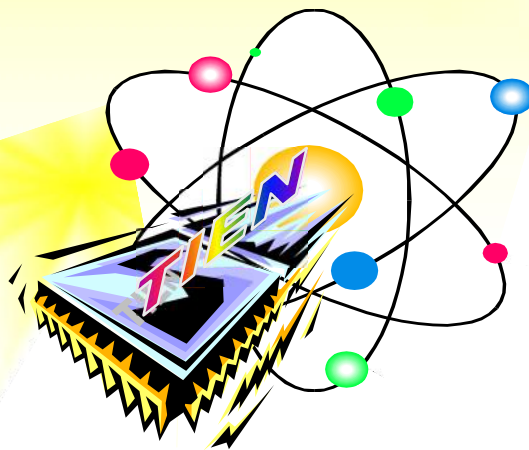


Timer 555



**SISTEMI, AUTOMAZIONE
E ORGANIZZAZIONE DELLA PRODUZIONE**

5A-5B TIEN AS 2001-2002

**ISTITUTO PROFESSIONALE PER L'INDUSTRIA E L'ARTIGIANATO
V.le dello Sport, 60 - 63039 SAN BENEDETTO DEL TRONTO (AP)**

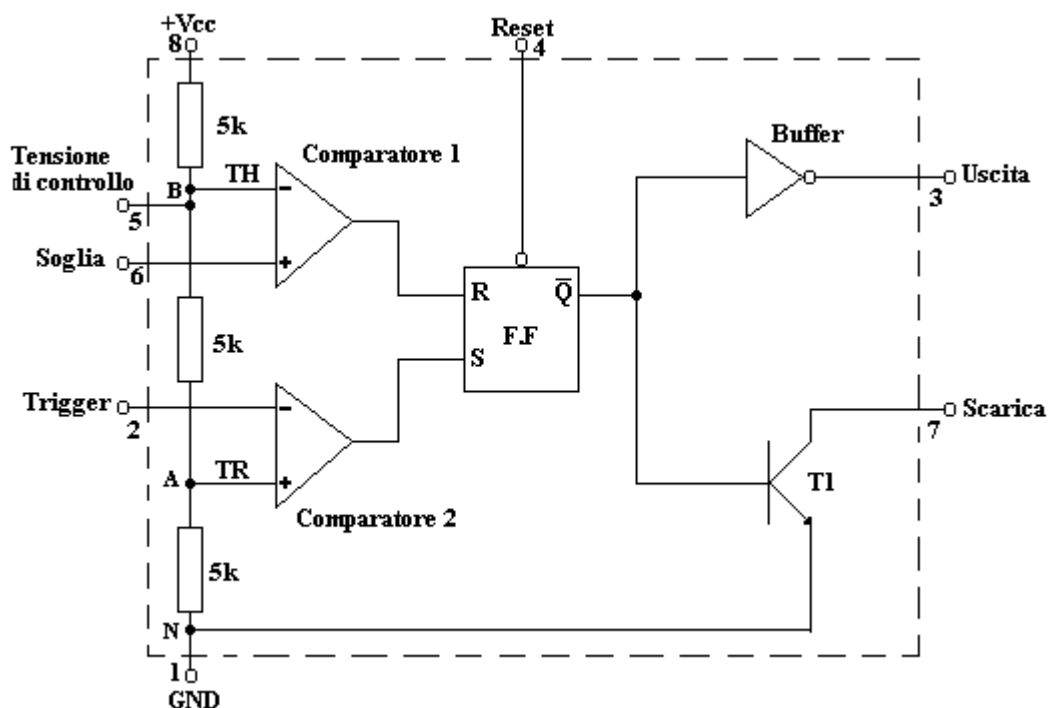
Prof. Franco Tufoni

STRUTTURA CIRCUITALE

Il timer 555 è un circuito integrato progettato per funzionare come multivibratore monostabile oppure astabile, ed in generale come generatore di forme d'onda non sinusoidali.

