beta = R_1 / (R_1 + R_2)$ no terminal positivo de entrada. Se $A\beta$ é maior que um, que geralmente é o caso, existe um processo regenerativo até o amplificador operacional saturar (num nível L_+). A tensão no terminal positivo de entrada v_+ será $L_+ R_1 / (R_1 + R_2)$ que é positivo e mantém o amplificador operacional na saturação positiva.

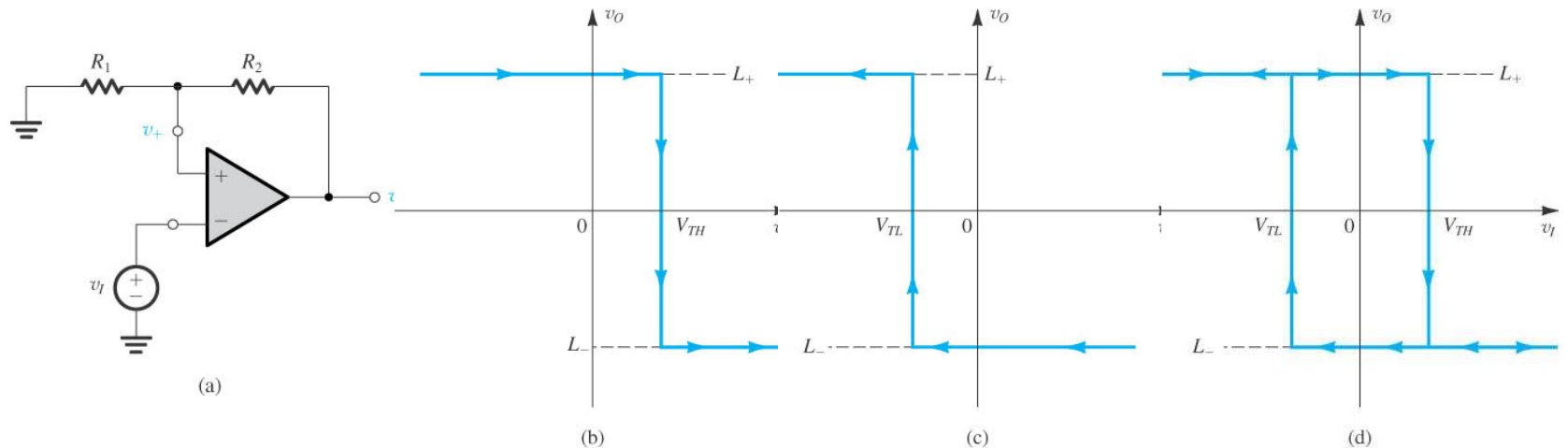
O amplificador pode saturar em direcção à tensão negativa. Então $v_O = L_-$ e $v_+ = L_- R_1 / (R_1 + R_2)$.

Multivibradores Biestáveis



Pode-se concluir que o circuito tem dois estados activos. Os dois estados podem manter-se indefinidamente. Existe outro estado de equilíbrio instável (ver figura (b)) em que $v_+ = 0$ e $v_O = 0$. Qualquer distúrbio (desvio de tensão ou ruído) o circuito comuta para um dos outros estados.

Multivibradores Biestáveis



Como mudar o estado de um circuito biestável?

Qualquer dos terminais ligados à massa serve como terminal de entrada.

Dependendo do uso de um terminal ou de outro como entrada dá origem a uma configuração inversora ou não inversora. Na figura mostra-se a configuração *inversora*.

Estando a saída em L_+ e $v_+ = \beta L_+$. Se v_I crescer até um valor ligeiramente superior a v_+ (figura (b)), implica que v_O passa para L_- (atendendo que o amplificador operacional tem ganho infinito) e $v_+ = \beta L_-$ e mantêm-se nesses valores para valores superiores de $v_I > \beta L_-$.

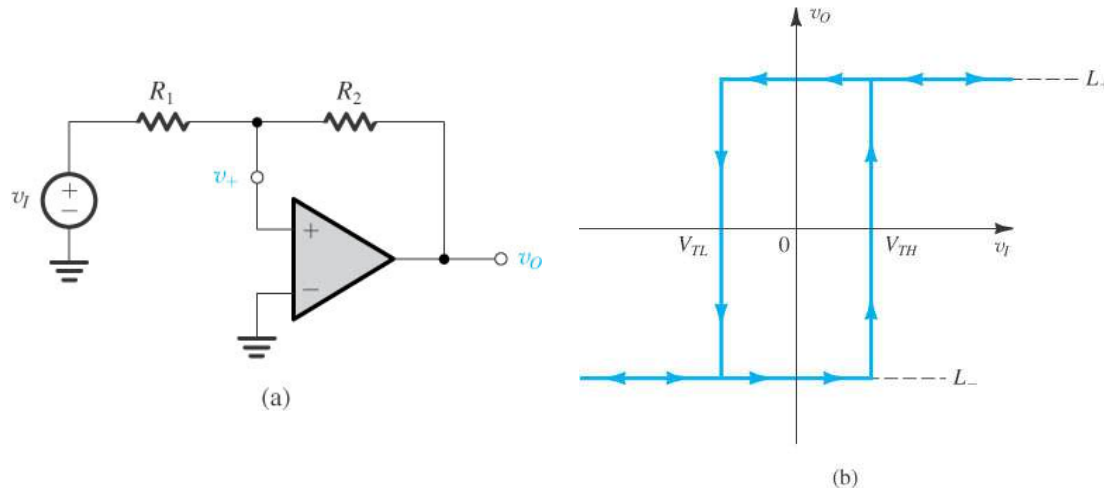
Multivibradores Biestáveis

Se a tensão descer, o multivibrador só muda de estado outra vez quando $v_I < \beta L_-$ (figura (c) do acetato anterior).

O facto dos níveis de v_I para os quais o multivibrador muda de estado serem diferentes conforme o valor de v_I está a aumentar ou diminuir é designado por histerese. A figura (d) (do acetato anterior) apresenta a resposta $v_o - v_I$ do circuito (a) (do acetato anterior).

Pode-se mudar o estado do multivibrador através dum impulso de curta duração com amplitude $> \beta L_+$ (quando a saída está no nível alto) ou $< \beta L_-$ (quando a saída está no nível baixo).

