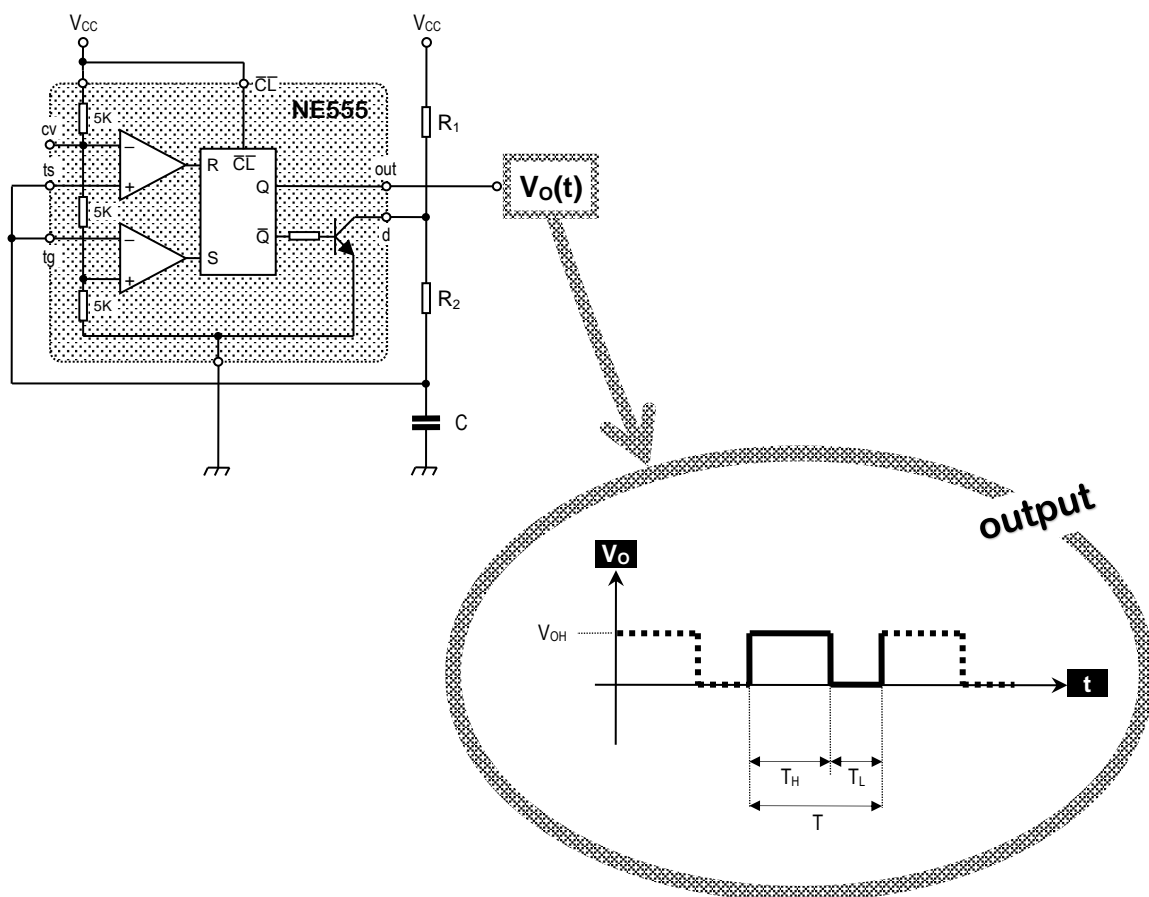


Elettronica analogica 5

Capitolo 4

I generatori di forme d'onda con NE555



Prof. Giuseppe Di Michele --- fascicolo di 20 pagine --- febbraio 2022

I generatori di forme d'onda con NE555

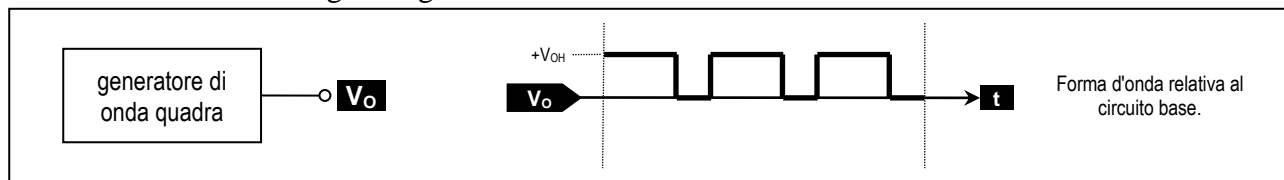
<u>Introduzione</u>	3
<u>4.1 -- Il circuito integrato NE555</u>	4
<u>4.2 -- Generatore di onda quadra</u>	6
<ul style="list-style-type: none">> Circuito base: periodo fisso e duty-cycle fisso (di valore maggiore di 0,5)> Variante 1: periodo fisso e duty-cycle fisso (di valore qualsiasi)> Esercizi	
<u>4.3 -- Generatore di impulso</u>	11
<ul style="list-style-type: none">> Circuito base: impulso di uscita fisso> Variante 1: impulso di uscita regolabile> Esercizi	
<u>Dimostrazioni</u>	18
<u>Quadro riassuntivo</u>	20

Introduzione

I generatori di forme d'onda possono essere realizzati, oltre che con l'amplificatore operazionale, come descritto nel capitolo precedente, anche con il circuito integrato NE555. A tal proposito presenteremo i seguenti circuiti.

Generatore di onda quadra.

Il generatore di onda quadra, detto più comunemente *multivibratore astabile*, è un circuito avente una sola tensione di uscita $V_O(t)$ che ha la forma di un'onda quadra asimmetrica, come rappresentato schematicamente nella figura seguente.

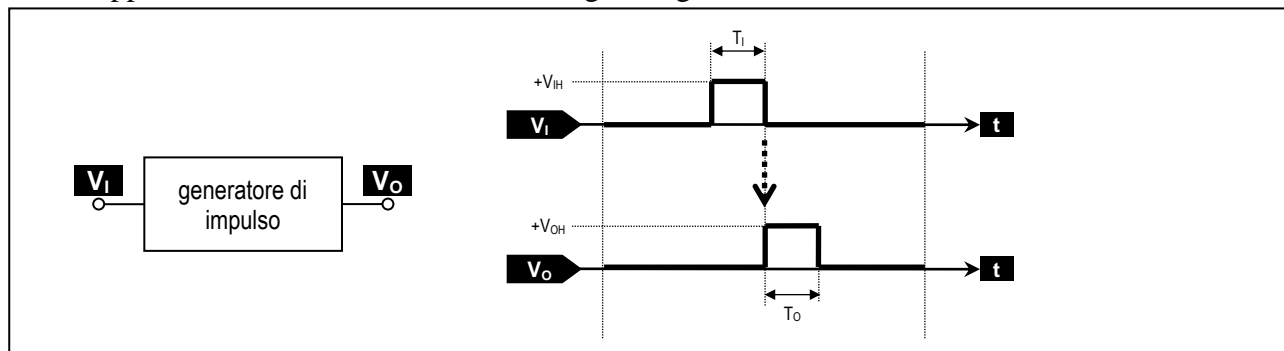


Presenteremo il multivibratore astabile nelle versioni seguenti:

- Circuito base:..... ➔ periodo fisso ➔ duty-cycle fisso (di valore maggiore di 0,5);
- Variante 1: ➔ periodo fisso ➔ duty-cycle fisso (di valore qualsiasi).

Generatore di impulso.

Il generatore di impulso, detto più comunemente *multivibratore monostabile* oppure *one-shot*, è un circuito avente una tensione di ingresso $V_I(t)$ e una tensione di uscita $V_O(t)$. La relazione ingresso/uscita è la seguente: il fronte di discesa dell'impulso di ingresso dà il via all'impulso di uscita, come rappresentato schematicamente nella figura seguente.



Presenteremo il multivibratore monostabile nelle versioni seguenti:

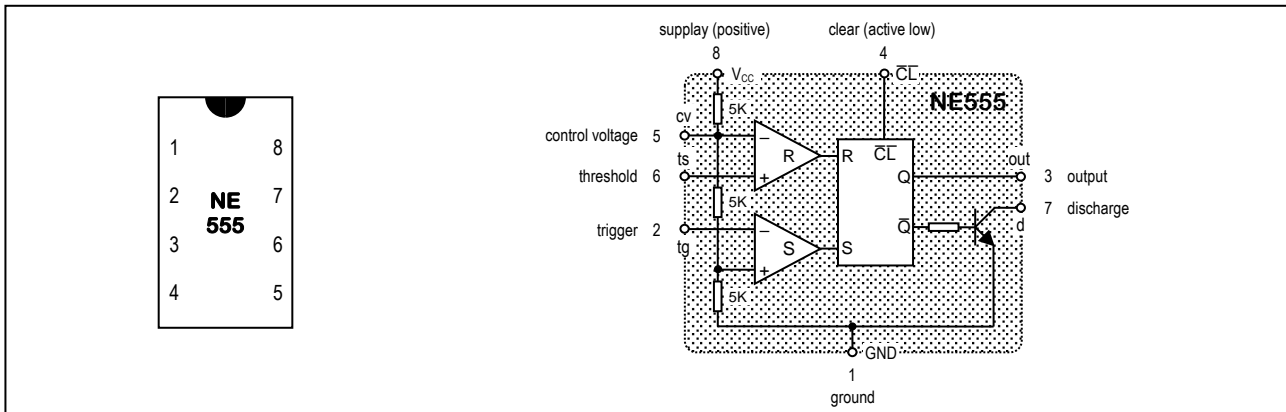
- Circuito base:..... ➔ impulso di uscita fisso;
- Variante 1: ➔ impulso di uscita regolabile.

Questo argomento sarà articolato nei seguenti paragrafi:

- Innanzitutto presenteremo la struttura interna dell'integrato NE555.
- Poi analizzeremo in dettaglio i generatori di forme d'onda citati sopra; per ciascuno di essi ne definiremo il funzionamento, ne analizzeremo le soluzioni circuitali, e ne risolveremo i classici problemi di analisi e di sintesi.
- Alla fine del capitolo si trovano alcune dimostrazioni tralasciate durante le trattazioni teoriche, e una tabella dove sono riassunti tutti i circuiti presentati con le relative formule di dimensionamento.

4.1 -- Il circuito integrato NE555

La figura che segue mostra la piedinatura dell'integrato NE555 e la sua struttura interna.



Analizziamone in dettaglio il funzionamento.

➤ Il partitore d'ingresso.

Nella parte sinistra dell'integrato è presente un partitore di tensione costituito da tre resistenze di $5\text{ K}\Omega$ ciascuna (da qui la sigla NE555). Questo partitore di tensione collega la tensione di alimentazione V_{CC} con la massa, e permette di ottenere due valori intermedi di tensione: $\frac{1}{3}V_{CC}$ (che è applicato all'ingresso "+" dell' AO_S) e $\frac{2}{3}V_{CC}$ (che è applicato all'ingresso "-" dell' AO_R).

➤ Il terminale *control voltage*.

Il terminale *control voltage*, collegato alla tensione $\frac{2}{3}V_{CC}$, nella quasi totalità delle applicazioni va lasciato scollegato. Viene utilizzato soltanto nei due seguenti casi particolari:

- 1) può essere collegato a un valore di tensione diverso da $\frac{2}{3}V_{CC}$ (cosa che accade in particolari applicazioni dell'integrato);
- 2) può essere collegato a massa con un condensatore di valore tipico $C=10\text{ nF}$ (al fine di stabilizzare la tensione $\frac{2}{3}V_{CC}$).