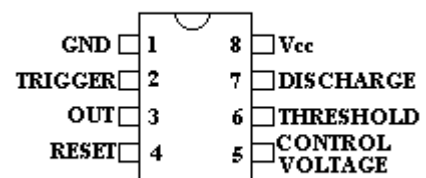
Per la versabilità e la facilità d'impiego è diventato in breve tempo il più diffuso tra gli integrati del suo tipo e le sue applicazioni sono innumerevoli. E' un integrato con 8 piedini (4+4) ed è alimentato con una tensione singola compresa fra 5 V e 15 V.

Lo schema a blocchi, disegnato in fig.1, comprende due amplificatori operazionali funzionanti come comparatori (comparatori a finestra), un flip-flop RS, un transistor funzionante come interruttore e un buffer di uscita.



N.PIN	DESCRIZIONE PIN
1	GND
2	TRIGGER
3	USCITA
4	RESET
5	TENSIONE DI CONTROLLO (2/3 Vcc)
6	SOGLIA (THRESHOLD)
7	SCARICA (DISCHARGE)
8	Vcc

TOP VIEW 555



Il circuito prevede una tensione di alimentazione costante +Vcc (Vcc compresa fra 5V e 15V) che alimenta un partitore a due rapporti $V_{AN} = 1/3 V_{cc}$ e $V_{BN} = 2/3 V_{cc}$. La tensione V_{AN} è applicata all'ingresso non invertente (TR) del comparatore 2, detto anche comparatore inferiore o comparatore di trigger.

La tensione V_{BN} è applicata all'ingresso non invertente (TH) del comparatore 1, detto anche comparatore superiore o comparatore di soglia (Threshold).

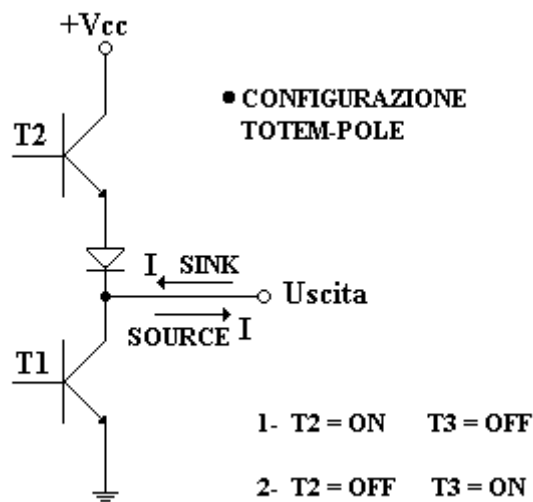
L'uscita del comparatore di trigger è connessa all'ingresso SET (S) del flip-flop; l'uscita del comparatore di soglia è connessa all'ingresso RESET (R) del flip-flop. L'uscita Q del flip-flop è connessa ad un buffer invertente (uscita); l'uscita Q_{neg} del flip-flop è anche connessa sulla base del transistor T1 (il transistor T1 funziona come interruttore).

Nella tabella seguente riportiamo il funzionamento del 555.

	TRIGGER V2	SOGLIA V6	USCITA V3	T1
<i>TRIGGER ATTIVO</i>	$< 1/3 V_{cc}$	$< 2/3 V_{cc}$	H	OFF
<i>SOGLIA ATTIVA</i>	$> 1/3 V_{cc}$	$> 2/3 V_{cc}$	L	ON
<i>MEMORIA</i>	$> 1/3 V_{cc}$	$< 2/3 V_{cc}$	Cond. prec.	Cond. prec.
<i>NO</i>	$< 1/3 V_{cc}$	$> 2/3 V_{cc}$	NO	NO

L'ultima combinazione non è operativa e quindi da evitare; in corrispondenza ad essa il comportamento del 555 varia da costruttore a costruttore. L'uscita, in configurazione "totem-pole", è in grado di erogare o assorbire, secondo i dati tecnici, una corrente di 200 μ A (corrente di source e corrente di sink) anche se un valore più realistico è di 40 μ A.

La tensione al livello alto è inferiore di circa 0,5V rispetto a V_{cc} , mentre a livello basso è di circa 0,1V, per una corrente di sink inferiore a 25mA.



