

3.3.1. Multivibrador Astável com Integrador

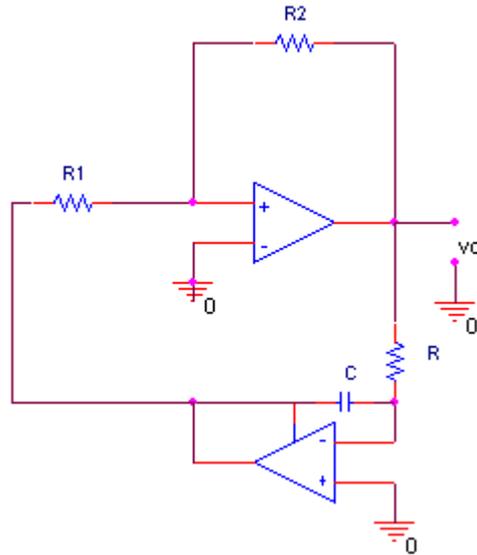


Figura 3.17: circuito do multivibrador astável com integrador.

Análise gráfica:

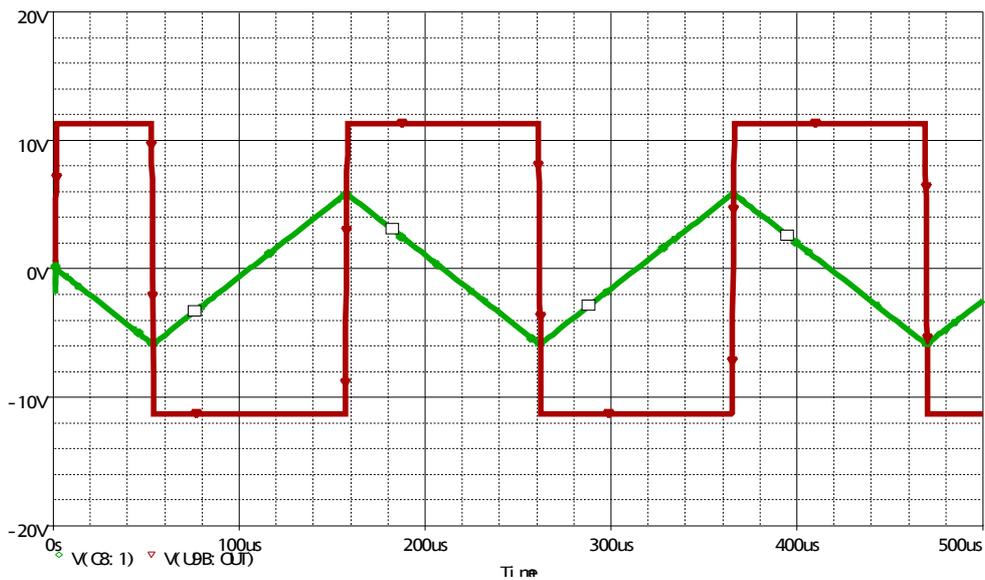


Figura 3.18: Gráfico das tensões de saída principal (quadrada) e do integrador (triangular) para o astável

Condição inicial: – capacitor descarregado $\rightarrow v_0' = v_i = 0$

$$- v_0 = V_{sat}^+$$

$$T = T_1 + T_2 = 2T_1$$

$$T = RC \left[\frac{4R_1}{R_2} \right] \Rightarrow f = \frac{R_2}{4R_1 RC}$$

3.3.2. Multivibradores com CI555

O 555 é um circuito integrado que possui internamente comparadores tensão e um biestável com "flip-flop" RS. É usado na implementação de multivibradores astável e monoestável com adição de capacitores e resistores externos, possuindo 8 pinos.

- (1) "Terra".
- (2) Entrada de disparo.
- (3) Saída principal.
- (4) Entrada de "Reset" ativa em "0".
- (5) Tensão de controle.
- (6) Entrada de limiar.
- (7) Transistor de descarga.
- (8) Alimentação positiva.

Flip-flop RS:

R	S	\bar{R}	Q	\bar{Q}
X	X	0	0	1
1	0	1	0	1
0	1	1	1	0
0	0	1	Q_a	\bar{Q}_a
1	1	1	Instável	

"0" $\Rightarrow \approx 0V$

"1" $\Rightarrow \approx V^+$

Q_a e \bar{Q}_a : estado anterior de Q e \bar{Q} .