➤ I terminali *trigger* e *threshold*, e gli amplificatori operazionali AO_S e AO_R .

I due amplificatori operazionali sono utilizzati come comparatori di tensione.

- > L' AO_S confronta la tensione dell'ingresso trigger V_{tg} con la tensione $\frac{1}{3}V_{CC}$; il risultato di questo confronto determina la tensione di uscita V_S che può essere alta (1_logico) o bassa (0_logico).
- > L' AO_R confronta la tensione dell'ingresso threshold V_{ts} con la tensione $\frac{2}{3}V_{CC}$; il risultato di questo confronto determina la tensione di uscita V_R che può essere alta (1_logico) o bassa (0_logico).

➤ Il latch SR.

A destra dei due AO è presente un latch SR. La tabella a lato ricorda il suo funzionamento logico. Il terminale \overline{CL} consente di abilitare/disabilitare il latch. Esso è attivo a livello basso ossia sullo 0, pertanto se viene collegato a V_{CC} (1_logico) il clear è disattivo e quindi il latch funziona regolarmente, se invece viene collegato a massa (0_logico) il clear è attivo e quindi l'uscita Q fornisce sempre il valore logico 0 indipendentemente da ciò che accade agli ingressi R e S.

$\overline{CL}=0$ clear attivo		$\overline{CL}=1$ clear disattivo (il latch funziona normalmente)		
Q=0	ingresso		uscita precedente	uscita
	S	R	Q_{n-1}	Q_n ... ossia
	1	0	--	1 si impone 1
	0	1	--	0 si impone 0
	0	0	1 0	1 0 hold
	1	1		VIETATO

➤ Il BJT-NPN.

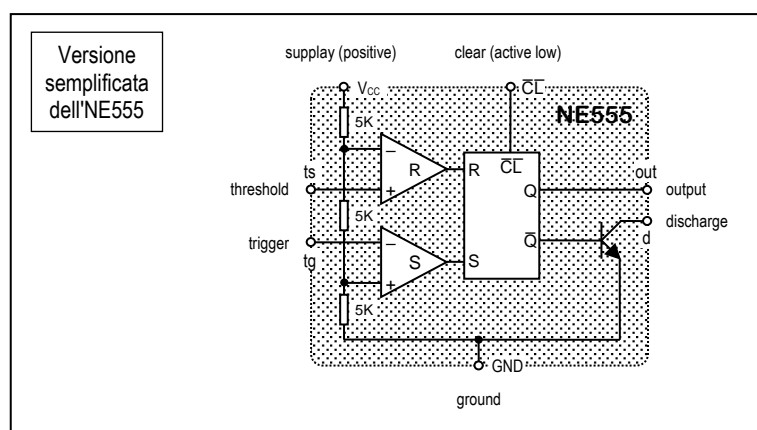
Il transistor BJT-NPN è utilizzato come interruttore elettronico, quindi può trovarsi in saturazione (interruttore chiuso) o in interdizione (interruttore aperto). La resistenza collegata alla sua base è necessaria per limitare la corrente entrante in base quando il BJT è in saturazione.

➤ La tensione di uscita.

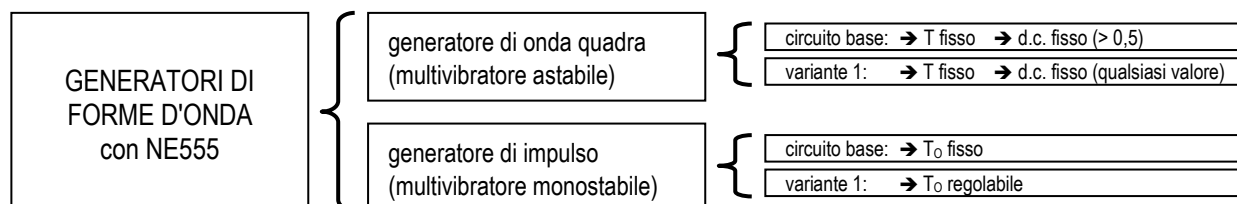
La tensione di uscita V_O è quella posseduta dall'uscita Q del latch SR (pin 3). Il suo valore dipende dalla tensione di alimentazione [V_{CC}], dalla corrente che attraversa il pin di uscita [I_{OH} e I_{OL}], e dalla temperatura ambiente [T_A]. Considerando l'NE555 della TEXAS INSTRUMENTS si hanno i seguenti valori:

Q = 0 logico		Q = 1 logico	
Con le condizioni: 1 $V_{CC}=15$ volt 2 $I_{OL}=10$ mA (entrante) 3 $T_A=25^\circ\text{C}$		Con le condizioni: 1 $V_{CC}=15$ volt 2 $I_{OL}=100$ mA (uscite) 3 $T_A=25^\circ\text{C}$	
Si ha la tensione di uscita: $V_{OL} = 0,1$ volt		Si ha la tensione di uscita: $V_{OH} = 13,3$ volt	

Nota. Negli schemi elettrici disegnati nelle prossime pagine, il circuito integrato NE555 sarà rappresentato in maniera semplificata trascurando sia il terminale “vc” che la resistenza di base del BJT. Ciò è fatto allo scopo di avere una grafica più semplice e quindi più comprensibile. La figura a lato mostra appunto questa versione semplificata.



Utilizzando questo circuito integrato si possono realizzare diversi circuiti elettronici; nelle prossime pagine presenteremo i seguenti circuiti.

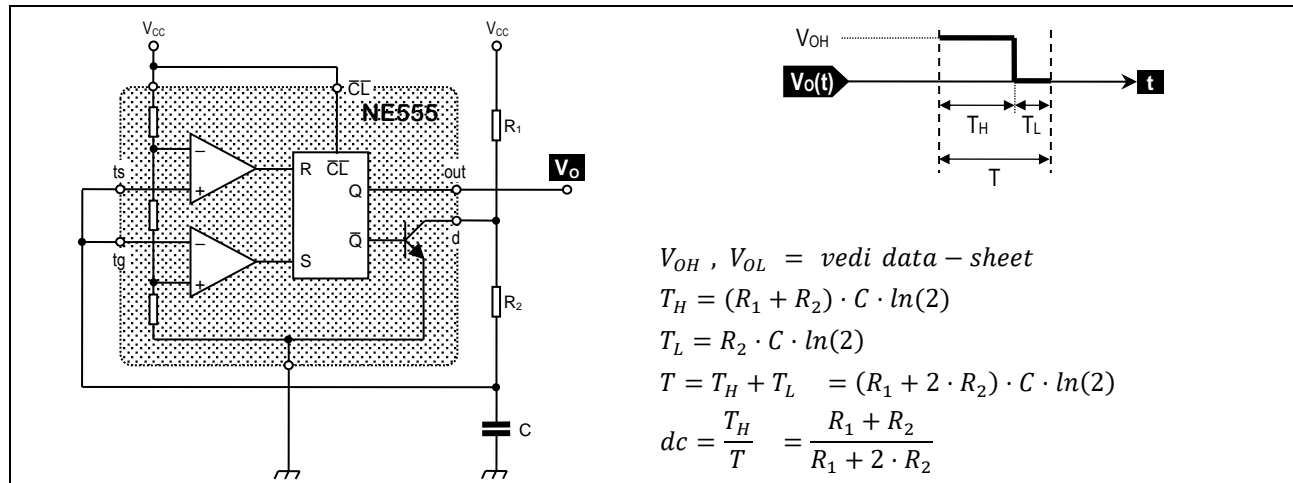


4.2 – Generatore di onda quadra

Il generatore di onda quadra, detto più comunemente *multivibratore astabile*, sarà presentato in due versioni: il circuito base (periodo fisso e duty-cycle fisso di valore maggiore di 0,5) e la variante 1 (periodo fisso e duty-cycle fisso di valore qualsiasi).

Circuito base (T fisso, dc fisso di valore maggiore di 0,5)

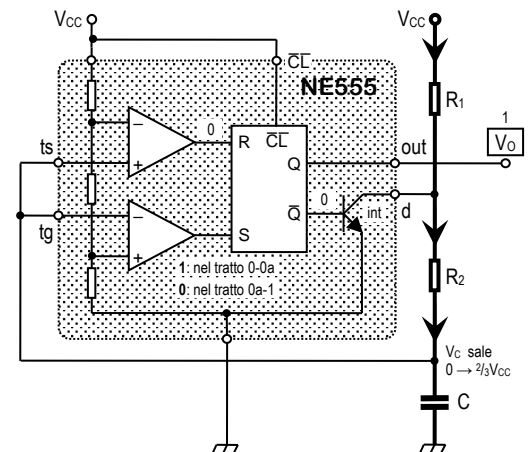
Il multivibratore astabile nel suo circuito base produce una tensione di uscita $V_O(t)$ avente la forma di un'onda quadra asimmetrica con periodo fisso e duty-cycle fisso di valore maggiore di 0,5. La figura seguente mostra il circuito che realizza questa funzionalità, la sua forma d'onda di uscita, e le sue formule di dimensionamento.



Analisi del circuito. Partendo dalla condizione iniziale di condensatore scarico, si succedono nel tempo i seguenti fenomeni.

Intervallo 0-1 : Carica iniziale condensatore

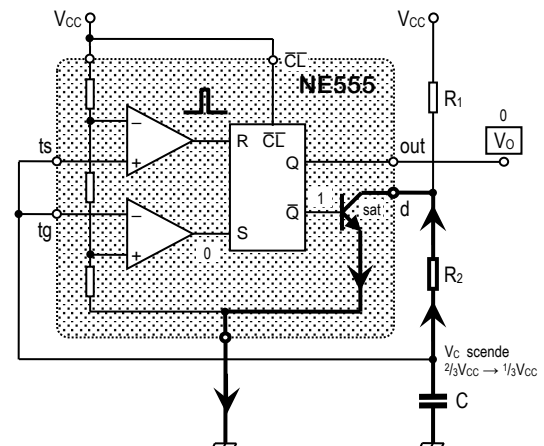
- **Istante iniziale 0.** Ipotizziamo il condensatore scarico ($V_C=0$) $\rightarrow R=0$ e $S=1$ (Set) $\rightarrow \bar{Q}=0$ \rightarrow BJT è interdetto.
- **Tratto 0-a.** Il condensatore si carica attraverso le resistenze R_1 e R_2 \rightarrow la tensione V_C partendo da 0 cerca di raggiungere V_{CC} , ma sale solo fino a $\frac{1}{3}V_{CC}$ \rightarrow in tutto questo intervallo si ha sempre $R=0$ e $S=1$ (Set) $\rightarrow \bar{Q}=0$ \rightarrow BJT rimane sempre interdetto.
- **Tratto a-1.** Appena la tensione V_C sale oltre $\frac{1}{3}V_{CC}$ $\rightarrow R=0$ e $S=0$ (Hold) $\rightarrow \bar{Q}$ si mantiene al valore precedente ossia 0 \rightarrow BJT rimane interdetto \rightarrow il condensatore continua a caricarsi attraverso le resistenze R_1 e R_2 \rightarrow la tensione V_C continua a salire cercando di raggiungere V_{CC} , ma sale solo fino a $\frac{2}{3}V_{CC}$.