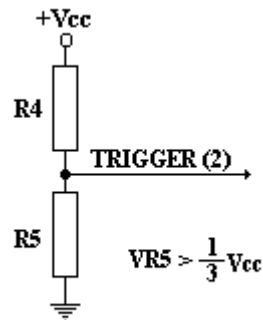
Il piedino 4 di reset quando è basso (L) ($< 0,4V$), azzerà il timer portando l'uscita 3 al livello basso (L) e T1 in conduzione (ON). Il terminale 5 (tensione di controllo) è collegato direttamente al partitore e viene usato in alcune applicazioni per variare dall'esterno la tensione sul partitore e quindi i riferimenti dei comparatori. Quando non è usato, non deve essere lasciato fluttuante, bensì collegato a massa tramite un condensatore di 10nF il quale, mentre cortocircuita a massa eventuali disturbi captati dal terminale, isola in continua il partitore della massa.

IL 555 COME MONOSTABILE

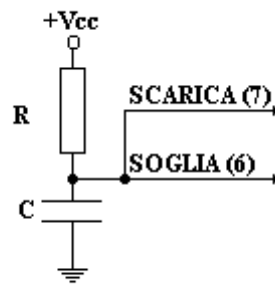
Per poter abilitare il sistema a funzionare come multivibratore monostabile (un solo stato stabile), si deve completare il

circuito con:

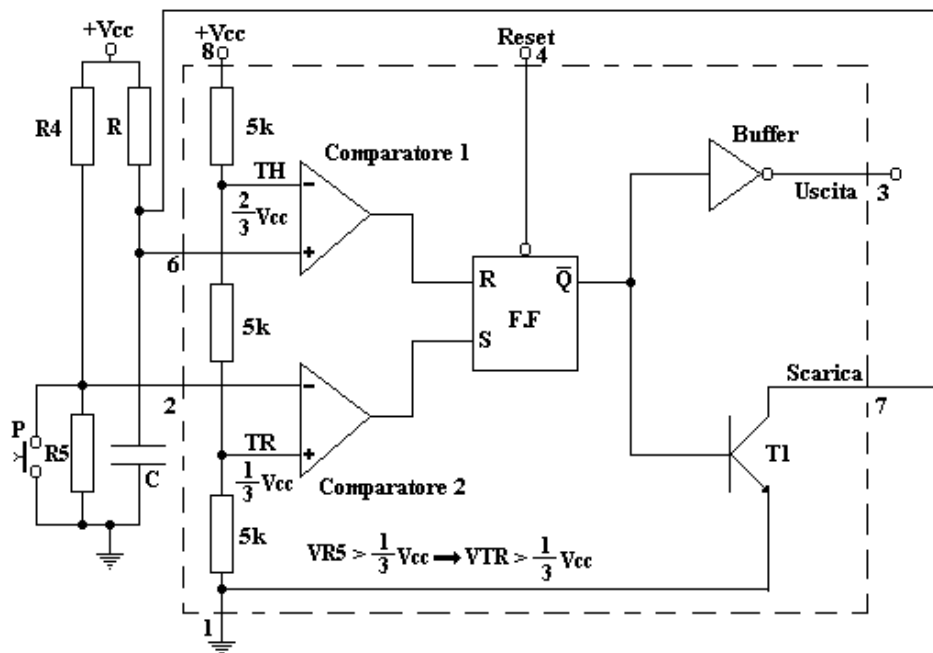
1- un partitore resistivo R4-R5 alimentato dalla batteria Vcc, con presa intermedia all'ingresso di trigger piedino numero 2 ($V_{R5} > 1/3 V_{cc}$);