- Tensão de limiar (V_{TH}):

$$V_{TH} = V^+ \frac{(5k + 5k)}{(5k + 5k + 5k)} = \frac{2}{3} V^+$$

$$(6) \begin{cases} V_6 < V_{TH} \Rightarrow R = "0" \\ V_6 > V_{TH} \Rightarrow R = "1" \end{cases}$$

- Tensão de disparo (V_{TL}):

$$V_{TL} = V^+ \frac{5k}{(5k + 5k + 5k)} = \frac{1}{3} V^+$$

$$(2) \begin{cases} V_2 < V_{TL} \Rightarrow S = "1" \\ V_2 > V_{TL} \Rightarrow S = "0" \end{cases}$$

Obs.: A entrada (5) pode ser usada para alterar as tensões V_{TH} e V_{TL} , possibilitando alteração na largura dos pulsos (monoestável e astável) a partir de uma tensão externa.

O reset externo (4) prioritário sobre o reset interno, deve ser ligado a V= quando não for usado.

3.3.3. Multivibrador Astável com CI555

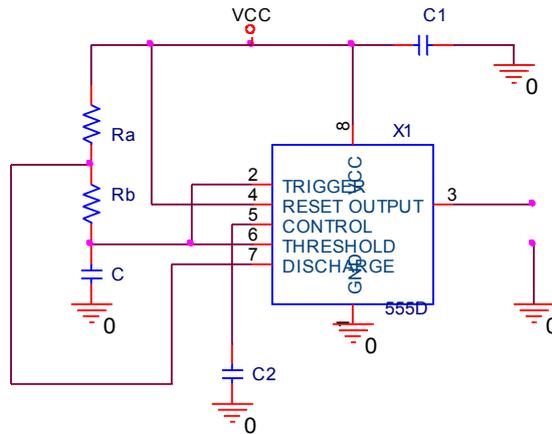


Figura 3.19: multivibrador astável com CI 555.

Carga do C:

- transistor em "corte" (7).
- V^+ através de $R_a + R_b$;

Descarga do c:

- transistor em saturação $V_7 \approx 0$.
- "0" através de R_b .

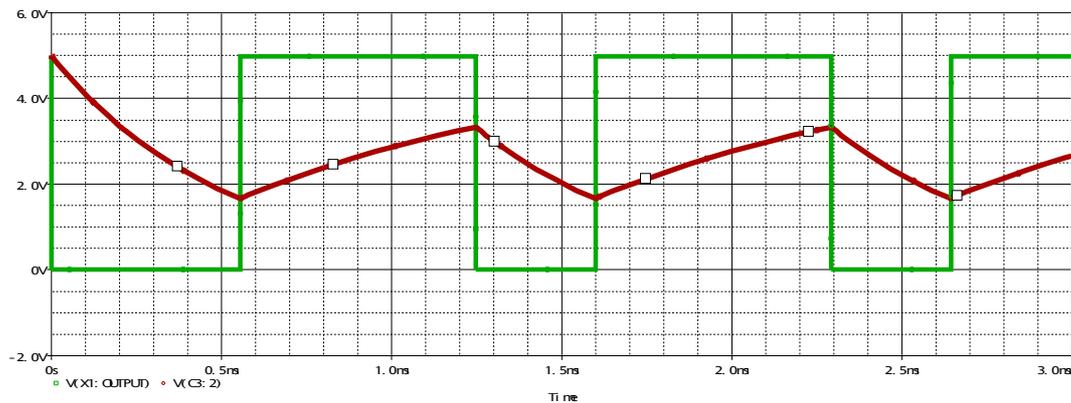


Figura 3.20: gráfico de v_o , v_c x tempo.

Usando a aproximação degrau para circuito RC:

- carga: $t_2 \Rightarrow (R_a + R_b) = R$

$$\left\{ \begin{array}{l} V_{co} = V_{TL} = \frac{V^+}{3} \\ v(t_2) = V_{TH} = \frac{2V^+}{3} \\ V = V^+ \end{array} \right.$$

$$v(t_2) = V - (V - V_{co})e^{\frac{-t_2}{RC}}$$

$$\frac{2V^+}{3} = V^+ - \left(V^+ - \frac{V^+}{3} \right) e^{\frac{-t_2}{(R_a + R_b)C}}$$

$$t_2 = C(R_a + R_b) \ln 2$$

- descarga: $t_1 \Rightarrow R_b$

$$\left\{ \begin{array}{l} V_{co} = V_{TH} = \frac{2V^+}{3} \\ v(t_1) = V_{TL} = \frac{V^+}{3} \\ V = 0 \end{array} \right.$$

$$\frac{V^+}{3} = 0 - \left(0 - \frac{2V^+}{3} \right) e^{\frac{-t_1}{R_b C}}$$

$$t_1 = CR_b \ln 2$$

$$T = t_1 + t_2$$

$$f = \frac{1}{T}$$

Ciclo de trabalho do astável:

Região entre o tempo em nível alto e o período.

$$CT = \frac{t_2}{T} 100 \%$$

$$CT = \frac{(R_a + R_b)}{(R_a + 2R_b)} 100 \%$$

3.3.4 Multivibrador Astável com transistores

Um multivibrador astável bastante popular é implementado com transistores bipolares e circuitos RC. O circuito é composto por 2 estágios de amplificação com os transistores polarizados de modo a operar na região de saturação.

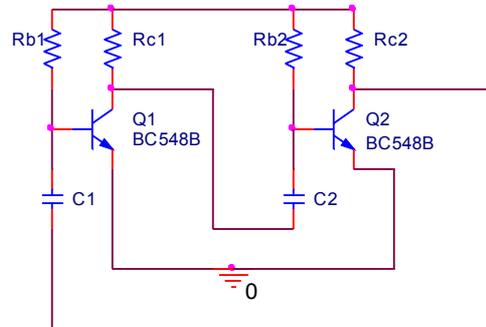


Figura 3.21: multivibrador astável com transistores.

Os resistores de polarização são dimensionados considerando-se o ganho de corrente β do transistor, pela seguinte relação:

$$I_B > \frac{I_c}{\beta} \Rightarrow I_B \geq \frac{2I_c}{\beta}$$

Na saturação:

$$\begin{aligned} V_{CE} &\cong 0 \\ V_{BE} &\cong 0,6V \\ I_B &= \frac{(V^+ - V_{BE})}{R_b} \\ I_C &= \frac{(V^+ - V_{CE})}{R_c} \end{aligned}$$

Os capacitores C1 e C2 estão conectados de modo a realimentar positivamente o circuito, inserindo a instabilidade necessária à oscilação. O período de oscilação depende da constante de tempo RbC.

Análise dos tempos de :

- t_1 : carga do C1 através do Rb1

$$\text{Tensões : } \begin{cases} V_{co1} = -(V^+ - V_{BE}) = (V_{BE} - V^+) \\ v(t_1) = V_{BE} \\ V = V^+ \end{cases}$$

Usando a aproximação degrau para o circuito RC:

$$v(t_1) = V - (V - V_{co})e^{\frac{-t_1}{RC}}$$

$$V_{BE} = V^+ - (V^+ - V_{BE} + V^+)e^{\frac{-t_1}{R_{b1}C_1}}$$

$$e^{\frac{-t_1}{R_{b1}C_1}} = \frac{(V^+ - V_{BE})}{(2V^+ - V_{BE})}$$

$$t_1 = R_{b1}C_1 \ln \frac{(2V^+ - V_{BE})}{(V^+ - V_{BE})}$$

- t_2 : carga do C2 através do Rb2

Considerando as constantes de tempo $R_{b1}C_1 = R_{b2}C_2$,

$$Tensões: \begin{cases} V_{co1} = -(V^+ - V_{BE}) = (V_{BE} - V^+) \\ v(t_1) = V_{BE} \\ V = V^+ \end{cases}$$

Limite de tensão de alimentação:

A junção B-E é polarizada reversamente durante o ciclo de carga do capacitor. Por ser fortemente dopada, essa junção possui uma tensão de ruptura reversa relativamente baixa (8 a 15V). Caso a tensão de alimentação do circuito seja superior a essa tensão, a junção B-E entrará em condução, alternando a carga do capacitor e conseqüentemente a freqüência de operação.

Esse problema pode ser resolvido com um diodo em série com a BASE do transistor.