Intervallo 1-2 : Impulso Reset e scarica del condensatore

- **Impulso di Reset.** Appena la tensione V_C sale sopra $\frac{2}{3}V_{CC}$ $\rightarrow R=1$ e $S=0$ (Reset) $\rightarrow \bar{Q}=1$ \rightarrow BJT è saturo \rightarrow il condensatore inizia a scaricarsi attraverso R_2 e il BJT \rightarrow la tensione V_C scende \rightarrow appena la tensione V_C scende sotto $\frac{2}{3}V_{CC}$ si ha la situazione $R=0$ e $S=0$ (Hold) $\rightarrow \bar{Q}$ si mantiene al valore precedente ossia 1.
- **Scarica del condensatore.** Poichè $\bar{Q}=1$ \rightarrow BJT saturo \rightarrow il condensatore continua a scaricarsi attraverso R_2 e BJT \rightarrow la tensione V_C continua a scendere cercando di raggiungere 0, ma arriva solo a raggiungere $\frac{1}{3}V_{CC}$. Il tempo necessario affinché V_C passi da $\frac{2}{3}V_{CC}$ a $\frac{1}{3}V_{CC}$ è:

$$T_L = R_2 \cdot C \cdot \ln(2) \quad (\text{dim.1, pag.18})$$

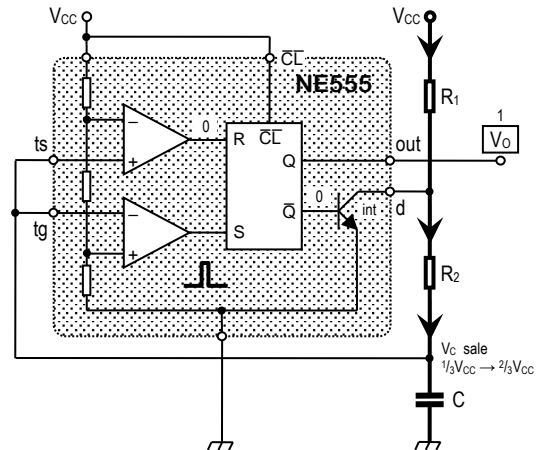


Intervallo 2-3 : Impulso di Set e carica del condensatore

- **Impulso di Set.** Appena V_C scende sotto $\frac{1}{3}V_{CC} \rightarrow R=0$ e $S=1$ (Set) $\rightarrow \bar{Q}=0 \rightarrow$ il BJT è interdetto \rightarrow il condensatore inizia a caricarsi attraverso le resistenze R_1 e $R_2 \rightarrow$ la tensione V_C sale \rightarrow appena la tensione V_C supera $\frac{1}{3}V_{CC} \rightarrow R=0$ e $S=0$ (Hold) $\rightarrow \bar{Q}$ si mantiene al valore precedente ossia 0.
- **Carica del condensatore.** Poichè $\bar{Q}=0 \rightarrow$ il BJT è interdetto \rightarrow il condensatore continua a caricarsi attraverso le resistenze R_1 e $R_2 \rightarrow$ la tensione V_C continua a salire cercando di raggiungere V_{CC} , ma arriva solo a raggiungere $\frac{2}{3}V_{CC}$.

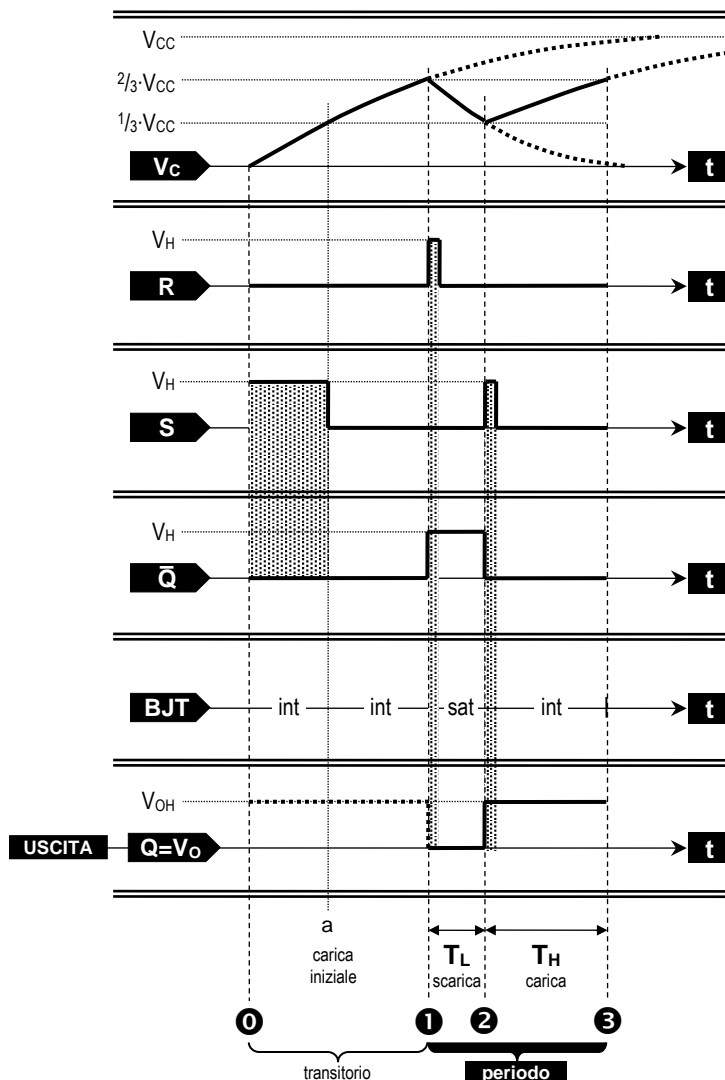
Il tempo necessario affinché V_C passi da $\frac{1}{3}V_{CC}$ a $\frac{2}{3}V_{CC}$ è:

$$T_H = (R_1 + R_2) \cdot C \cdot \ln(2) \quad (\text{dim.2, pag.18})$$



Oltre l'istante 3

Si ripete il ciclo 1-2-3.

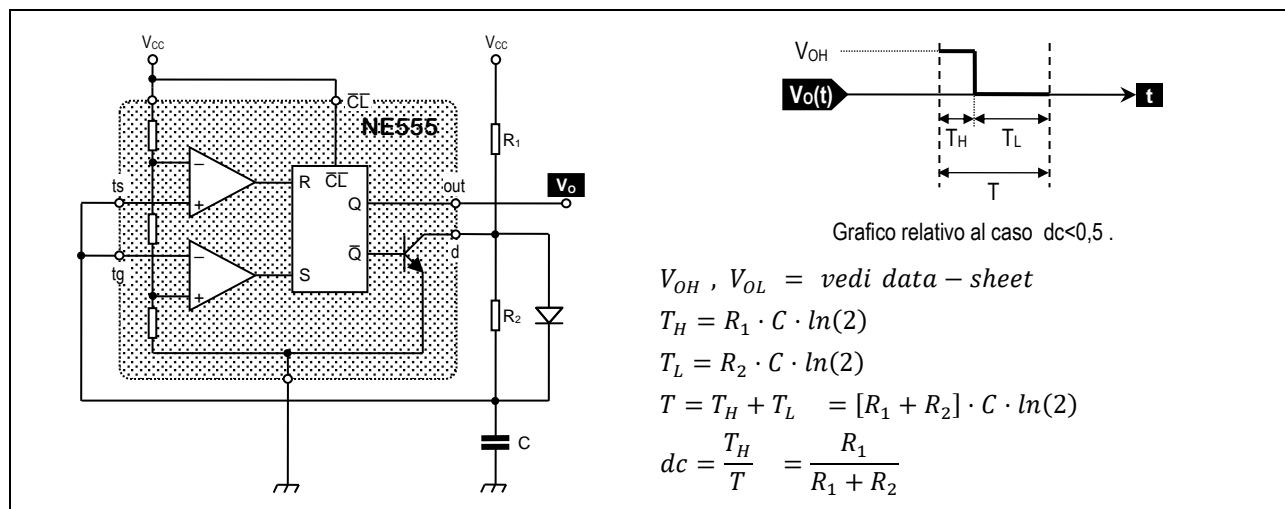


latch SR con clear disattivo ($\overline{CL}=1$)

ingresso		uscita precedente	uscita	
S	R	Q_{n-1}	Q_n	... ossia
1	0	--	1	si impone 1
0	1	--	0	si impone 0
0	0	1	1	Hold
0	0	0	0	Hold
1	1	--	--	VIETATO

Variante 1 (T fisso, dc fisso di valore qualsiasi)

Il multivibratore astabile nella sua variante 1 produce una tensione di uscita $V_O(t)$ avente la forma di un'onda quadra asimmetrica con periodo fisso e duty-cycle fisso di valore qualsiasi. La figura seguente mostra il circuito che realizza questa funzionalità, la sua forma d'onda di uscita, e le sue formule di dimensionamento.



Analisi del circuito Analizziamo la variante 1 come una modifica del circuito base.

Circuito base	Variante 1
<p>Intervallo T_H.</p> <p>Nell'intervallo T_H, la corrente scorre lungo il percorso indicato in figura, attraversando la resistenza R e il condensatore C. Ne segue la formula di calcolo indicata in basso:</p> <p>$T_H = [R_1 + R_2] \cdot [C] \cdot \ln(2)$</p>	<p>Intervallo T_H.</p> <p>Nell'intervallo T_H, la corrente scorre lungo il percorso indicato in figura, attraversando la resistenza R_1, il diodo e il condensatore C. Vista l'analogia strutturale tra i due circuiti, le formule di calcolo saranno uguali. Pertanto in questa variante il valore di T_H si calcola con la stessa formula valida per il circuito base sostituendo:</p> <p>$R_1 + R_2$ con $\rightarrow R_1$ (consideriamo il diodo ideale).</p> <p>Si ottiene la formula:</p> <p>$T_H = [R_1] \cdot [C] \cdot \ln(2)$</p>
<p>Intervallo T_L.</p> <p>Nell'intervallo T_L, la corrente scorre lungo il percorso indicato in figura, attraversando il condensatore C e la resistenza R_2. Ne segue la formula di calcolo indicata in basso:</p> <p>$T_L = [R_2] \cdot [C] \cdot \ln(2)$</p>	<p>Intervallo T_L.</p> <p>Nell'intervallo T_L, la corrente scorre lungo il percorso indicato in figura, attraversando la resistenza R_2 e il condensatore C. Vista l'analogia strutturale tra le due versioni, le formule di calcolo saranno uguali. Pertanto in questa versione il valore di T_L si calcola con la stessa formula valida per il circuito base:</p> <p>$T_L = [R_2] \cdot [C] \cdot \ln(2)$</p>
<p>Da questi risultati si trae che:</p> <p>$T = T_H + T_L = [R_1 + 2R_2] \cdot [C] \cdot \ln(2)$</p> <p>$dc = \frac{T_H}{T} = \frac{R_1}{R_1 + 2R_2}$</p>	<p>Da questi risultati si trae che:</p> <p>$T = T_H + T_L = [R_1 + R_2] \cdot [C] \cdot \ln(2)$</p> <p>$dc = \frac{T_H}{T} = \frac{R_1}{R_1 + R_2}$</p>

Esercizio -- Multivibratore astabile con NE555, circuito base (dc>50%)

RICHIAMI TEORICI

$V_{OH}, V_{OL} = \text{vedi data-sheet}$

$T_H = (R_1 + R_2) \cdot C \cdot \ln(2)$

$T_L = R_2 \cdot C \cdot \ln(2)$

$T = T_H + T_L = (R_1 + 2 \cdot R_2) \cdot C \cdot \ln(2)$

$dc = \frac{T_H}{T} = \frac{R_1 + R_2}{R_1 + 2 \cdot R_2}$

Problema di analisi

Analizzare il seguente multivibratore astabile con NE555.	<u>Dati dell'integrato NE555</u>	<u>Dati del circuito</u>	
	$V_{CC} = 15$	$R_1 = 1 \cdot 10^3$	
	$V_{OH} = 13,3$	$R_2 = 2 \cdot 10^3$	
	$V_{OL} = 0,1$	$C = 5 \cdot 10^{-9}$	