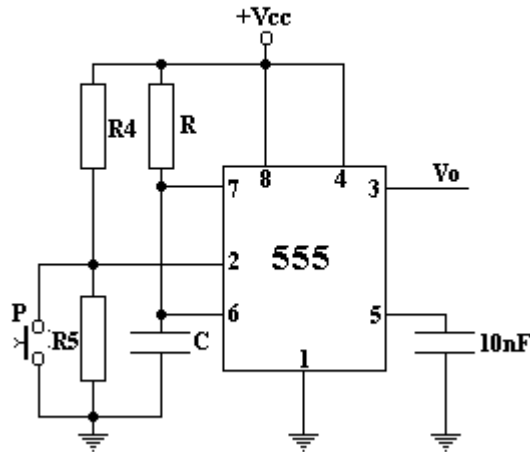
2- un gruppo RC anch'esso alimentato dalla batteria Vcc, con presa intermedia all'ingresso di soglia (piedino 6);



3- un collegamento tra il collettore del transistor T1 (piedino 7) e il terminale di soglia (piedino 6).



CIRCUITO PRATICO



Condizioni iniziali.

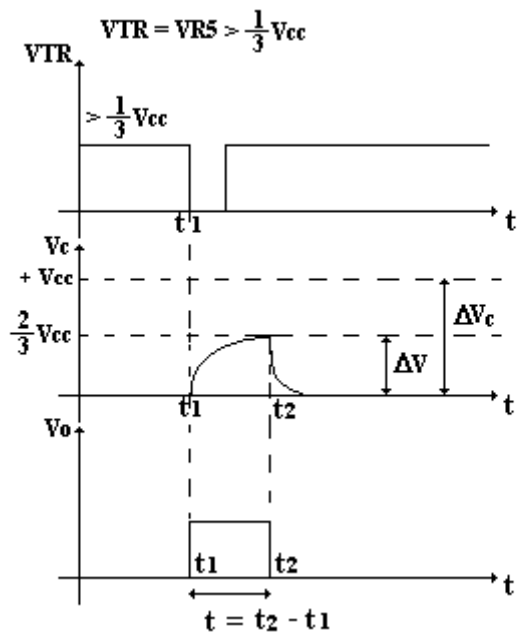
$$\textcircled{1} \left\{ \begin{array}{l} V_{TR} > \frac{1}{3}V_{cc} \\ V_{T4} = 0 \text{ (condizione scarica)} \end{array} \right. \rightarrow \begin{array}{l} S = 0 \quad R = 0 \rightarrow \boxed{V_o = 0} \\ \text{(MEMORIA)} \\ \text{Cond. precedente} \end{array}$$

$$\textcircled{2} \left\{ \begin{array}{l} V_{TR} < \frac{1}{3}V_{cc} = 0 \rightarrow \left(\begin{array}{l} S = 1 \\ R = 0 \end{array} \right) \rightarrow \left(\begin{array}{l} \bar{Q} = 0 \\ V_o = 1 \end{array} \right) \rightarrow \left(\begin{array}{l} \text{Transistor interdetto} \\ \text{il condensatore inizia} \\ \text{a caricarsi} \end{array} \right) \\ \text{(condensatore scarico)} \end{array} \right.$$

$$\textcircled{3} \left\{ \begin{array}{l} \text{Se si toglie l'impulso d'ingresso si ripristina la configurazione iniziale} \\ V_{TR} > \frac{1}{3}V_{cc} \\ S = 0 \quad R = 0 \\ \text{Questa condizione mantiene memorizzata la condizione precedente} \\ \bar{Q} = 0 \\ V_o = 1 \rightarrow \text{La capacit\`a continua a caricarsi} \end{array} \right.$$

Teniamo presente che la tensione ai capi del condensatore (V_c) è anche la tensione del terminale non invertente del comparatore di soglia, il quale è pilotato all'ingresso invertente da $2/3 V_{cc}$; quando la tensione del condensatore, tendendo a $+V_{cc}$, raggiunge e supera $2/3 V_{cc}$, prevale l'ingresso non invertente del comparatore di soglia, quindi porta la sua uscita al livello alto e porta il flip-flop nella condizione di RESET ($R = 1$; $S = 0$). Il flip-flop porta la sua uscita $Q_{neg} = 1$ e $Q = 0$ ($V_o = 0$), il transistor si riporta in saturazione, quindi il condensatore si scarica su di esso in un tempo brevissimo, data la bassissima resistenza equivalente offerta dal transistor, di conseguenza il flip-flop si riporta nella condizione $S = 0$ e $R = 0$ (stato precedente $V_o = 0$). Dall'analisi di funzionamento del dispositivo e dei diagrammi si rileva che l'uscita V_o produce un impulso di durata pari al tempo che il condensatore impiega a caricarsi sino a $2/3 V_{cc}$.