Multivibradores Biestáveis



Montagem

não-inversora

Através

da lei dos nós em

v_+ ou por sobreposição

$$v_+ = v_I \frac{R_2}{R_1 + R_2} + v_O \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

(1)

Estando o inversor no estado em que $v_O = L_+$ só mudará de estado ($v_O = L_-$) quando v_+ for ligeiramente negativo. Esse valor é obtido na equação acima quando $v_+ = 0$ e $v_O = L_+$. Obtém-se:

$$V_{TL} = -L_+ (R_1/R_2)$$

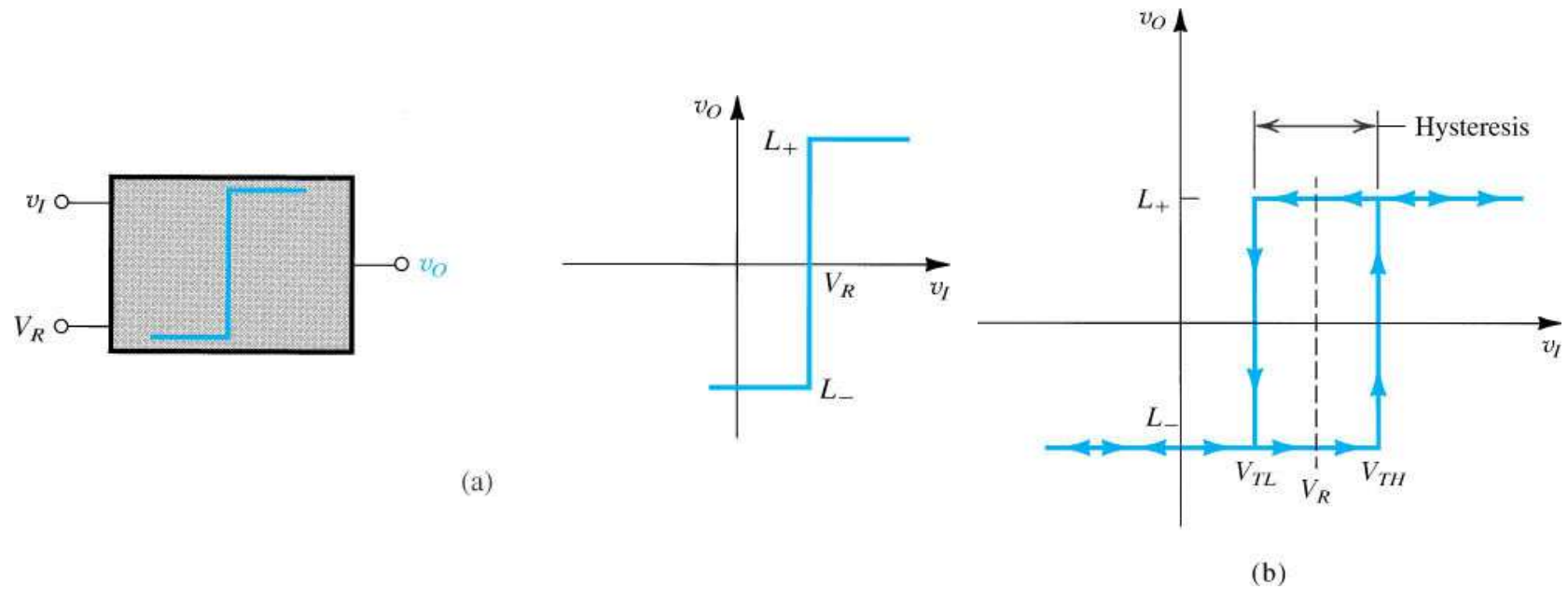
O nível de comutação para mudar o estado de $v_O = L_-$ para $V_O = L_+$ é obtido quando se substituí na equação (1) $v_O = L_-$ e $v_+ = 0$.

$$V_{TH} = -L_- (R_1/R_2)$$

A figura (b) mostra a resposta $v_O - v_I$.

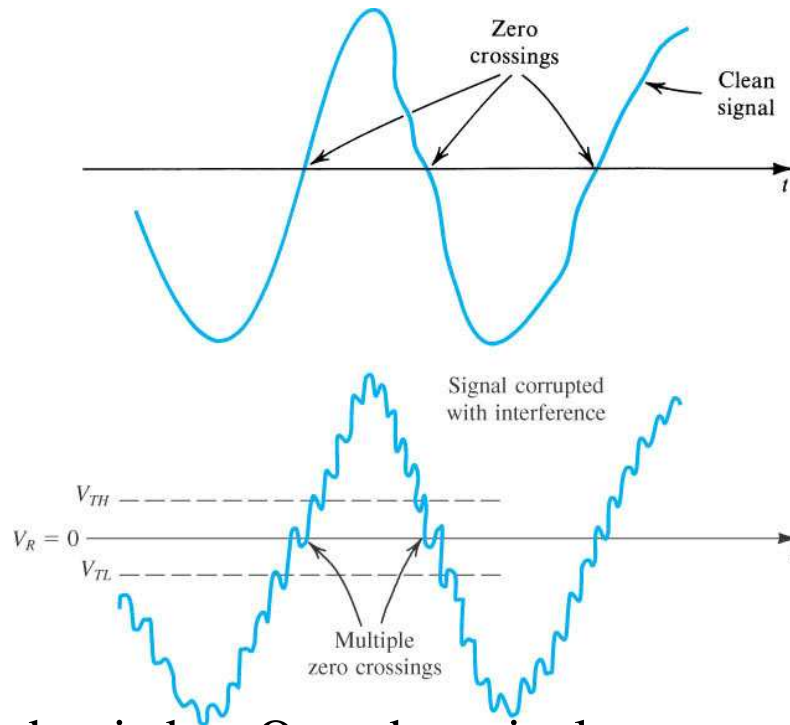
Multivibradores Biestáveis

O circuito biestável como comparador com histerese



O comparador é um circuito analógico que é usado para detectar níveis de tensões superiores a certo limiar (figura (a)). É útil em muitas aplicações adicionar histerese nas características do comparador (com características de transferência da figura (b)). Nesse caso haverá duas tensões de limiar V_{TL} e V_{TH} simétricas em relação a um nível de referência. V_{TL} e V_{TH} estão separados por $100mV$ no caso de algumas aplicações com portas TTL.

Multivibradores Biestáveis



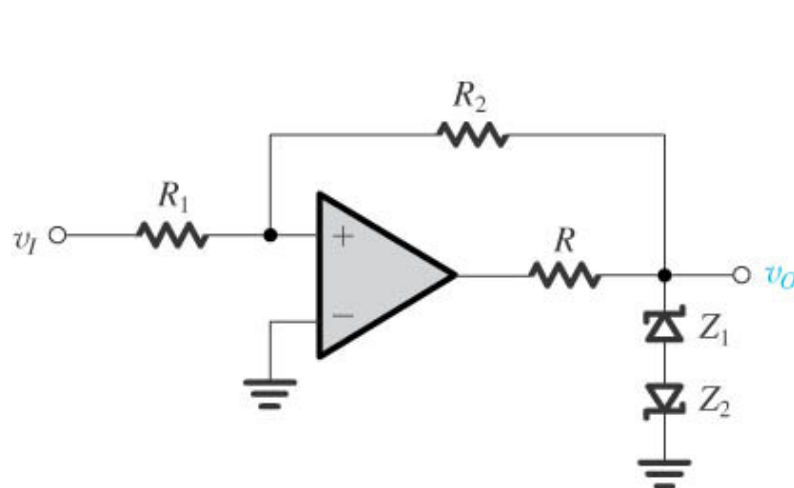
O circuito biestável como comparador com histerese: exemplo