- | | | |
|---|--|---|
| 1) $T_H = (R_1 + R_2) \cdot C \cdot \ln(2)$ | $R_1 = 1 \cdot 10^3$ dato
$R_2 = 2 \cdot 10^3$ dato
$C = 5 \cdot 10^{-9}$ dato | $\rightarrow T_H = 10,40 \cdot 10^{-6}$ |
| 2) $T_L = R_2 \cdot C \cdot \ln(2)$ | $R_2 = 2 \cdot 10^3$ dato
$C = 5 \cdot 10^{-9}$ dato | $\rightarrow T_L = 6,93 \cdot 10^{-6}$ |
| 3) $T = T_H + T_L$ | $T_H = 10,40 \cdot 10^{-6}$ calcolo 1
$T_L = 6,93 \cdot 10^{-6}$ calcolo 2 | $\rightarrow T = 17,33 \cdot 10^{-6}$ |
| 4) $dc = \frac{T_H}{T}$ | $T_H = 10,40 \cdot 10^{-6}$ calcolo 1
$T = 17,33 \cdot 10^{-6}$ calcolo 3 | $\rightarrow dc = 0,6$ |

Problema di sintesi

Progettare un multivibratore astabile con NE555 che produca la seguente forma d'onda di uscita $V_O(t)$.	<u>Dati dell'integrato NE555</u>	<u>Dati della forma d'onda</u>	
	$V_{CC} = 15$	$f = 1 \cdot 10^3$	
	$V_{OH} = 13,3$	$dc = 0,7$	
	$V_{OL} = 0,1$		

- | | | |
|---|--|---|
| 1) $T = \frac{1}{f}$ | $f = 1 \cdot 10^3$ dato | $\rightarrow T = 1 \cdot 10^{-3}$ |
| 2) $dc = \frac{T_H}{T}$ | $T = 1 \cdot 10^{-3}$ calcolo 1
$dc = 0,7$ dato | $\rightarrow T_H = 0,7 \cdot 10^{-3}$ |
| 3) $T = T_H + T_L$ | $T = 1 \cdot 10^{-3}$ calcolo 1
$T_H = 0,7 \cdot 10^{-3}$ dato | $\rightarrow T_L = 0,3 \cdot 10^{-3}$ |
| 4) $T_L = R_2 \cdot C \cdot \ln(2)$ | $T_L = 0,3 \cdot 10^{-3}$ calcolo 3 | $\rightarrow \begin{cases} R_2 = 1 \cdot 10^3 \text{ scelta} \\ C = 0,43 \cdot 10^{-6} \end{cases}$ |
| 5) $T_H = (R_1 + R_2) \cdot C \cdot \ln(2)$ | $R_2 = 1 \cdot 10^3$ scelta 4
$T_H = 0,7 \cdot 10^{-3}$ calcolo 2
$C = 0,43 \cdot 10^{-6}$ calcolo 4 | $\rightarrow R_1 = 1,33 \cdot 10^3$ |

Esercizio -- Multivibratore astabile con NE555, variante 1 (dc qualsiasi)

RICHIAMI TEORICI

Grafico relativo al caso $dc < 0,5$.

$V_{OH}, V_{OL} = \text{vedi data - sheet}$

$T_H = R_1 \cdot C \cdot \ln(2)$

$T_L = R_2 \cdot C \cdot \ln(2)$

$T = T_H + T_L = [R_1 + R_2] \cdot C \cdot \ln(2)$

$dc = \frac{T_H}{T} = \frac{R_1}{R_1 + R_2}$

Problema di analisi

Analizzare il seguente multivibratore astabile con NE555.	Dati dell'integrato NE555	Dati del circuito	
	$V_{CC} = 15$ $V_{OH} = 13,3$ $V_{OL} = 0,1$	$R_1 = 1 \cdot 10^3$ $R_2 = 5 \cdot 10^3$ $C = 10 \cdot 10^{-9}$	

- | | | | | |
|----|----------------------------------|---|---|-----------------------------|
| 1) | $T_H = R_1 \cdot C \cdot \ln(2)$ | $\left[\begin{array}{l} R_1 = 1 \cdot 10^3 \text{ dato} \\ C = 10 \cdot 10^{-9} \text{ dato} \end{array} \right.$ | → | $T_H = 6,93 \cdot 10^{-6}$ |
| 2) | $T_L = R_2 \cdot C \cdot \ln(2)$ | $\left[\begin{array}{l} R_2 = 5 \cdot 10^3 \text{ dato} \\ C = 10 \cdot 10^{-9} \text{ dato} \end{array} \right.$ | → | $T_L = 34,66 \cdot 10^{-6}$ |
| 3) | $T = T_H + T_L$ | $\left[\begin{array}{l} T_H = 6,93 \cdot 10^{-6} \text{ calcolo 1} \\ T_L = 34,66 \cdot 10^{-6} \text{ calcolo 2} \end{array} \right.$ | → | $T = 41,59 \cdot 10^{-6}$ |
| 4) | $dc = \frac{T_H}{T}$ | $\left[\begin{array}{l} T_H = 6,93 \cdot 10^{-6} \text{ calcolo 1} \\ T = 41,59 \cdot 10^{-6} \text{ calcolo 3} \end{array} \right.$ | → | $dc = 0,17$ |

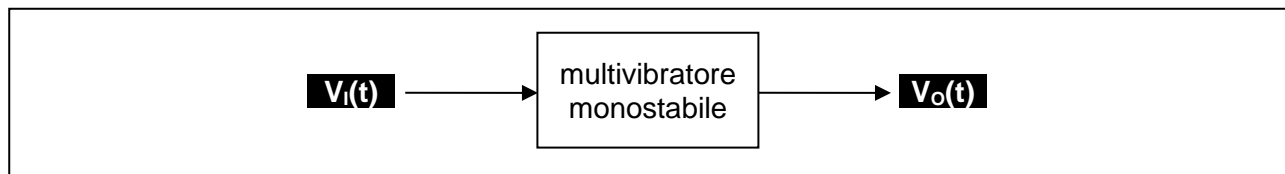
Problema di sintesi

Progettare un multivibratore astabile con NE555 che produca la seguente forma d'onda di uscita $V_o(t)$.	Dati dell'integrato NE555	Dati della forma d'onda	
	$V_{CC} = 15$ $V_{OH} = 13,3$ $V_{OL} = 0,1$	$V_{OH} = 13,3$ $V_{OL} = 0,1$ $f = 5 \cdot 10^3$ $dc = 0,4$	

- | | | | | |
|----|----------------------------------|---|---|--|
| 1) | $T = \frac{1}{f}$ | $\left[f = 5 \cdot 10^3 \text{ dato} \right.$ | → | $T = 200 \cdot 10^{-6}$ |
| 2) | $dc = \frac{T_H}{T}$ | $\left[\begin{array}{l} T = 200 \cdot 10^{-6} \text{ calcolo 1} \\ dc = 0,4 \text{ dato} \end{array} \right.$ | → | $T_H = 80 \cdot 10^{-6}$ |
| 3) | $T = T_H + T_L$ | $\left[\begin{array}{l} T = 200 \cdot 10^{-3} \text{ calcolo 1} \\ T_H = 80 \cdot 10^{-3} \text{ calcolo 2} \end{array} \right.$ | → | $T_L = 120 \cdot 10^{-6}$ |
| 4) | $T_H = R_1 \cdot C \cdot \ln(2)$ | $T_H = 80 \cdot 10^{-6} \text{ calcolo 2}$ | → | $\left\{ \begin{array}{l} R_1 = 1 \cdot 10^3 \text{ scelta} \\ C = 115,42 \cdot 10^{-9} \end{array} \right.$ |
| 5) | $T_L = R_2 \cdot C \cdot \ln(2)$ | $\left[\begin{array}{l} C = 115,42 \cdot 10^{-9} \text{ calcolo 4} \\ T_L = 120 \cdot 10^{-6} \text{ calcolo 3} \end{array} \right.$ | → | $R_2 = 1,5 \cdot 10^3$ |

4.3 -- Generatore di impulso

Il generatore di impulso, detto più comunemente *multivibratore monostabile* oppure *one-shot*, è un circuito con un ingresso e un'uscita, rappresentato schematicamente nella figura che segue.



Definiamo il funzionamento del circuito, nella sua realizzazione con l'integrato NE555, analizzando le forme d'onda di ingresso $V_I(t)$ e di uscita $V_O(t)$.

➤ **Impulso di ingresso $V_I(t)$.** Questa tensione vale normalmente zero, poi, in un certo istante assume il valore positivo V_{IH} (fronte di salita), rimane su tale valore per il tempo T_I , e infine torna al valore zero (fronte di discesa).

Affinchè il circuito funzioni correttamente, l'impulso di ingresso deve soddisfare le due condizioni seguenti, chiamate *condizioni di innesco*:

1. l'ampiezza dell'impulso di ingresso (V_{IH}) deve superare un certo valore minimo (ossia $V_{IH} > V_{IH_min}$);
2. la durata dell'impulso di ingresso (T_I) deve superare un certo valore minimo (ossia $T_I > T_{I_min}$).

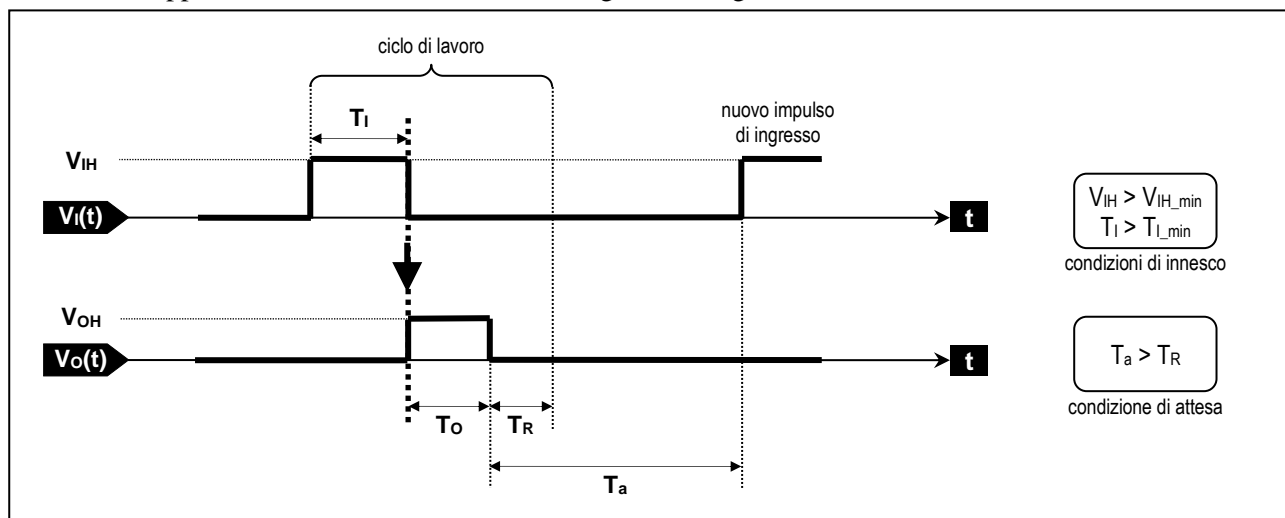
➤ **Impulso di uscita $V_O(t)$.** Questa tensione vale normalmente V_{OL} (circa 0). Nell'istante in cui si presenta il fronte di discesa dell'impulso d'ingresso, $V_O(t)$ lascia il valore V_{OL} e sale al valore V_{OH} , rimane su V_{OH} per il tempo T_O , e poi torna al valore di riposo V_{OL} .