Diagrammi di funzionamento.



$$\Delta V = \Delta V_c (1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) \quad \Delta V = \frac{2}{3} V_{CC} \quad \Delta V_c = V_{CC} \quad \tau = RC$$

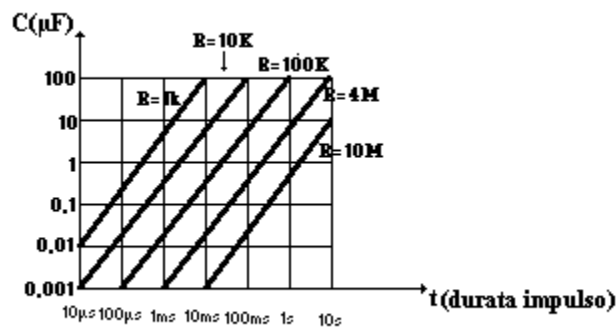
$$\frac{2}{3} V_{CC} = V_{CC} (1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) \rightarrow \frac{2}{3} = 1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \rightarrow \frac{2}{3} - 1 = -e^{-\frac{t}{\tau}}$$

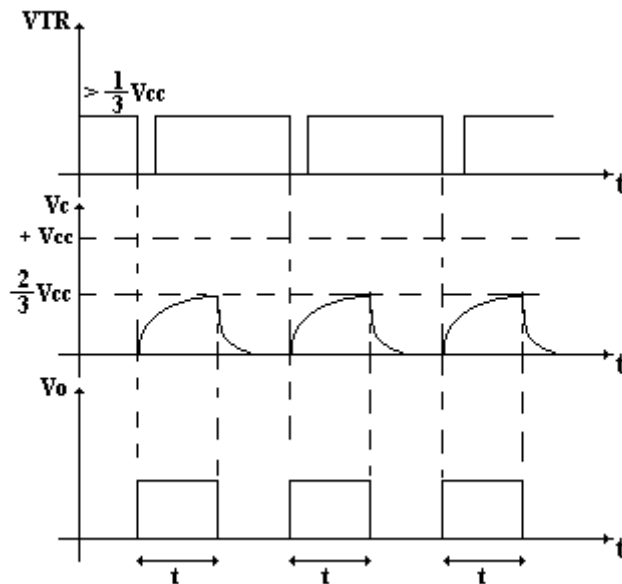
$$-\frac{1}{3} = -e^{-\frac{t}{\tau}} \rightarrow e^{-\frac{t}{\tau}} = \frac{1}{3} \rightarrow \ln e^{-\frac{t}{\tau}} = \ln \frac{1}{3}$$

$$-\frac{t}{\tau} = \ln \frac{1}{3} \rightarrow \frac{t}{\tau} = 1,1 \rightarrow t = 1,1\tau \rightarrow \boxed{t = 1,1 RC}$$

Intervenendo sul valore di R e di C è possibile variare la durata dell'impulso entro ampi limiti ($10\mu s < t < 10s$). Il tempo di scarica della capacità è praticamente trascurabile.

In figura sono riportate le caratteristiche fornite dal costruttore sulla durata dell'impulso in funzione di R e di C.