Se for necessário

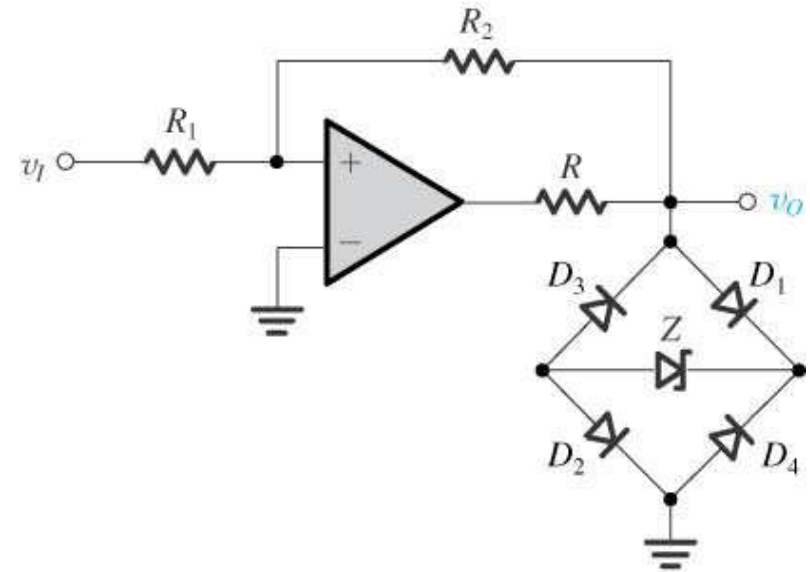
contar as passagens por zero da onda da figura de baixo (sinal corrompido com interferência) com um comparador sem histerese (com o nível de limiar a zero) existiriam muitas passagens por zero não desejadas. Se for introduzida histerese só são detectadas as passagens por zero

desejadas. Quando o sinal cresce o comparador com histerese manter-se-á no estado baixo até atingir o limiar mais alto V_{TH} . Depois manter-se-á no estado alto mesmo que o sinal com interferência desça abaixo de V_{TH} sem atingir V_{TL} . O comparador providencia um degrau cada vez que passa por zero que pode ser usado para gerar um impulso.

Multivibradores Biestáveis



(a)



(b)

Configuração os Níveis de Tensão de Saída

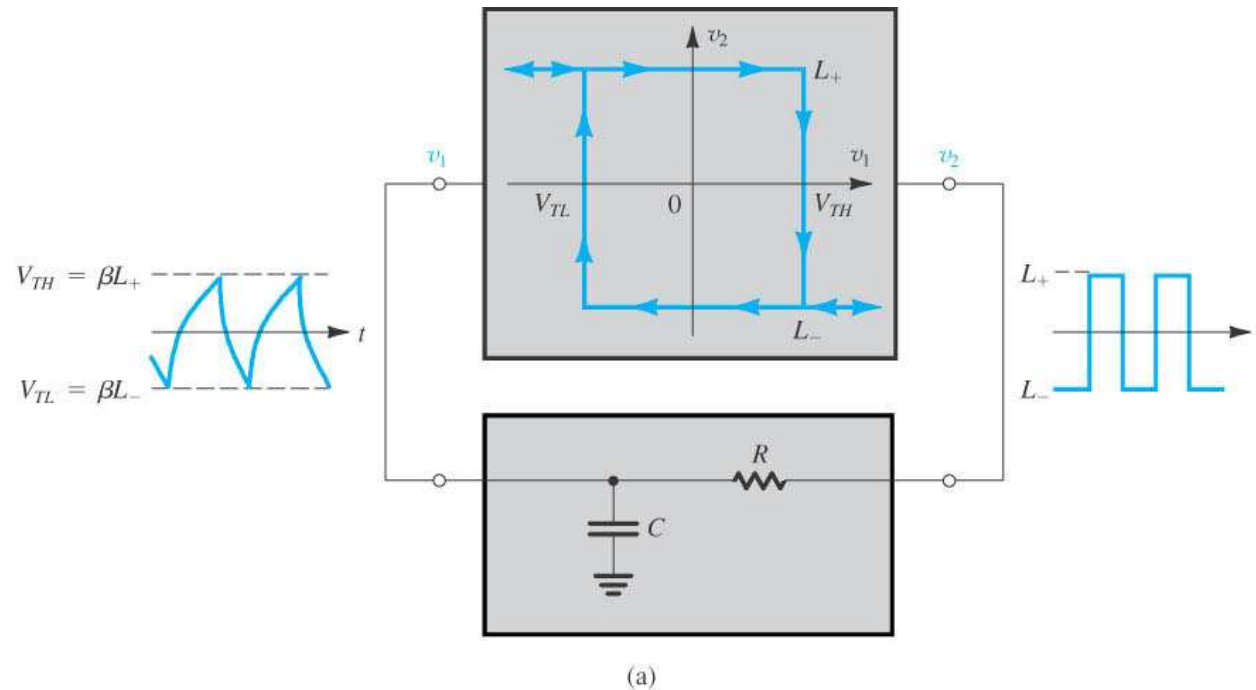
Para os níveis de tensão de saída não serem dados por uma tensão imprecisa de saturação são utilizados díodos zener e díodos normais como limitadores de tensão. Relativamente às figuras obtém-se:

$$(a) L_+ = V_{Z_1} + V_D \text{ e } L_- = -(V_{Z_2} + V_D)$$

$$(b) L_+ = V_Z + V_{D_1} + V_{D_2} \text{ e } L_- = -(V_Z + V_{D_3} + V_{D_4})$$

V_D é a queda de tensão no diodo.

Multivibradores Astáveis



Uma
onda quadrada
pode ser gerada
se o Multivibrador
biestável
for forçado
a mudar de estado
periodicamente.
Isso
pode-se conseguir