3.3.5 Multivibrador Astável com portas lógicas inversoras

Uma porta inversora é equivalente a um amplificador inversor de alto ganho, operando normalmente na saturação. Quando realimentada negativamente através de um resistor, a porta é polarizada na região linear e pode ser usada como um amplificador. Associando-se duas portas realimentadas pode-se construir um biestável ou astável.

$$TTL: V_T \cong 1,4 \Rightarrow V^+ = 5V$$

$$CMOS: V_T \cong \frac{V^+}{2}$$

Considerando tecnologia CMOS:

$$V_T = \frac{V^+}{2}$$

$$V_{sat} = V^+$$

Freqüência de oscilação:

$$f = \frac{1}{2RC \ln 3}$$

p/ R1=R2 e C1=C2.

Obs. os circuitos lógicos CMOS possuem uma proteção de entrada com 2 diodos conectados ao V+ e GND.

Quando a tensão de entrada é superior a $V^+ + V_d$ ou inferior a $-V_d$, um dos dois diodos entra em condução, ceifando a tensão de entrada de modo que $-V_d < v_i < V^+ + V_d$.

Dessa forma a carga/descarga dos capacitores no estável é acelerada pela corrente que passa pelos diodos quando $V^+ > 2V_d$, aumentando a frequência de oscilação.

3.4. Multivibrador Monoestável

Circuito que possui um estado estável e um instável no tempo. O estado instável é usado para geração de pulsos de tensão de largura definida a partir de um pulso de disparo externo.

Pode ser implementado com um biestável, um circuito RC com limitação de carga do capacitor.

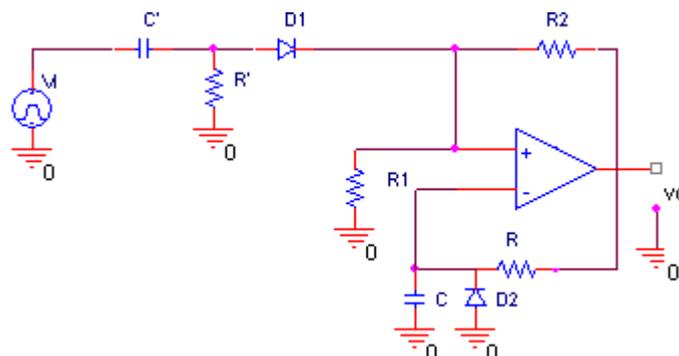


Figura 3.22: circuito do multivibrador monoestável.

Descrição do funcionamento:

O monoestável é composto por um bloco principal com estável e diodo D2 e um bloco de disparo (R' , C' e D1). O disparo é dado pela fonte V_i , que deve ter uma borda de subida/descida abrupta (sinal quadrado ou retangular). Quando não há sinal de disparo o circuito permanece no estado estável, ou seja com a tensão de saída igual a V_{sat^-} . O diodo D2 limita a descarga no capacitor C à tensão de polarização do diodo V_d , de modo que a tensão na entrada inversora do AmpOp não atinja o nível V_{TL} .

O circuito RC principal define a largura temporal do pulso de saída. O circuito $R'C'$ secundário é um filtro passa-altas usado para gerar um pulso de disparo do monoestável, a partir de um sinal quadrado de entrada de largura qualquer. Sua resposta temporal a um sinal quadrado é uma exponencial decrescente, cuja largura deve ser inferior ao pulso principal de saída. Isso é obtido fazendo-se $R'C' \ll RC$.

As principais formas de onda do circuito são mostradas nas figuras 3.23 e 3.24.