Si ha, dunque, che l'impulso di ingresso $V_I(t)$, soddisfatte le 2 condizioni di innesco, provoca l'impulso di uscita $V_O(t)$.

Si definiscono, inoltre i seguenti parametri:

- **Tempo di ripristino (T_R).** Questo è il tempo che il circuito impiega per tornare allo stato di riposo dopo che sia terminato l'impulso di uscita.
- **Ciclo di lavoro.** Questo è il tempo intercorrente tra l'arrivo dell'impulso di ingresso e il termine del tempo di ripristino.
- **Tempo di attesa (T_a).** Questo è il tempo intercorrente tra la fine dell'impulso di uscita e l'arrivo di un nuovo impulso di ingresso. Poiché la gestione dell'impulso di ingresso è fatta correttamente solo se il circuito si trova in condizioni di riposo, allora occorre che sia soddisfatta la condizione $T_a > T_R$.

Tutto ciò è rappresentato schematicamente nella figura che segue.

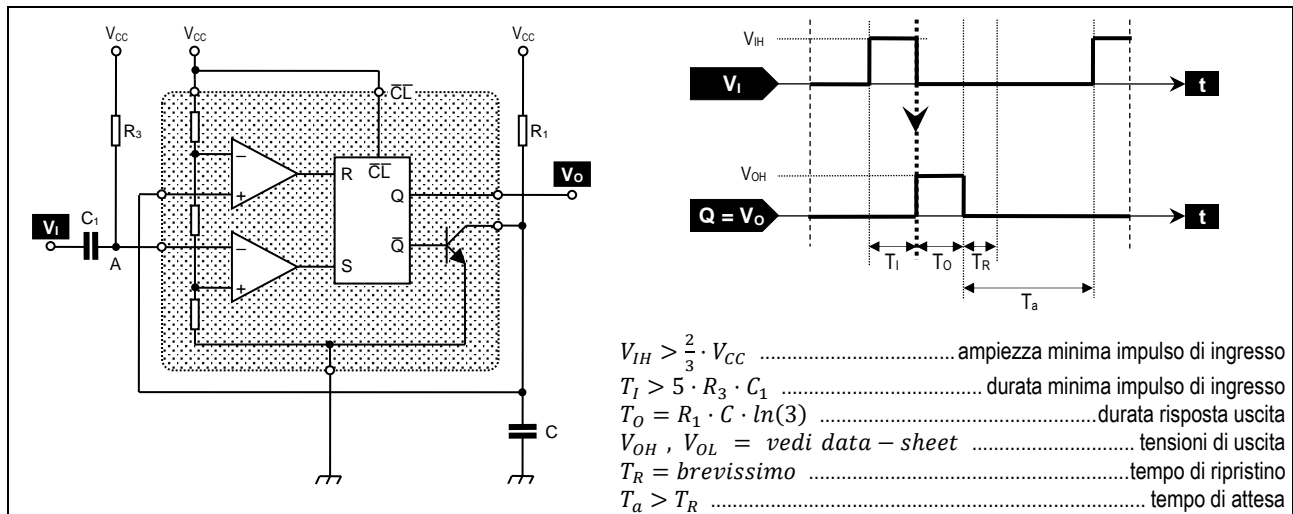


Presenteremo il multivibratore monostabile nelle versioni seguenti.

- Circuito base:..... ➔ T_O fisso;
- Variante 1: ➔ T_O regolabile.

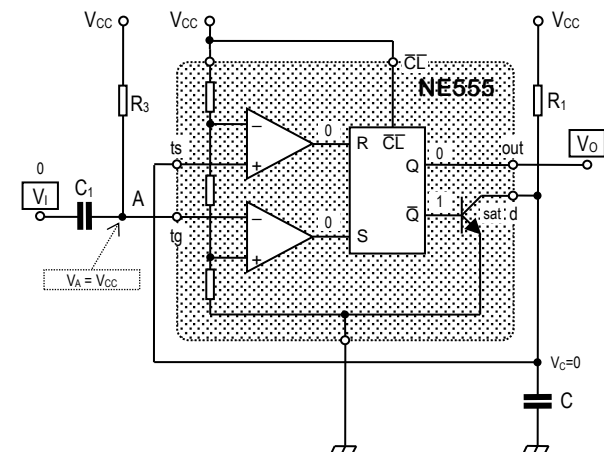
Circuito base (T_O fisso)

La figura seguente mostra il multivibratore monostabile con NE555 nella sua versione base. Dopo il circuito sono riportate le sue formule di dimensionamento.



Analisi del circuito. Si succedono nel tempo i seguenti fenomeni.

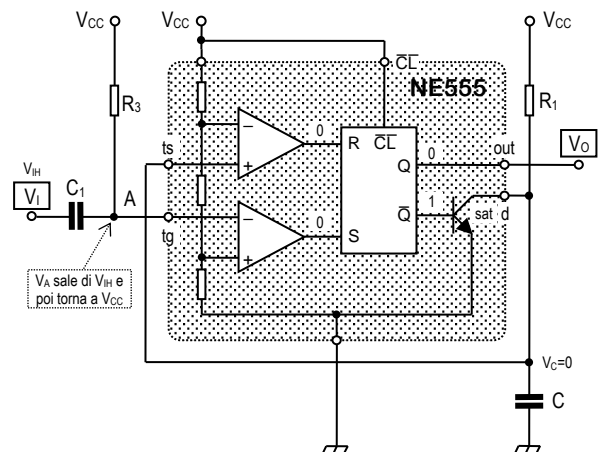
Intervallo 1-2: situazione di riposo iniziale



- > Ipotizziamo $\bar{Q}=1 \rightarrow$ BJT saturo $\rightarrow C$ scarico ($V_C=0$) $\rightarrow R=0$.
- > Ipotizziamo $V_I=0 \rightarrow V_A=V_{CC} \rightarrow S=0$.
- > Poichè $S=0$ e $R=0$, allora siamo in Hold \rightarrow si conferma $\bar{Q}=1$.

Nota. Lo step iniziale 0-1. Nell'analisi appena fatta abbiamo ipotizzato la condizione iniziale $\bar{Q}=1$ e ne abbiamo verificato la stabilità. Se la condizione iniziale fosse $\bar{Q}=0$, essa sarebbe instabile ed evolverebbe spontaneamente, attraverso lo *step iniziale* (corrispondente all'intervallo 0-1), nella condizione stabile $\bar{Q}=1$.

Intervallo 2-3: impulso di ingresso



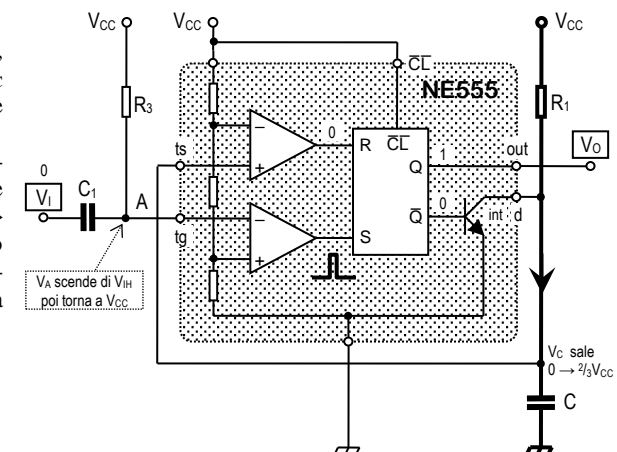
- > **Istante 2.** La tensione di ingresso V_I sale improvvisamente da 0 a $V_{IH} \rightarrow$ la tensione V_A , per l'inerzia di C_1 , sale improvvisamente da V_{CC} a $V_{CC}+V_{IH}$.
- > **Dopo l'istante 2.** La tensione V_A torna esponenzialmente al valore di riposo V_{CC} impiegando il tempo $\Delta T_A = 5 \cdot R_3 \cdot C_1$.

Nota. La durata ΔT_A . L'intervallo ΔT_A deve essere minore della durata T_I dell'impulso di ingresso: solo così il circuito sarà pronto a gestire in maniera corretta il fronte di discesa dell'impulso di ingresso.

Intervallo 3-4: fine impulso ingresso e risposta uscita

- > **Istante 3.** V_I scende improvvisamente da V_{IH} a 0 \rightarrow la tensione V_A , per l'inerzia del condensatore C_1 , scende improvvisamente da $V_{CC}+V_{IH}$ a $V_{CC}-V_{IH} \rightarrow$ poichè si è ipotizzato $V_{IH} > \frac{2}{3} V_{CC}$ allora la tensione V_A scende sotto $\frac{1}{3} V_{CC} \rightarrow S=1$ (Set) $\rightarrow Q=1$ e $\bar{Q}=0$.
- > **Dopo l'istante 3.** La tensione V_A , partendo da $V_{CC}-V_{IH}$ torna esponenzialmente al valore di riposo $V_{CC} \rightarrow$ ciò provoca la situazione $R=0$ e $S=0$ (Hold) $\rightarrow \bar{Q}$ si mantiene al valore precedente ossia 0 \rightarrow il BJT è interdetto \rightarrow il condensatore C inizia a caricarsi attraverso la resistenza $R_1 \rightarrow$ la tensione V_C , partendo da 0, sale esponenzialmente cercando di raggiungere $V_{CC} \rightarrow$ la salita di V_C termina quando raggiunge il valore $\frac{2}{3} V_{CC}$ il che avviene nel tempo:

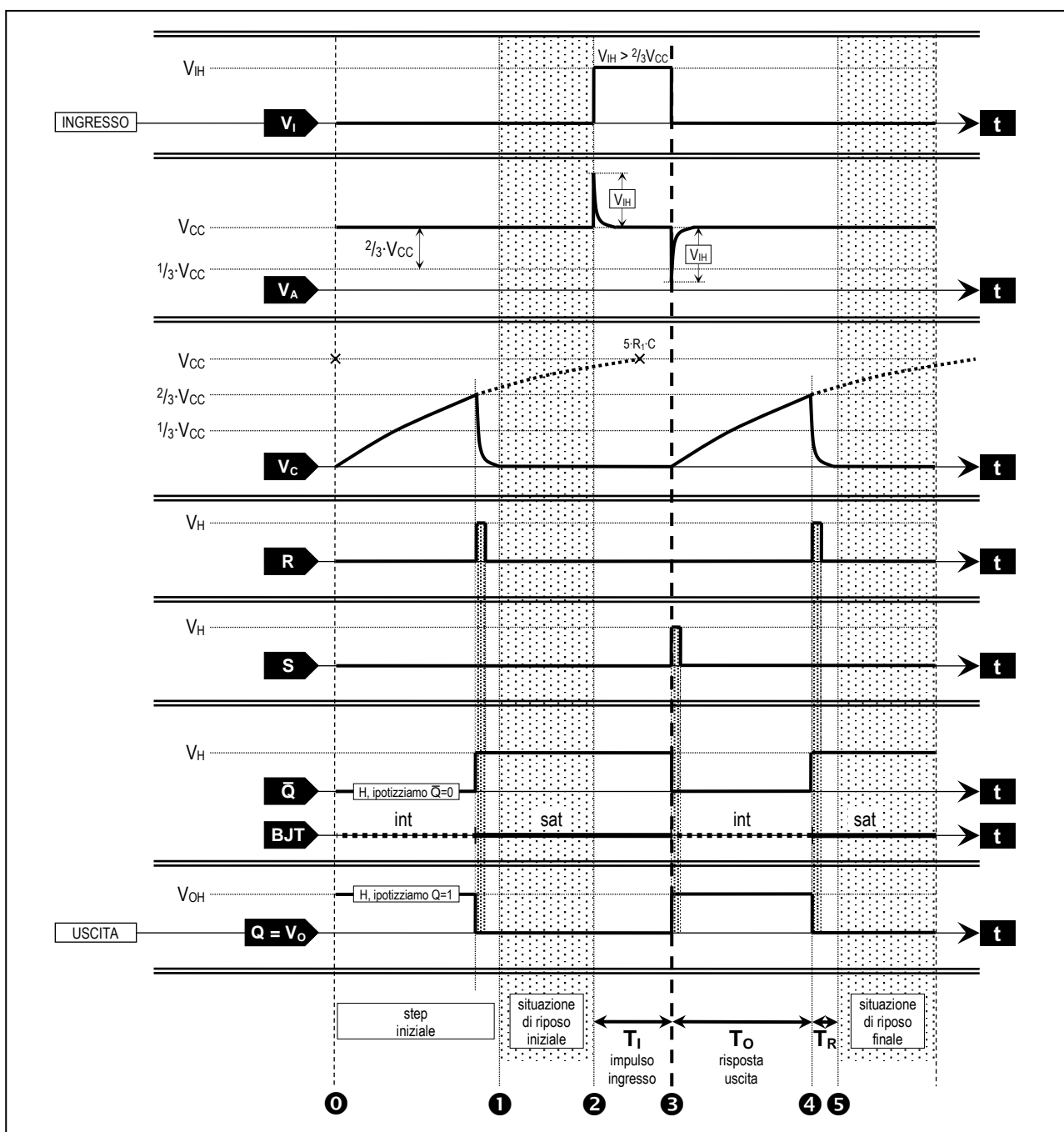
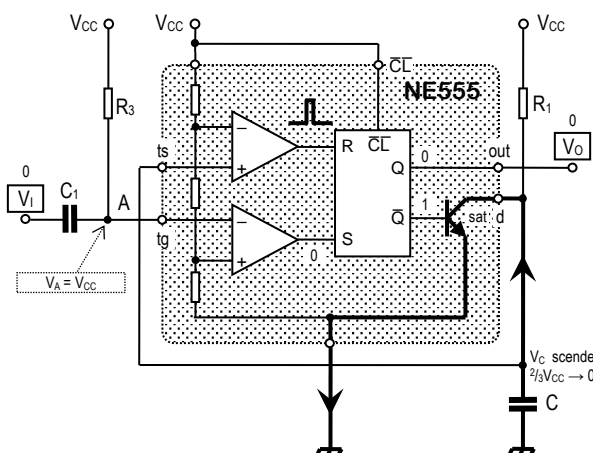
$$T_O = R_1 \cdot C \cdot \ln(3) \quad (\text{dim.3, pag.19}).$$



Intervallo 4-5: fine risposta uscita e ritorno situazione iniziale

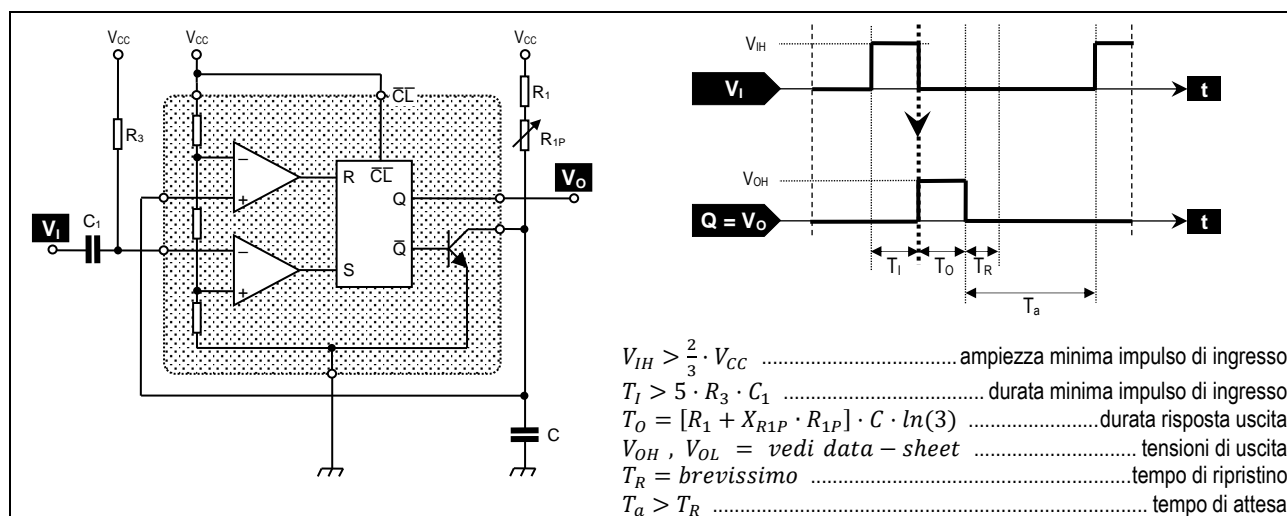
- > **Istante 4.** Appena la tensione V_C sale sopra $\frac{2}{3}V_{CC}$ si ha la situazione $R=1$ e $S=0$ (Reset) $\rightarrow Q=1 \rightarrow$ BJT è saturo \rightarrow il condensatore C inizia a scaricarsi attraverso il BJT $\rightarrow V_C$ scende.
- > **Dopo l'istante 4.** Appena la tensione V_C scende sotto $\frac{2}{3}V_{CC}$ si ha la situazione $R=0$ e $S=0$ (Hold) $\rightarrow \bar{Q}$ si mantiene al valore precedente ossia 1 \rightarrow il BJT continua ad essere saturo \rightarrow la tensione V_C continua a scendere e si stabilizza al valore 0 in un tempo T_R (tempo di ripristino) brevissimo infatti nel circuito di scarica l'unica resistenza presente è la bassa resistenza di saturazione del transistor; naturalmente il tempo di attesa T_a prima dell'arrivo di un nuovo impulso di input deve essere maggiore di T_R .

Questa situazione è stabile e si mantiene invariata per tutto il tempo a seguire.

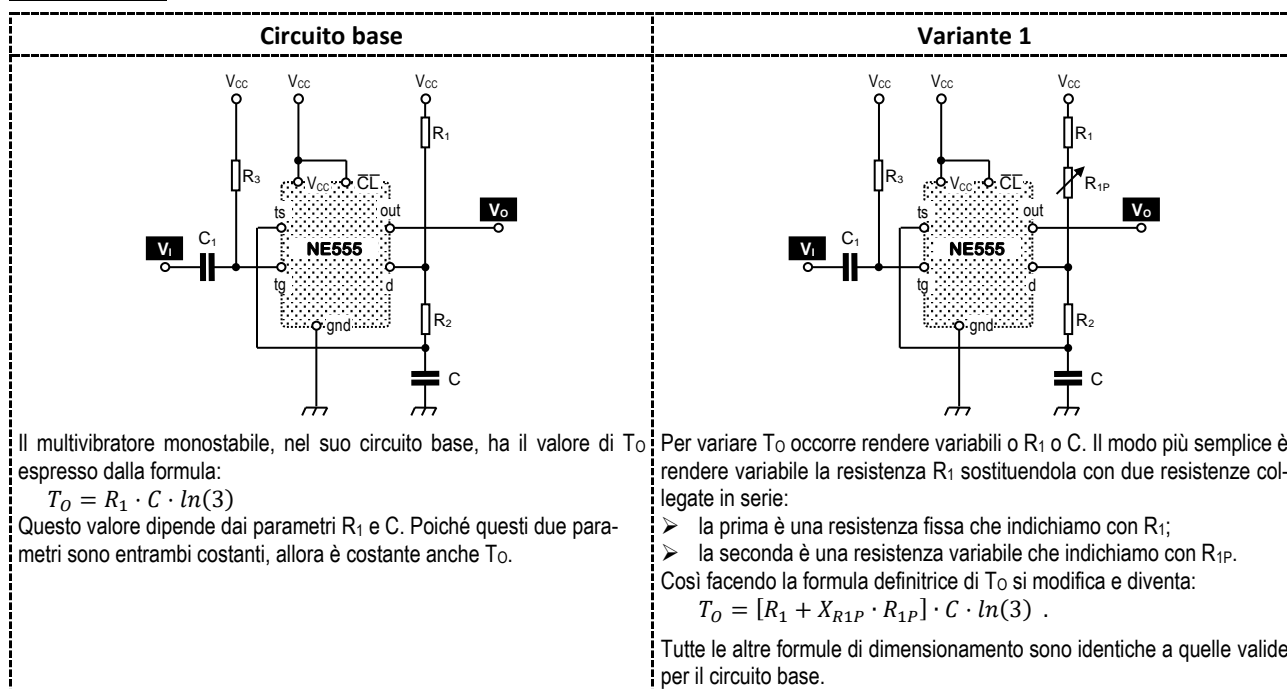


Variante 1 (T_O regolabile)

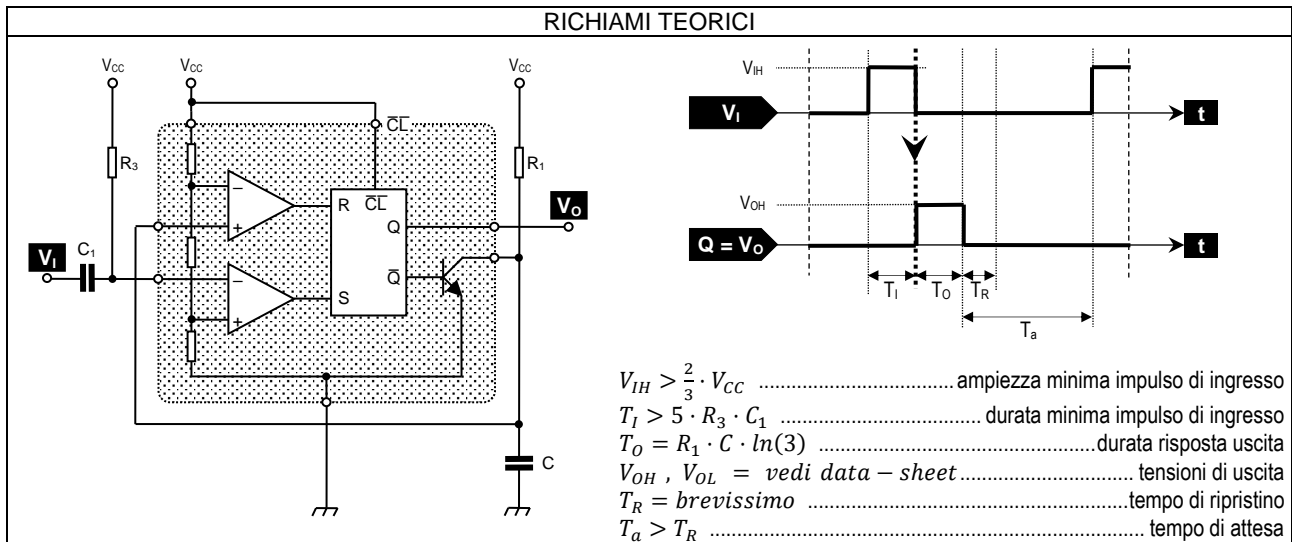
Il multivibratore monostabile, nella sua variante 1, fornisce un impulso di uscita $V_O(t)$ di durata regolabile. La figura seguente mostra il circuito che realizza questa funzionalità, la sua forma d'onda di uscita, e le sue formule di dimensionamento.



Analisi del circuito Analizziamo la variante 1 come una modifica del circuito base.