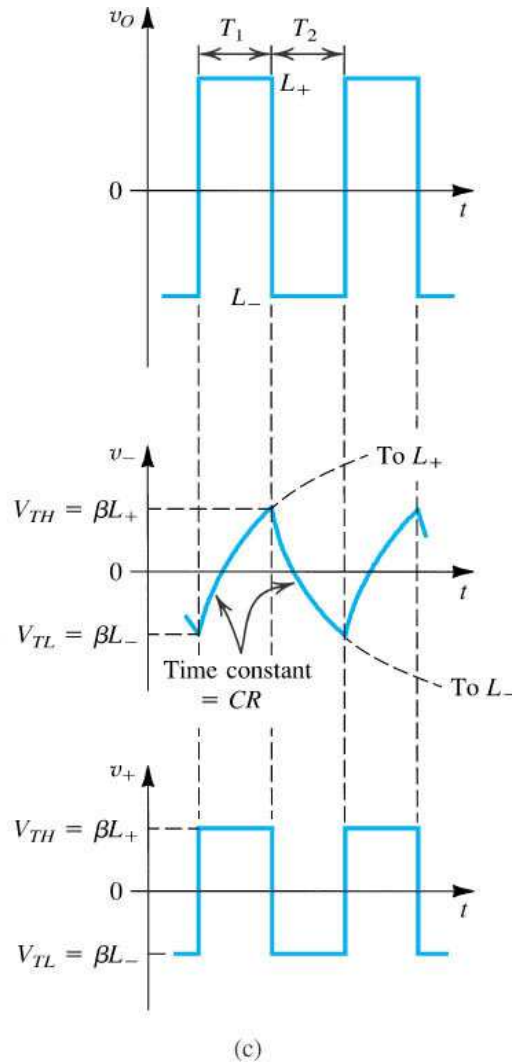
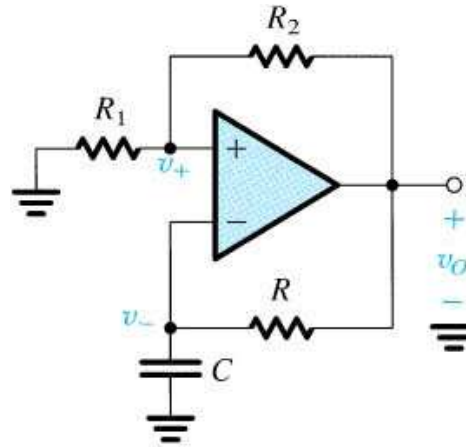
colocando na malha de realimentação um circuito RC.

Este circuito não tem estados estáveis e é designado por circuito astável.

Multivibradores Astáveis

Gerador de Ondas Quadradas

Sendo o estado inicial L_+ na saída do amplificador operacional, a capacidade C irá carregar até L_+ através de R . A tensão



através de C (v_-) aumentará exponencialmente com uma constante de tempo $\tau = CR$ até chegar à tensão $v_- = v_+ = \beta L_+$ na qual o multivibrador biestável (inversora) muda de estado ($v_O = L_-$ e $v_+ = \beta L_-$). Então o condensador começará a descarregar exponencialmente até L_- . Este estado vai manter-se até que $v_- = v_+ = \beta L_-$ no qual o multivibrador biestável comuta para o estado positivo $v_O = L_+$.

Multivibradores Astáveis

Gerador de Ondas Quadradas

Durante

a carga do condensador a tensão é (considerando que a carga do condensador começa em $t = 0$)

$$v_- = L_+ - (L_+ - \beta L_-) e^{-t/\tau} \quad (1)$$

com $\tau = RC$.

o multivibrador comuta quando

$v_- = \beta L_+$ e $t = T_1$ (substituindo em (1)) com

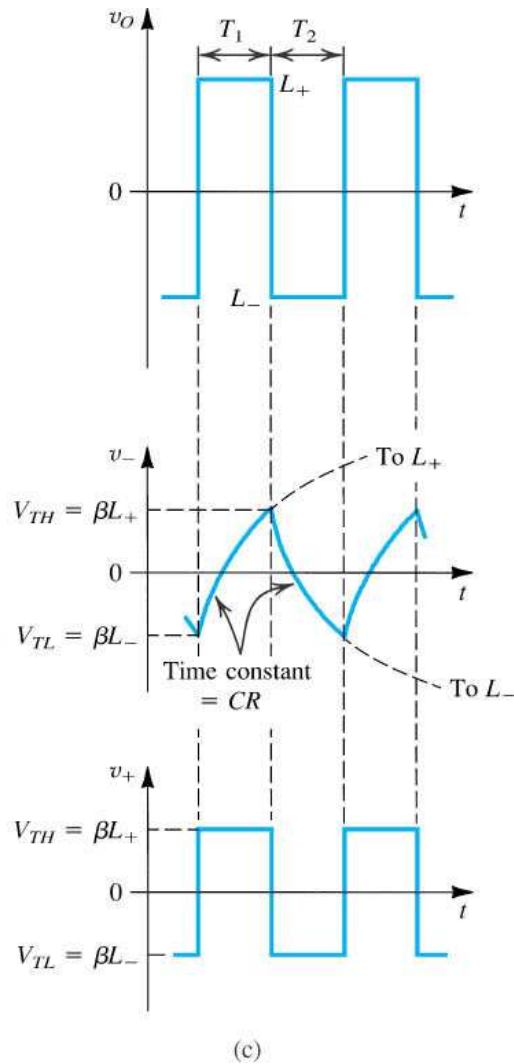
$$T_1 = \tau \ln \frac{1 - \beta(L_-/L_+)}{1 - \beta}$$

Durante o intervalo

de descarga do condensador T_2 a tensão v_-

é (considerando que a descarga começa em $t = 0$)

$$v_- = L_- - (L_- - \beta L_+) e^{-t/\tau}$$



Multivibradores Astáveis

Gerador de Ondas Quadradas

Substituindo $v_- = \beta L_-$ em $t = T_2$

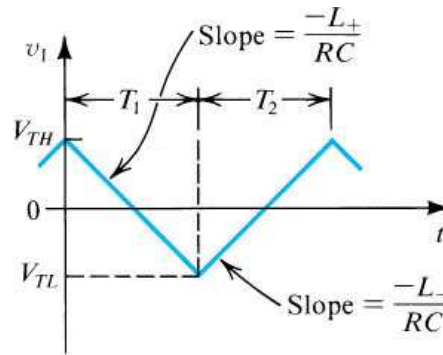
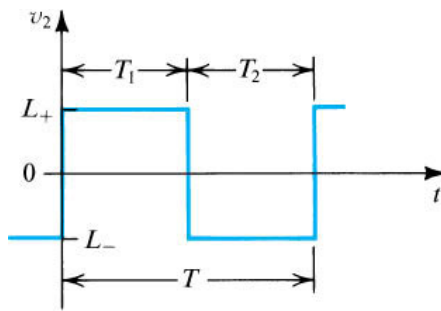
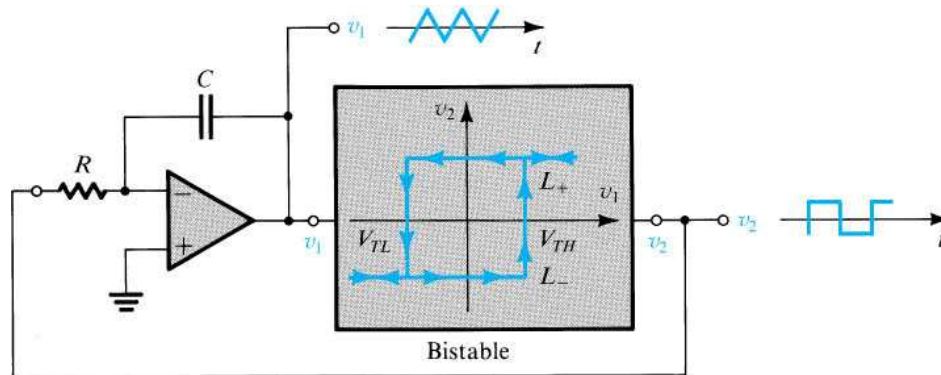
$$T_2 = \tau \ln \frac{1 - \beta(L_+/L_-)}{1 - \beta}$$

Se considerarmos que $L_+ = -L_-$, $T = T_1 + T_2$ então

$$T = 2\tau \ln \frac{1 + \beta}{1 - \beta}$$

Este gerador de onda quadrada pode ter frequência variável comutando vários condensadores (usualmente em décadas) e ajustando R continuamente (para obter controlo de frequência contínua)

Multivibradores Astáveis



Gerador

de Ondas Triangulares

Utilizando o circuito Biestável não-inversor, a onda quadrada gerada pelo circuito astável anterior pode converter-se numa onda triangulares se o circuito passa-baixo RC for substituído por um integrador. O integrador dá origem à carga e descarga linear do condensador gerando uma onda triangular.