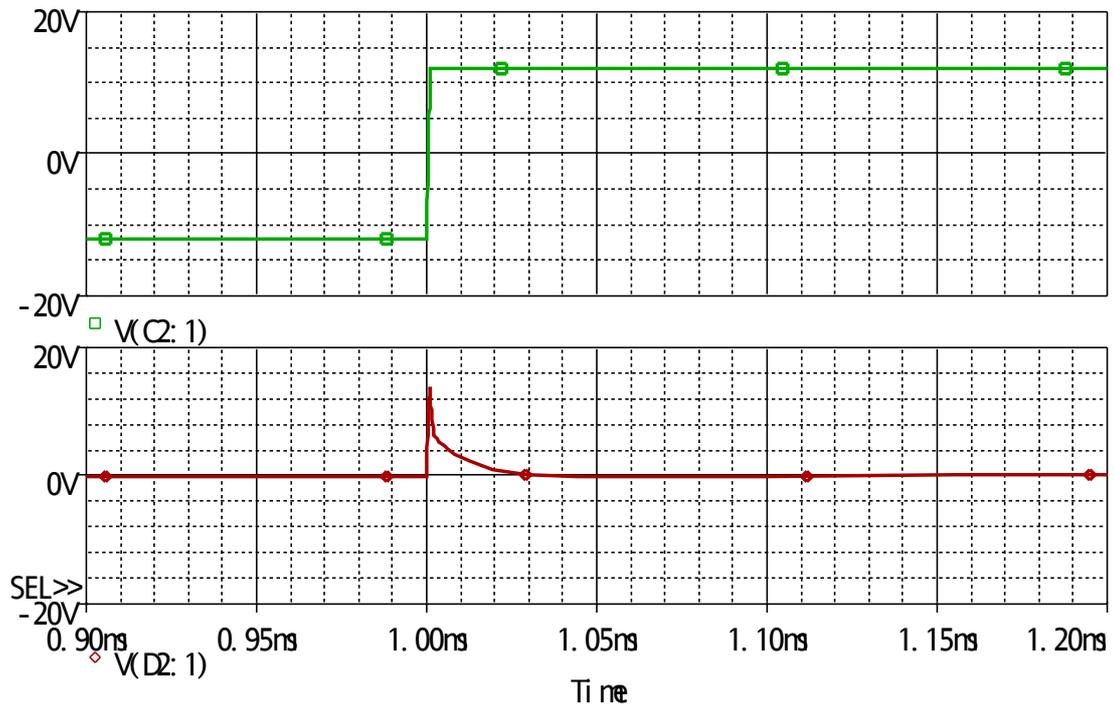


Figura 3.23: Formas de onda do circuito de disparo mostrando v_i (V(C2:1)) e v_i' (V(D2:1)) após o circuito R'C'.

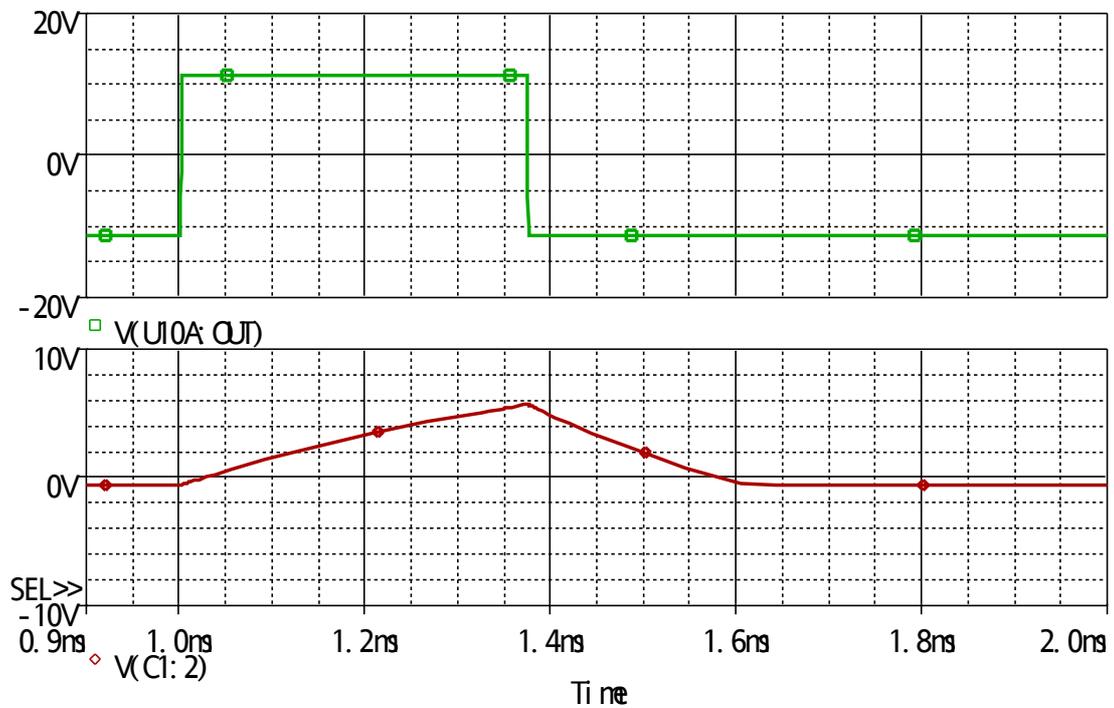


Figura 3.24: Formas de onda do circuito principal do monoestável mostrando a tensão de saída (V(U10A:OUT)) e a tensão no capacitor (V(C1:2)) do circuito RC.