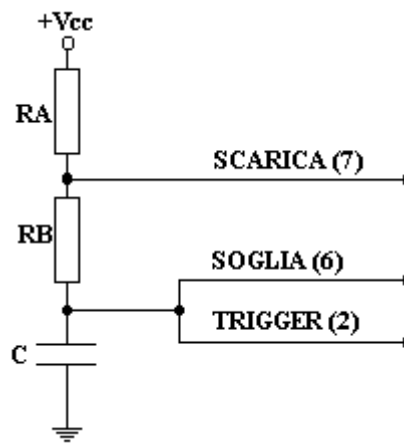


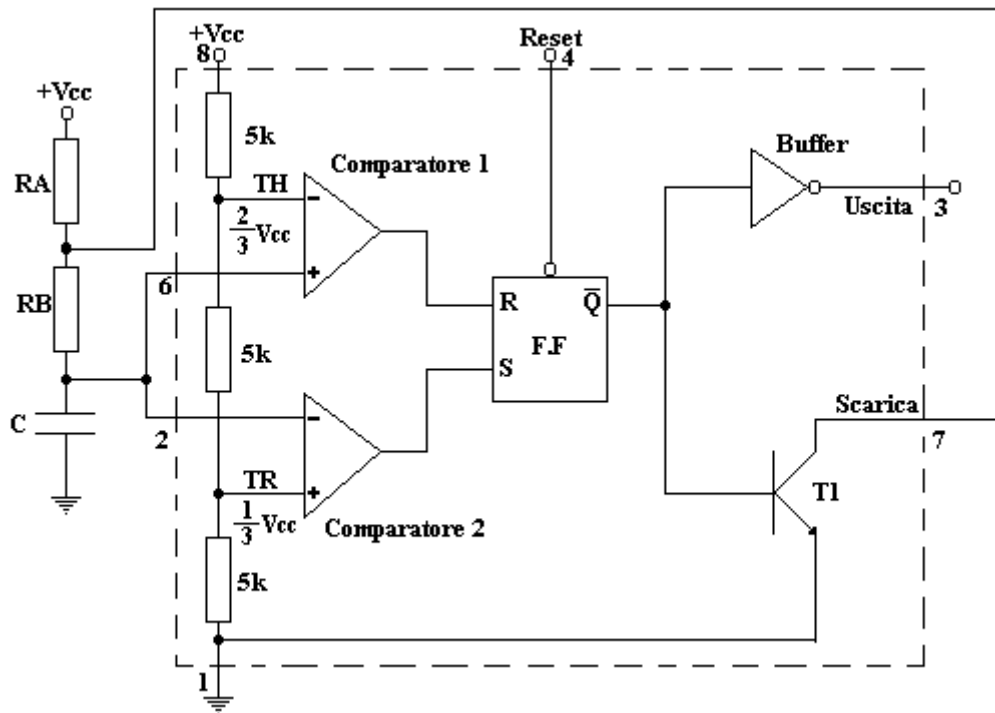
Esempio.

$$t = 10 \text{ ms} \quad R = 100 \text{ K} \quad \rightarrow \quad t = 1,1 R C \quad \rightarrow \quad C = \frac{t}{1,1 R} = \frac{10 \text{ ms}}{100 \text{ K}} = 0,09 \mu\text{F}$$

MULTIVIBRATORE ASTABILE CON 555

Per poter abilitare il sistema a funzionare come multivibratore astabile, si deve completare il circuito integrato con una connessione serie R_A , R_B , C , alimentata dalla batteria V_{cc} e con le prese in termediae connesse rispettivamente al collettore del transistor e ai terminali operativi dei comparatori di trigger e di soglia uniti assieme.





Condizioni iniziali.

$$V_C = 0 \quad V_{TH} = 0 \quad V_{TR} = 0 \quad \text{-----} \rightarrow V_O = 1 \text{ (5V)}$$

Supponendo inizialmente il condensatore scarico, il comparatore di trigger pilotato dal terminale non invertente da $1/3 V_{CC}$, ha uscita al livello alto, mentre il comparatore di soglia, pilotato dal terminale invertente da $2/3 V_{CC}$, ha uscita al livello basso. Il flip-flop si trova nella condizione $S = 1$ $R = 0$ e porta l'uscita $Q_{neg} = 0$, il transistor risulta interdetto e l'uscita V_O è uguale al livello alto (5V). In queste condizioni il condensatore è in grado di caricarsi attraverso la resistenza $R_A + R_B$, tendendo a $+V_{CC}$ con costante di tempo $\tau = (R_A + R_B)C$.