Multivibradores Astáveis

Gerador de Ondas Triangulares

Uma corrente igual a L_+/R atravessa a resistência R e o condensador C causando que a saída do integrador decresça linearmente com declive $-L_+/(CR)$ até atingir V_{TL} . Nesse momento a corrente através de R e C mudará de direcção e será $|L_-|/R$. A tensão de saída do integrador começará a crescer linearmente até a tensão de saída atingir a tensão V_{TH} .

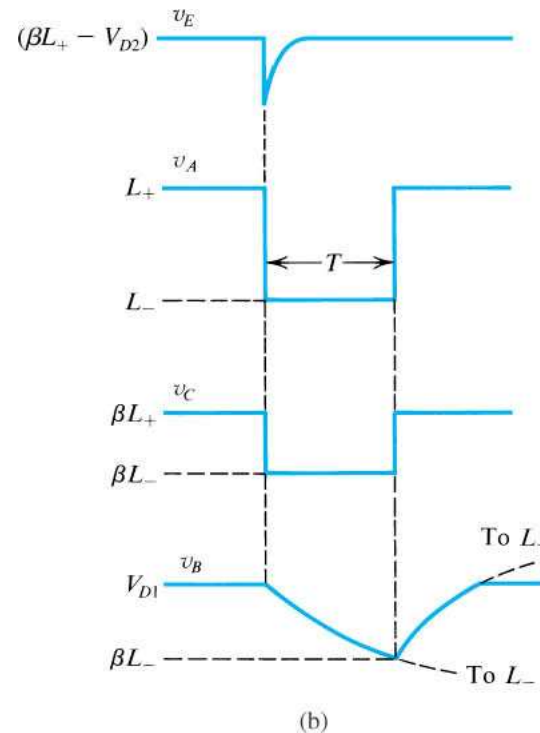
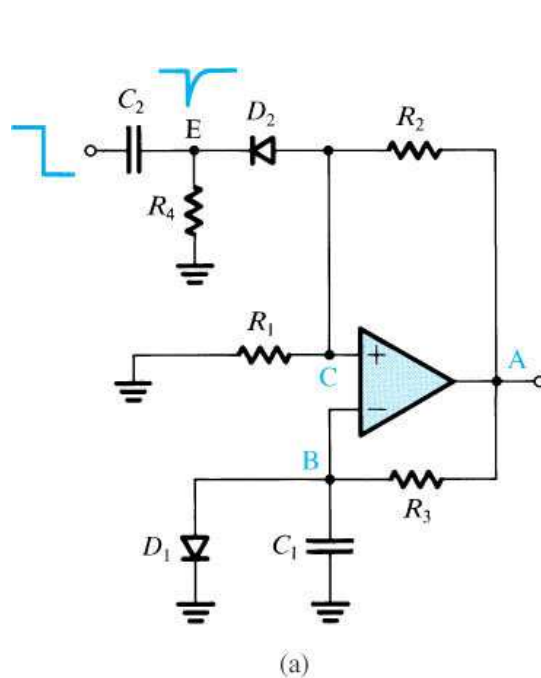
Durante o intervalo T_1

$$\frac{V_{TH}-V_{TL}}{T_1} = \frac{L_+}{CR} \Leftrightarrow T_1 = CR \frac{V_{TH}-V_{TL}}{L_+}$$

Durante o intervalo T_2

$$\frac{V_{TH}-V_{TL}}{T_2} = \frac{-L_-}{CR} \Leftrightarrow T_2 = CR \frac{V_{TH}-V_{TL}}{-L_-}$$

Multivibradores Monoestáveis

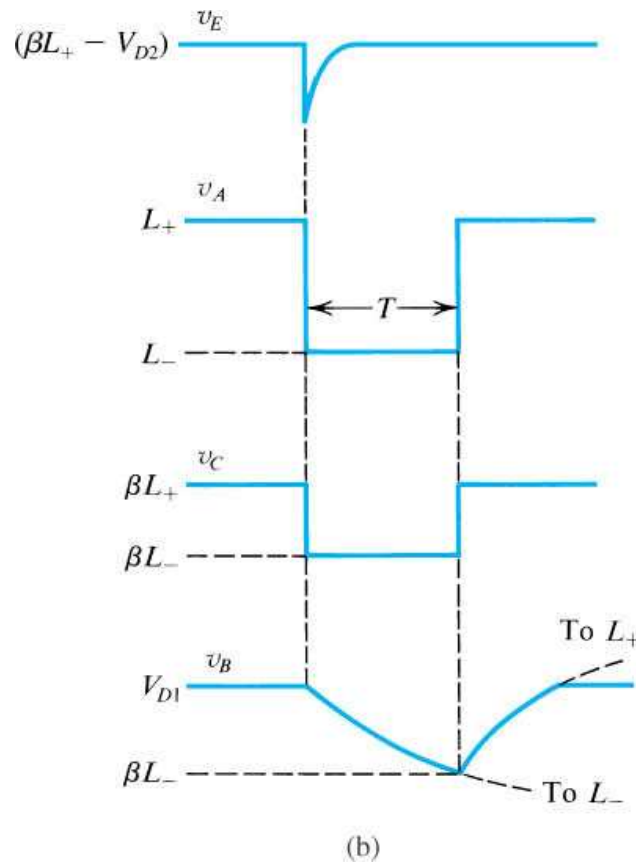


No estado estável o multivibrador (da figura) mantém $v_O = L_+$ e o diodo D_1 está a conduzir através de R_3 sendo v_B igual à queda de tensão no diodo. É seleccionado R_4 muito maior que R_1 de tal forma que D_2 conduzirá uma corrente

pequena e a tensão v_C será determinada pelo divisor de tensão composto por R_1 e R_2 . O estado estável manter-se-a desde que βL_+ seja maior que V_{D1} , sendo $\beta = R_1 / (R_1 + R_2)$.

Considere a aplicação dum degrau negativo à entrada. O sinal gerado fará descer a tensão v_C abaixo de v_B . Então o estado será mudado e a saída passará para L_- e $v_C = \beta L_-$.(continua)

Multivibradores Monoestáveis



O diodo D_2 entra em corte isolando o circuito da entrada de sinal. C_1 começa a descarregar exponencialmente até L_- com uma constante de tempo C_1R_3 . O multivibrador está agora num estado quase-estável, que se manter-se-a até $v_B < \beta L_-$.