Cálculo do tempo do monoestável (T_m) após o disparo considerando aproximação degrau:

$$\begin{cases} V = V_{sat} \\ V_{co} = -Vd \quad (\text{na prática } Vd \approx 0,6V) \\ v(T_m) = V_{TH} \end{cases}$$

$$v(T_m) = V - (V - V_{co})e^{-\frac{T_m}{RC}}$$

$$V_{TH} = V_{sat} - (V_{sat} + Vd)e^{-\frac{T_m}{RC}}$$

$$\frac{(V_{sat} - V_{TH})}{(V_{sat} + Vd)} = e^{-\frac{T_m}{RC}}$$

$$-\frac{T_m}{RC} = \ln \frac{(V_{sat} - V_{TH})}{(V_{sat} + Vd)}$$

$$T_m = RC \ln \frac{(V_{sat} + Vd)}{(V_{sat} - V_{TH})}$$

$$V_{TH} = V_{sat} \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

$$\left(V_{sat} - V_{sat} \frac{R_1}{R_1 + R_2} \right) = V_{sat} \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$T_m = RC \ln \left[\frac{(V_{sat} + Vd)}{\left(V_{sat} \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right)} \right]$$

Obs:

Para o circuito apresentado o disparo é feito na borda de subida do pulso de entrada. Invertendo-se a polaridade dos 2 diodos, tem-se o pulso de saída negativo e o disparo na borda de descida.

A largura do pulso de saída fica dependente da tensão de alimentação e da tensão de polarização do diodo.

O tempo de descarga do capacitor C (saindo de V_{TH} até $-Vd$) limita o tempo para haver um novo disparo. Este tempo é chamado de tempo de recuperação do monoestável.

3.4.1. Multivibrador Monoestável com CI555

O monoestável com 555 é disparado quando a tensão na entrada *trigger* (2) é inferior a V_{TL} ($V^+/3$). O circuito de disparo é semelhante ao utilizado no monoestável com AmpOp (filtro passa-altas com RC), fazendo-se um divisor de tensão com R1a e R1b para obter-se uma tensão de polarização intermediária ($V^+/2$). Dessa forma o disparo ocorre na rampa de descida do sinal de entrada. A largura do pulso de saída durante o estado instável é definida pelo RC principal, e pela tensão de limiar V_{TH} ($2V^+/3$) na entrada de limiar (6). O transistor interno (7) é usado para descarregar o capacitor, fazendo o circuito voltar ao estado estável. O circuito do monoestável é mostrado na figura 3.25.

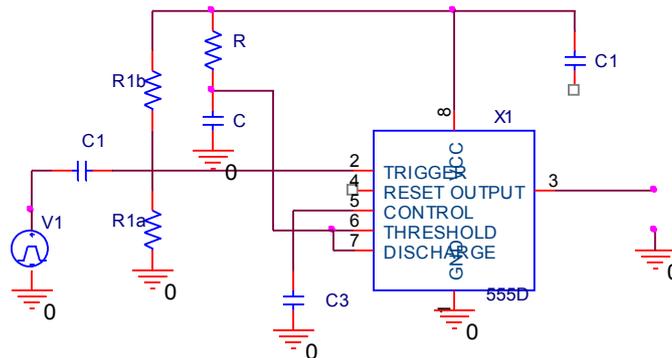


Figura 3.25: multivibrador monoestável com CI 555.

Cálculo da largura do pulso de saída do monoestável (T_m) após o disparo considerando aproximação degrau:

$$\begin{cases} V = V^+ \\ V_{co} = 0 \\ v(T_m) = V_{TH} \end{cases}$$

$$V_{TH} = 2V^+ / 3$$

$$v(T_m) = V - (V - V_{co})e^{-\frac{T_m}{RC}}$$

$$V_{TH} = V^+ - (V^+ - 0)e^{-\frac{T_m}{RC}}$$

$$\frac{(V^+ - V_{TH})}{(V^+)} = e^{-\frac{T_m}{RC}}$$

$$-\frac{T_m}{RC} = \ln \frac{1}{3}$$

$$T_m = RC \ln 3$$

Obs.: O tempo de descarga do capacitor pode ser desprezado, pois a resistência equivalente de descarga (transistor) é muito inferior à resistência de carga R ($R \geq 1k\Omega$). O T_m também pode ser modificado pela tensão de controle (pino 5), o que altera diretamente o V_{TH} .