Esercizio -- Multivibratore monostabile con NE555, circuito base (T_0 fisso)



Problema di analisi

Analizzare il seguente multivibratore monostabile con NE555.	<u>Dati dell'integrato NE555</u>	<u>Dati del circuito</u>	<u>Impulso di ingresso</u>
	$V_{CC} = 15$ $V_{OH} = 13,3$ $V_{CC} = 0,1$	$R_1 = 1 \cdot 10^3$ $R_3 = 4 \cdot 10^3$ $C = 10 \cdot 10^{-9}$ $C_1 = 20 \cdot 10^{-9}$	$V_{IH} = 12$ $T_I = 30 \cdot 10^{-3}$

- 1) $T_I > 5 \cdot R_3 \cdot C_1$

$T_I = 30 \cdot 10^{-3}$ dato
 $R_3 = 4 \cdot 10^3$ dato
 $C_1 = 20 \cdot 10^{-9}$ dato

 $\rightarrow 30 \cdot 10^{-3} > 0,4 \cdot 10^{-3}$ (OK)
- 2) $V_{IH} > \frac{2}{3} \cdot V_{CC}$

$V_{IH} = 12$ dato
 $V_{CC} = 15$ dato

 $\rightarrow 12 > 10$ (OK)
- 3) $T_0 = R_1 \cdot C \cdot \ln(3)$

$R_1 = 1 \cdot 10^3$ dato
 $C = 10 \cdot 10^{-9}$ dato

 $\rightarrow T_0 = 11 \cdot 10^{-6}$
- 4) T_R brevissimo
- 5) $T_a > T_R$

Problema di sintesi

Progettare un multivibratore monostabile con NE555 che produca la seguente relazione ingresso-uscita.	<u>Dati dell'integrato NE555</u>	<u>Impulso di ingresso</u>	<u>Risposta uscita</u>
	$V_{CC} = 15$ $V_{OH} = 13,3$ $V_{OL} = 0,1$	$V_{IH} = 12$ $T_I = 10 \cdot 10^{-3}$	$T_0 = 15 \cdot 10^{-3}$

- 1) Controllo sul sicuro innesco.
 $V_{IH} > \frac{2}{3} \cdot V_{CC}$

$V_{IH} = 12$ dato
 $V_{CC} = 15$ dato

 $\rightarrow 12 > 10$ (OK)
 Poichè è verificata la condizione di sopra si procede con il progetto.
- 2) $T_I > 5 \cdot R_3 \cdot C_1$

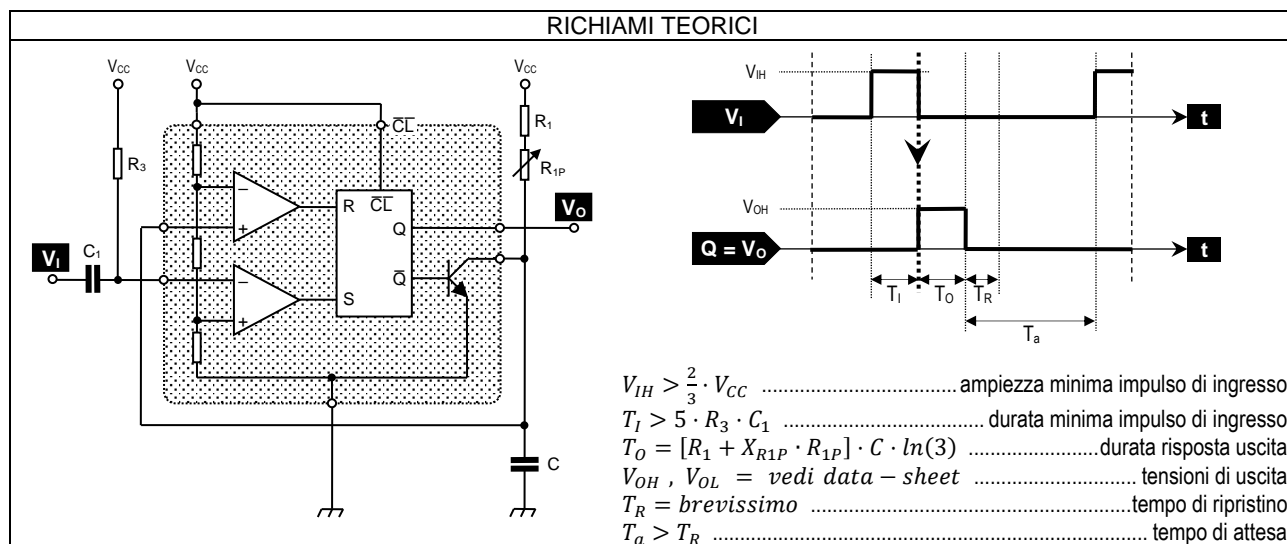
$T_I = 10 \cdot 10^{-3}$ dato

 $\rightarrow \begin{cases} R_3 = 1 \cdot 10^{-3} \text{ scelta} \\ C_1 < 2 \cdot 10^{-6} \rightarrow C_1 = 1 \cdot 10^{-6} \text{ scelta} \end{cases}$
- 3) $T_0 = R_1 \cdot C \cdot \ln(3)$

$T_0 = 15 \cdot 10^{-3}$ dato

 $\rightarrow \begin{cases} R_1 = 1 \cdot 10^{-3} \text{ scelta} \\ C_1 = 13,65 \cdot 10^{-6} \end{cases}$
- 4) T_R brevissimo
- 5) $T_a > T_R$

Esercizio -- Multivibratore monostabile con NE555, variante 1 (T_0 regolabile)



Problema di analisi

Analizzare il seguente multivibratore monostabile con NE555.

Dati dell'integrato NE555	Dati del circuito	Impulso di ingresso
$V_{CC} = 15$	$R_1 = 1 \cdot 10^3$	$V_{IH} = 12$
$V_{OH} = 13,3$	$R_{1P} = 2 \cdot 10^3$	$T_I = 30 \cdot 10^{-3}$
$V_{CL} = 0,1$	$R_3 = 4 \cdot 10^3$	
	$C = 10 \cdot 10^{-9}$	
	$C_1 = 20 \cdot 10^{-9}$	

- 1) $T_I > 5 \cdot R_3 \cdot C_1$

$T_I = 30 \cdot 10^{-3}$ dato
 $R_3 = 4 \cdot 10^3$ dato
 $C_1 = 20 \cdot 10^{-9}$ dato

→

$30 \cdot 10^{-3} > 0,4 \cdot 10^{-3}$ (OK)
- 2) $V_{IH} > \frac{2}{3} \cdot V_{CC}$

$V_{IH} = 12$ dato
 $V_{CC} = 15$ dato

→

$12 > 10$ (OK)
- 3) $T_{O_min} = R_1 \cdot C \cdot \ln(3)$

$R_1 = 1 \cdot 10^3$ dato
 $C = 10 \cdot 10^{-9}$ dato

→

$T_{O_min} \cong 11 \cdot 10^{-6}$
- 4) $T_{O_MAX} = [R_1 + R_{1P}] \cdot C \cdot \ln(3)$

$R_1 = 1 \cdot 10^3$ dato
 $R_{1P} = 2 \cdot 10^3$ dato
 $C = 10 \cdot 10^{-9}$ dato

→

$T_{O_MAX} \cong 33 \cdot 10^{-6}$
- 5) T_R brevissimo
- 6) $T_a > T_R$

Problema di sintesi

Progettare un multivibratore monostabile con NE555 che produca la seguente relazione ingresso-uscita.	<u>Dati dell'integrato NE555</u>	<u>Impulso di ingresso</u>	<u>Risposta uscita</u>
	$V_{CC} = 15$	$V_{IH} = 12$	$T_{O_min} = 15 \cdot 10^{-3}$
	$V_{OH} = 13,3$	$T_I = 10 \cdot 10^{-3}$	$T_{O_MAX} = 25 \cdot 10^{-3}$
	$V_{OL} = 0,1$		

- 1) Controllo sul sicuro innesco.

$$V_{IH} > \frac{2}{3} \cdot V_{CC} \quad \left[\begin{array}{l} V_{IH} = 12 \text{ dato} \\ V_{CC} = 15 \text{ dato} \end{array} \right. \quad \rightarrow \quad 12 > 10 \quad (\text{OK})$$

Poichè è verificata la condizione di sopra si procede con il progetto.

$$2) \quad T_I > 5 \cdot R_3 \cdot C_1 \quad [T_I = 10 \cdot 10^{-3} \text{ dato}] \quad \rightarrow \quad \begin{cases} R_3 = 1 \cdot 10^3 \text{ scelta} \\ C_1 < 2 \cdot 10^{-6} \rightarrow C_1 = 1 \cdot 10^{-6} \text{ scelta} \end{cases}$$

$$3) \quad T_{O_min} = R_1 \cdot C \cdot \ln(3) \quad [T_O = 15 \cdot 10^{-3} \text{ dato}] \quad \rightarrow \quad \begin{cases} R_1 = 1 \cdot 10^3 \text{ scelta} \\ C = 13,65 \cdot 10^{-6} \end{cases}$$

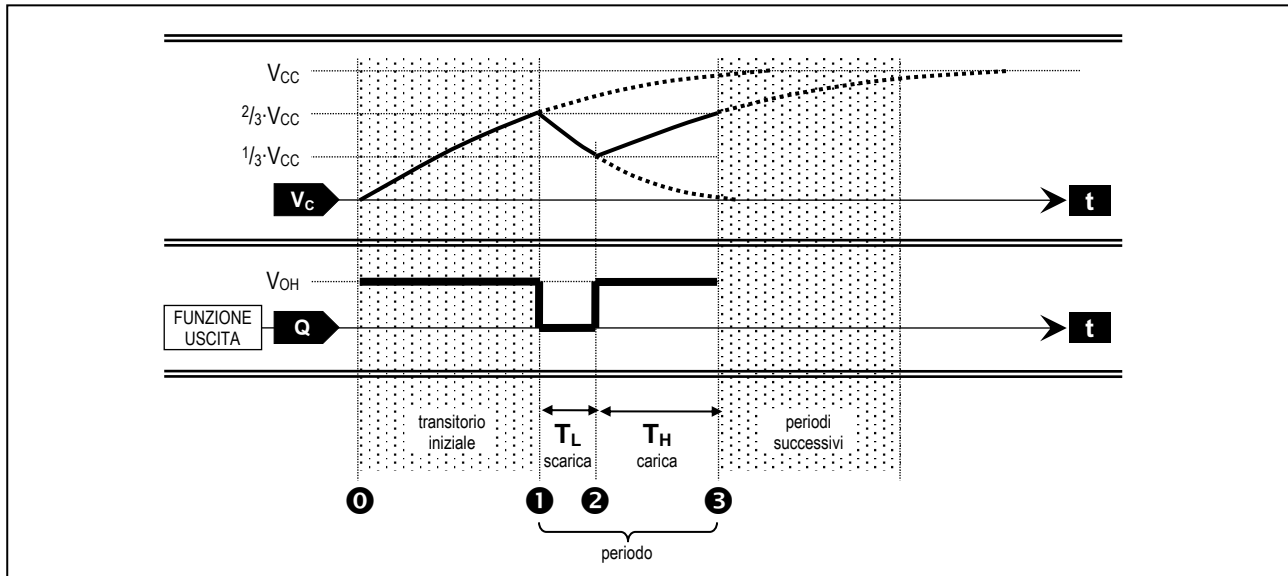
$$4) \quad T_{O_MAX} = [R_1 + R_{1P}] \cdot C \cdot \ln(3) \quad \left[\begin{array}{l} T_O = 15 \cdot 10^{-3} \text{ dato} \\ R_1 = 1 \cdot 10^3 \text{ scelta 3} \\ C = 13,65 \cdot 10^{-6} \text{ calcolo 3} \end{array} \right. \quad \rightarrow \quad R_{1P} = 665$$

- 5) T_R brevissimo

- 6) $T_a > T_R$

Dimostrazioni

Dimostrazioni 1 e 2: (pag.7) - multivibratore astabile.