Nesse instante a saída do amplificador operacional comuta de volta para L_+ .

A duração T do impulso de saída é determinada pela onda exponencial v_B

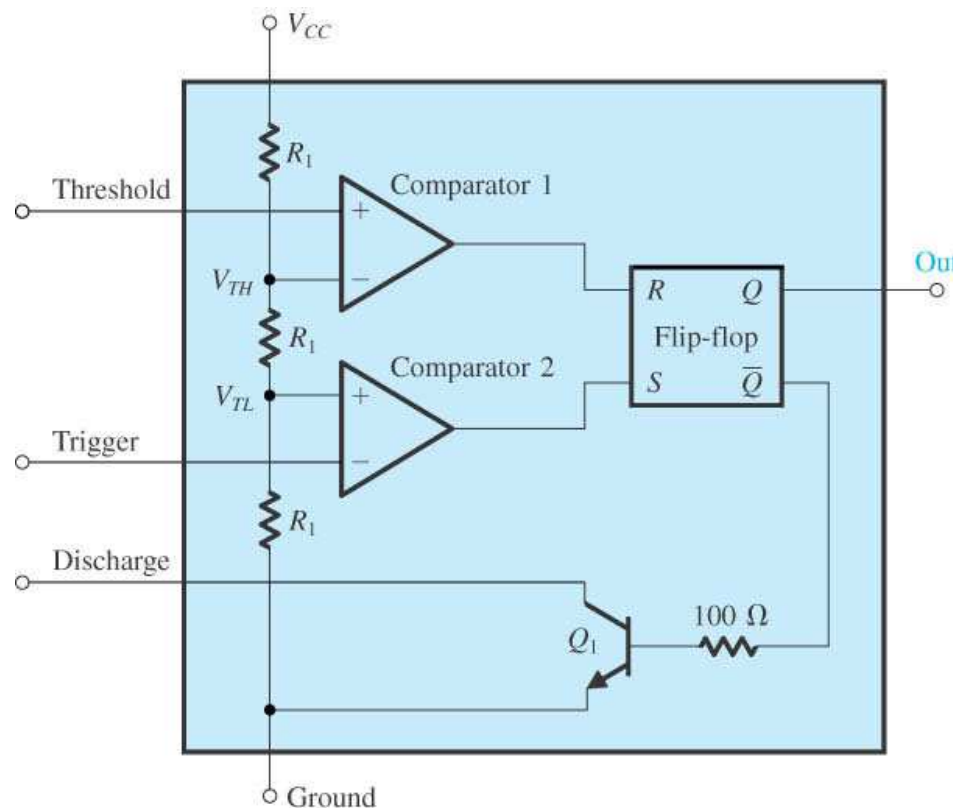
$$v_B(t) = L_- - (L_- - V_{D1}) e^{-t/(C_1R_3)}$$

Substituindo $v_B(T) = \beta L_-$

$$\beta L_- = L_- - (L_- - V_{D1}) e^{-T/(C_1R_3)} \Leftrightarrow T = C_1R_3 \ln \left(\frac{V_{D1} - L_-}{\beta L_- - L_-} \right)$$

De notar que o circuito monoestável não deve ser activado outra vez até o condensador C_1 tenha carregado até V_{D1} . Caso contrário o impulso resultante terá menor duração.

Circuito integrado temporizador - 555

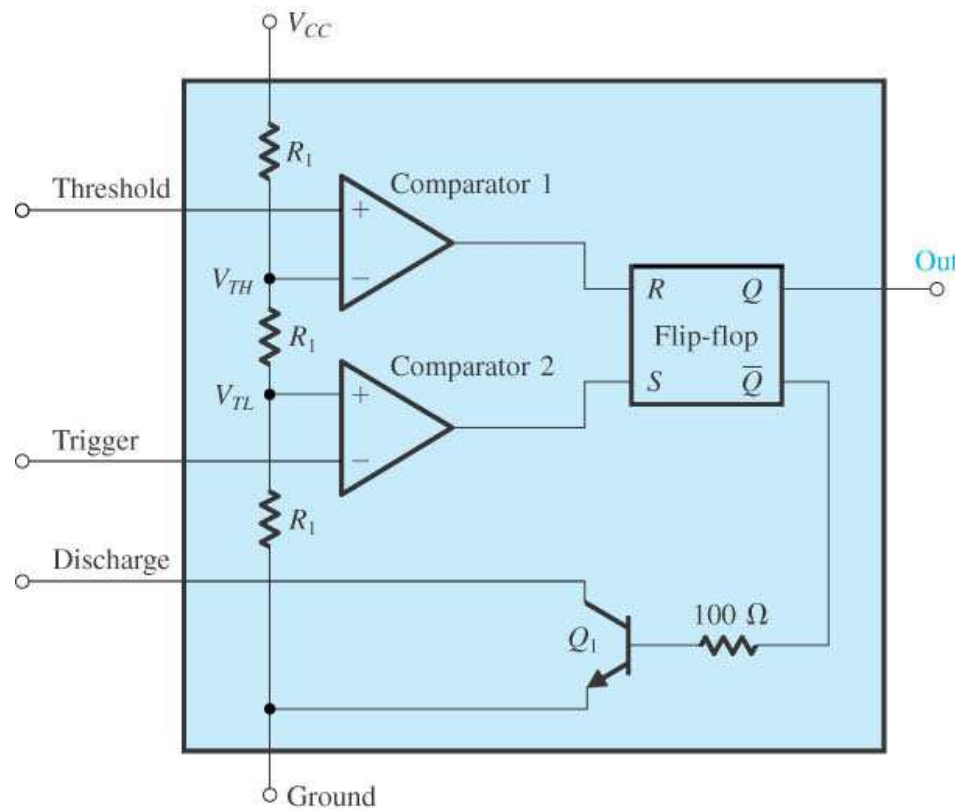


A tensão de alimentação é de 5V. Existem versões bipolares e CMOS. O divisor de tensão resistivo composto por três resistências de igual valor determina as tensões de referência para os dois comparadores. Será $V_{TH} = \frac{2}{3}V_{CC}$ para comparador 1 e $V_{TL} = \frac{1}{3}V_{CC}$ para o comparador 2. O *Flip-Flop* SR é um circuito biestável tendo saídas

complementares Q e \bar{Q} .

No estado *set* ($S=1$) a saída de Q está no estado alto (aproximadamente V_{CC}) e \bar{Q} está baixo (aproximadamente $0V$). O *Flip-Flop* passa para o estado *set* aplicando um nível alto no terminal S.

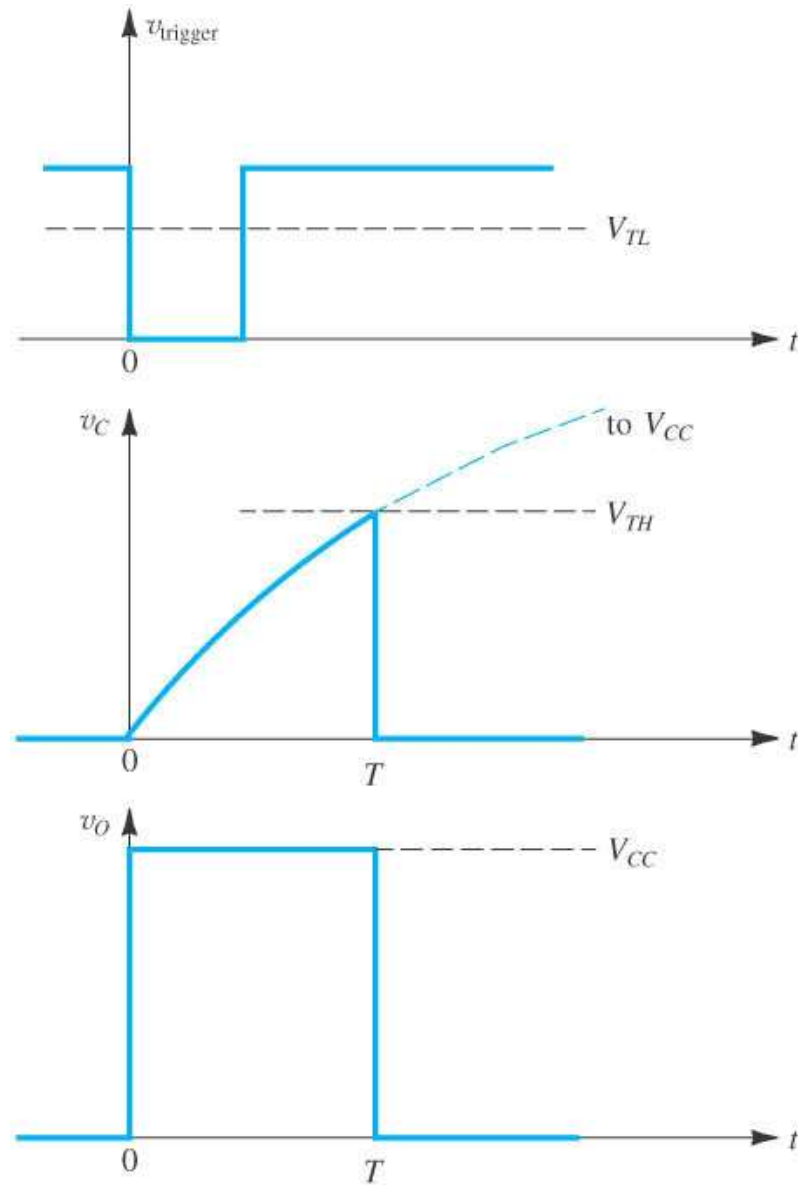
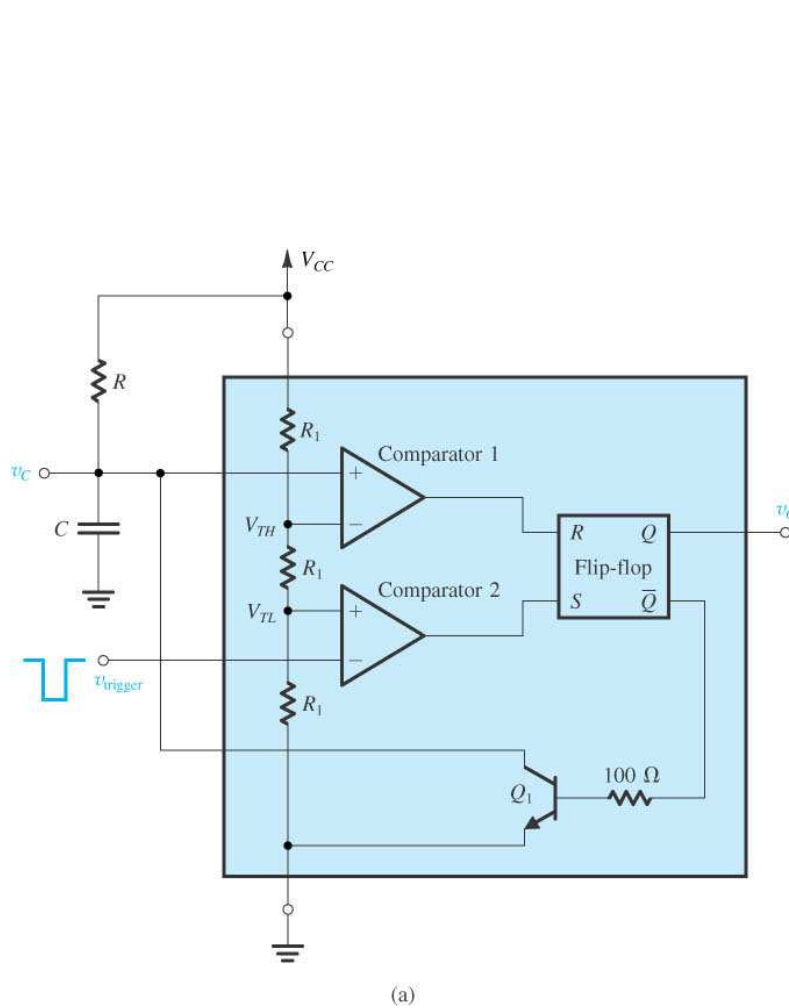
Circuito integrado temporizador - 555



No outro estado estável (*reset*) ($R=1$) a saída Q está no estado baixo e \bar{Q} está no estado alto. O *Flip-Flop* passa para o estado *reset* aplicando um nível alto no terminal R.

Circuito integrado temporizador - 555

Circuito Monoestável



Circuito integrado temporizador - 555

Circuito Monoestável

No estado estável o *flip-flop* estará em *reset* e \overline{Q} estará no estado alto estando o transístor Q_1 no estado de saturação. O condensador C estará descarregado. Considera-se que por defeito a entrada de *trigger* estará no estado alto. As saídas dos comparadores 1 e 2 estarão a 0V.

Para activar o multivibrador monoestável é aplicado um impulso negativo no terminal *trigger*.

A saída do comparador 2 passará do estado de 0 para o estado 1 (V_{CC}).

O *flip-flop* passa para *set* colocando o transístor ao corte. O condensador C começa a carregar através de R e a sua tensão (v_C) aumenta exponencialmente para V_{CC} . O multivibrador monoestável está agora no estado quase-estável. Este estado permanece até que v_C atinge a tensão de limiar do comparador 1 ($2V_{CC}/3$). A saída do comparador passa para o estado alto fazendo *reset* ao *flip-flop*. O circuito regressou ao estado estável.