Calcolo di T_L (intervallo 1-2)

L'equazione della $V_C(t)$ è:

$$V_C(t) = V_{FIN} - (V_{FIN} - V_{IN}) \cdot e^{-\left(\frac{t}{\tau}\right)} \quad [\tau = R_2 \cdot C]$$

Sostituendo i valori $V_{IN} = \frac{2}{3}V_{CC}$ e $V_{FIN} = 0$ si ottiene:

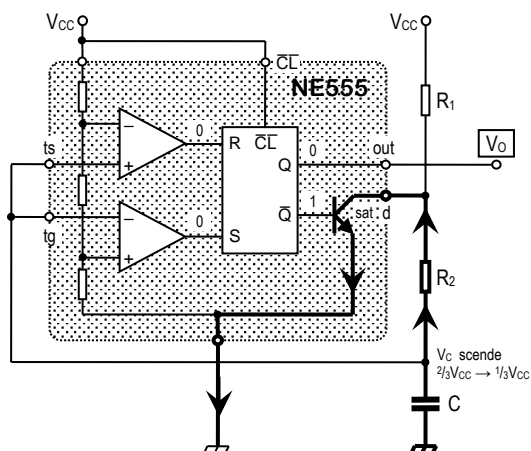
$$V_C(t) = 0 - \left(0 - \frac{2}{3}V_{CC}\right) \cdot e^{-\left(\frac{t}{\tau}\right)}$$

Questa funzione raggiunge il valore $V_C = \frac{1}{3}V_{CC}$ al tempo t che soddisfa l'equazione:

$$\frac{1}{3}V_{CC} = 0 - \left(0 - \frac{2}{3}V_{CC}\right) \cdot e^{-\left(\frac{t}{\tau}\right)}$$

che risolta fornisce il tempo:

$$T_L = \tau \cdot \ln(2) = R_2 \cdot C \cdot \ln(2)$$



Calcolo di T_H (intervallo 2-3)

L'equazione della $V_C(t)$ è:

$$V_C(t) = V_{FIN} - (V_{FIN} - V_{IN}) \cdot e^{-\left(\frac{t}{\tau}\right)} \quad [\tau = (R_1 + R_2) \cdot C]$$

Sostituendo i valori $V_{IN} = \frac{1}{3}V_{CC}$ e $V_{FIN} = V_{CC}$ si ottiene:

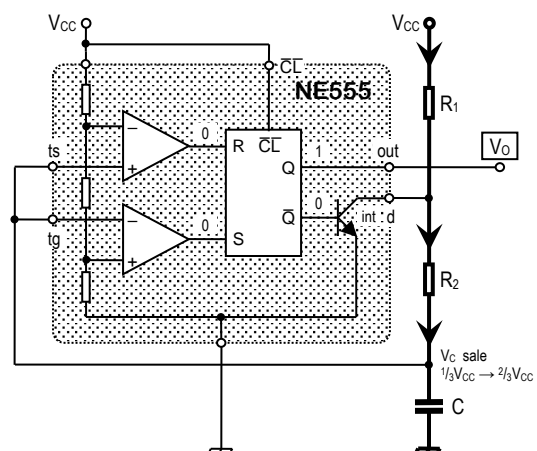
$$V_C(t) = V_{CC} - \left(V_{CC} - \frac{1}{3}V_{CC}\right) \cdot e^{-\left(\frac{t}{\tau}\right)}$$

Questa funzione raggiunge il valore $V_C = \frac{2}{3}V_{CC}$ al tempo t che soddisfa l'equazione:

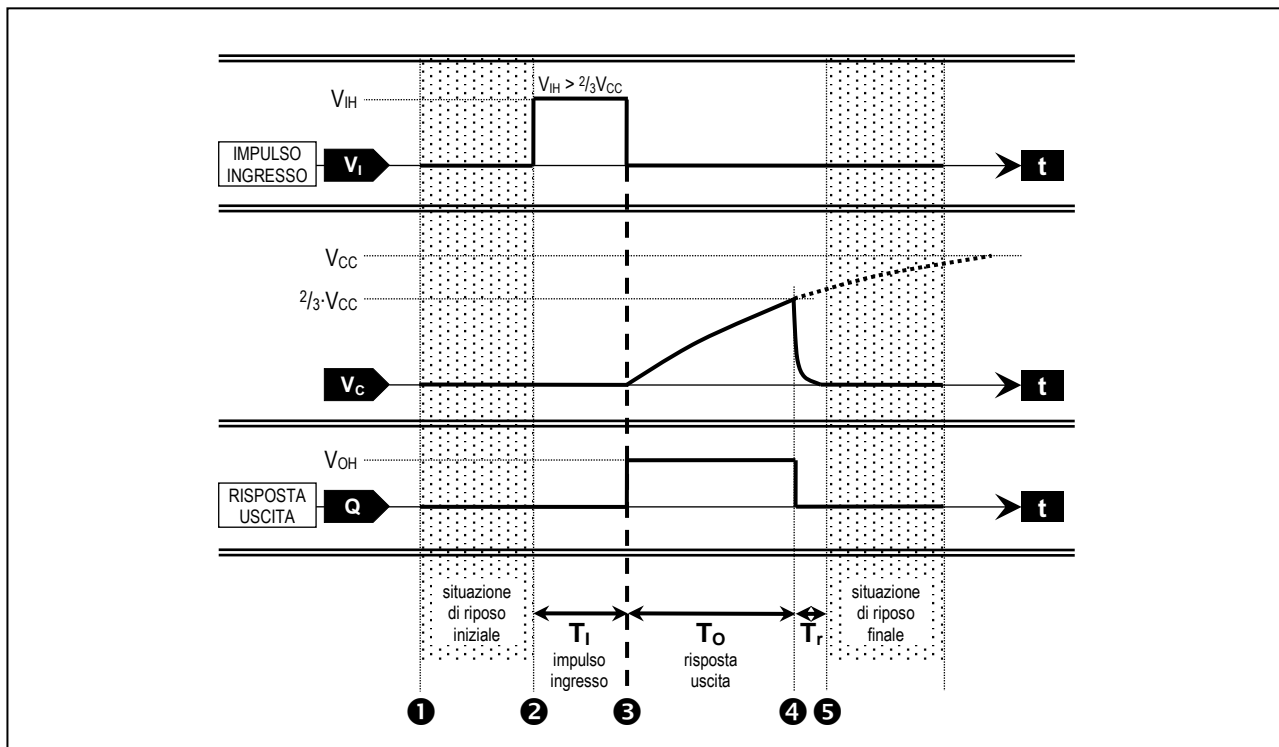
$$\frac{2}{3}V_{CC} = V_{CC} - \left(V_{CC} - \frac{1}{3}V_{CC}\right) \cdot e^{-\left(\frac{t}{\tau}\right)}$$

che risolta fornisce il tempo:

$$T_H = \tau \cdot \ln(2) = (R_1 + R_2) \cdot C \cdot \ln(2)$$



Dimostrazione 3: (pag.12) - multivibratore monostabile, calcolo di T_O (intervallo ③-④)



L'equazione della $V_C(t)$ è:

$$V_C(t) = V_{FIN} - (V_{FIN} - V_{IN}) \cdot e^{-\left(\frac{t}{\tau}\right)} \quad [\tau = R_1 \cdot C] \quad .$$

Sostituendo i valori $V_{IN}=0$ e $V_{FIN}=V_{CC}$ si ottiene:

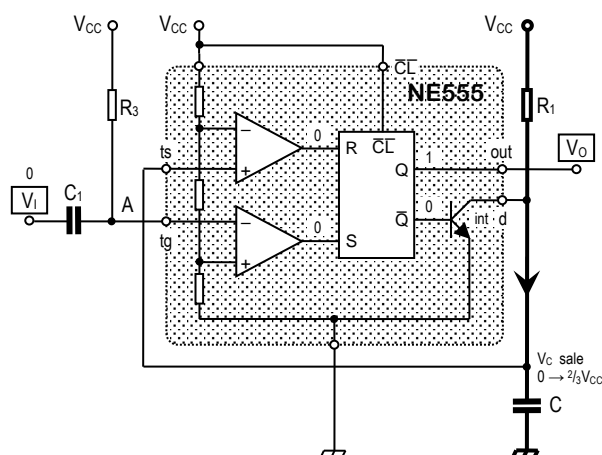
$$V_C(t) = V_{CC} - (-V_{CC} - 0) \cdot e^{-\left(\frac{t}{\tau}\right)} \quad .$$

Questa funzione raggiunge il valore $V_C=2/3 \cdot V_{CC}$ al tempo t che soddisfa l'equazione:

$$\frac{2}{3} V_{CC} = V_{CC} - (-V_{CC} - 0) \cdot e^{-\left(\frac{t}{\tau}\right)}$$

che risolta fornisce il tempo T_O :

$$T_O = \tau \cdot \ln(3) = R_1 \cdot C \cdot \ln(3) \quad .$$



Quadro riassuntivo

<p>MV astabile circuitto base (T_0 fisso, $dc > 0,5$)</p>	<p>$V_{OH}, V_{OL} = \text{vedi data - sheet}$</p> $T_H = (R_1 + R_2) \cdot C \cdot \ln(2)$ $T_L = R_2 \cdot C \cdot \ln(2)$ $T = T_H + T_L = (R_1 + 2 \cdot R_2) \cdot C \cdot \ln(2)$ $dc = \frac{T_H}{T} = \frac{R_1 + R_2}{R_1 + 2 \cdot R_2}$
<p>MV astabile variante 1 (T_0 fisso, dc qualunque)</p>	<p>Grafico relativo al caso $dc < 0,5$.</p> <p>$V_{OH}, V_{OL} = \text{vedi data - sheet}$</p> $T_H = R_1 \cdot C \cdot \ln(2)$ $T_L = R_2 \cdot C \cdot \ln(2)$ $T = T_H + T_L = [R_1 + R_2] \cdot C \cdot \ln(2)$ $dc = \frac{T_H}{T} = \frac{R_1}{R_1 + R_2}$
<p>MV monostabile circuitto base (T_0 fisso)</p>	<p>$V_{IH} > \frac{2}{3} \cdot V_{CC}$ ampiezza minima impulso di ingresso</p> <p>$T_I > 5 \cdot R_3 \cdot C_1$ durata minima impulso di ingresso</p> <p>$T_O = R_1 \cdot C \cdot \ln(3)$ durata risposta uscita</p> <p>$V_{OH}, V_{OL} = \text{vedi data - sheet}$ tensioni di uscita</p> <p>$T_R = \text{brevissimo}$ tempo di ripristino</p> <p>$T_a > T_R$ tempo di attesa</p>
<p>MV monostabile variante 1 (T_0 regolabile)</p>	<p>$V_{IH} > \frac{2}{3} \cdot V_{CC}$ ampiezza minima impulso di ingresso</p> <p>$T_I > 5 \cdot R_3 \cdot C_1$ durata minima impulso di ingresso</p> <p>$T_O = R_1 \cdot C \cdot \ln(3)$ durata risposta uscita</p> <p>$V_{OH}, V_{OL} = \text{vedi data - sheet}$ tensioni di uscita</p> <p>$T_R = \text{brevissimo}$ tempo di ripristino</p> <p>$T_a > T_R$ tempo di attesa</p>