Circuito integrado temporizador - 555

Circuito Monoestável

Sendo $t = 0$ o momento que se aplica o impulso de *trigger*

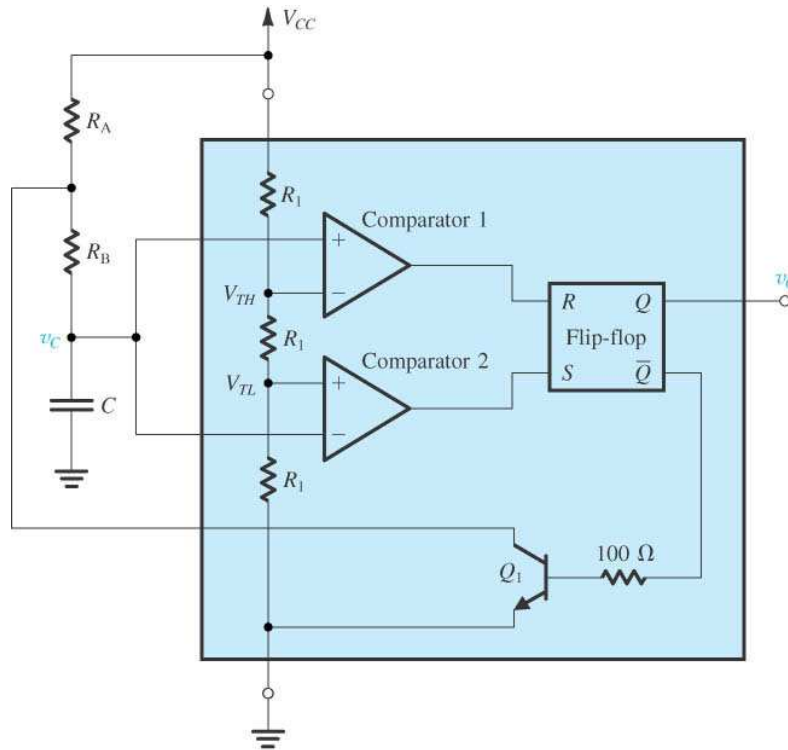
$$v_C = V_{CC}(1 - e^{-t/(CR)})$$

Substituindo $v_C = V_{TH} = \frac{2}{3}V_{CC}$ em $t = T$ obtém-se

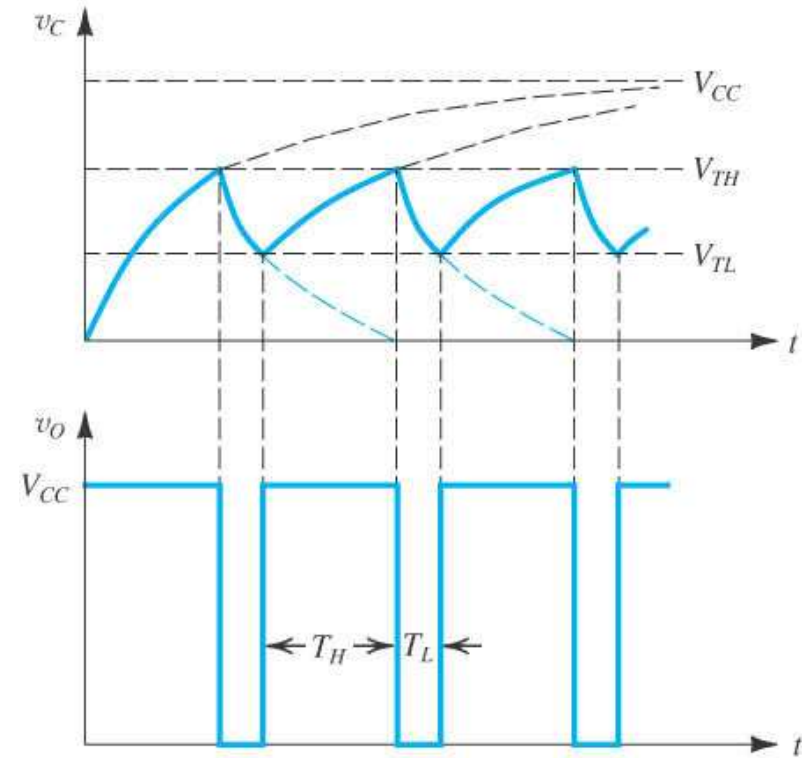
$$T = CR \ln 3 \simeq 1.1CR$$

Circuito integrado temporizador - 555

Circuito Astável



(a)



(b)

Circuito integrado temporizador - 555

Circuito Astável

Assumindo que inicialmente C está descarregado e v_O está no nível alto e Q_1 está ao corte. O condensador C carregará através da combinação série R_A e R_B e a sua tensão v_C aumentará para V_{CC} . Quando v_C ultrapassa V_{TL} ($V_{CC}/3$), a saída do comparador 2 vai para o nível baixo o que não tem influencia no funcionamento do circuito.

Quando v_C atinge o limiar do comparador 1 ($2V_{CC}/3$) a saída do comparador 1 passa ao nível alto e faz *reset* ao *flip-flop*. v_O vai para o estado baixo e o transistor passa à saturação. Então a tensão no nó entre R_A e R_B será praticamente nula. Então C começa a descarregar através de R_B . A tensão v_C decresce exponencialmente com constante de tempo $R_B C$ em direcção a zero. Quando v_C atinge o limiar do comparador 2 ($V_{CC}/3$), a saída do mesmo passa ao estado alto e faz *set* ao *flip-flop*. A saída v_O passa para o estado alto colocando Q_1 ao corte. O condensador C carrega através de série R_A e R_B aumentando a tensão exponencialmente em direcção a V_{CC} com constante de tempo $C(R_A + R_B)$ (completando um ciclo).

Circuito integrado temporizador - 555

Circuito Astável

A subida exponencial de v_C pode ser descrita por

$$v_C = V_{CC} - (V_{CC} - V_{TL}) e^{-t/(C(R_A+R_B))}$$

Substituindo $v_C = V_{TH} = \frac{2}{3}V_{CC}$ em $t = T_H$ e $V_{TL} = \frac{1}{3}V_{CC}$

$$T_H = C(R_A + R_B) \ln 2 \simeq 0.69C((R_A + R_B))$$

v_o estará no estado baixo durante o intervalo T_L no qual v_C desce de V_{TH} para V_{TL}

A descida exponencial é dada por

$$v_C = V_{TH} e^{-t/(CR_B)}$$

Substituindo $v_C = V_{TL} = \frac{1}{3}V_{CC}$ com $t = T_L$ e $V_{TH} = \frac{2}{3}V_{CC}$ resulta

$$T_L = CR_B \ln 2 \simeq 0.69CR_B$$

O período da onda de saída será

$$T = T_H + T_L = 0.69C((R_A + 2R_B))$$

$$\text{Duty cycle} = \frac{T_H}{T_H+T_L} = \frac{R_A+R_B}{R_A+2R_B}$$

O *Duty Cycle* será sempre superior a 0.5. Aproxima-se de 0.5 se R_A é seleccionada muito menor que R_B (o que implica um aumento de consumo).