Quando V_C supera $1/3 V_{CC}$, il comparatore di trigger cambia stato, portando la sua uscita allo stato basso, quindi il flip-flop si trova nella condizione $S = 0$ e $R = 0$, facendo rimanere inalterata l'uscita Q_{neg} (stato precedente); la capacità continua a caricarsi. Quando la tensione ai capi del condensatore supera $2/3 V_{CC}$, il comparatore di soglia cambia stato portando la sua uscita al livello alto. Il flip-flop si trova nella condizione $S = 0$ e $R = 1$, l'uscita Q_{neg} passa a 1 e il transistor viene portato alla saturazione con l'uscita V_O portata al livello basso. A questo punto il condensatore sarà costretto a scaricarsi attraverso R_B e la sua tensione tenderà a diminuire tendendo a 0 con costante di scarica $\tau_s = R_B C$. Quando la tensione scende al di sotto di $2/3 V_{CC}$, il comparatore di soglia cambia stato e porta la sua uscita al livello basso, il flip-flop si trova nella condizione $S = 0$ e $R = 0$, il flip-flop mantiene lo stato precedente, V_O andrà al livello basso e il transistor alla saturazione. Il condensatore continua a scaricarsi sempre con costante di tempo

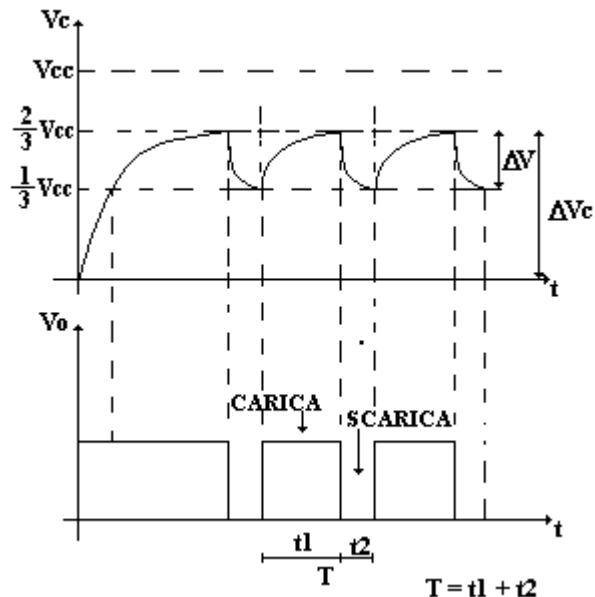
$$\tau_s = R_B C.$$

Quando la tensione ai capi del condensatore scende sotto $1/3 V_{CC}$ il comparatore di trigger cambia stato e porta la sua uscita al

livello alto, il flip-flop si trova nella condizione $S = 1$ e $R = 0$, la sua uscita cambia stato portando V_o al livello alto e il transistor all'interdizione; rinizia il processi di carica con costante di tempo $\tau_c = (R_A + R_B)C$.

Il ciclo si ripete e il funzionamento è chiaramente di tipo astabile, come si rivela anche dall'analisi dei diagrammi temporali di figura.

Diagrammi temporali dell'astabile



La tensione ai capi del condensatore fluttua, in modo ripetitivo alterno fra i limiti $\frac{1}{3} V_{cc}$ e $\frac{2}{3} V_{cc}$ secondo le funzioni esponenziali di carica e di scarica date rispettivamente da:

$$\text{CARICA} \quad \Delta V = \Delta V_c (1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) \quad \Rightarrow \quad t_1 (V_o = 1)$$

$$\text{SCARICA} \quad \Delta V = \Delta V_c e^{-\frac{t}{\tau}} \quad \Rightarrow \quad t_2 (V_o = 0)$$

Attraverso la formula della carica si ricava t_1 , tempo in cui l'uscita V_o rimane al livello alto; tramite la formula della scarica si ricava t_2 , tempo in cui l'uscita rimane al livello basso. La somma $t_1 + t_2$ fornisce il periodo del segnale generato dal multivibratore astabile.

Calcolo di t1

$$\Delta V = \Delta V_c (1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) \quad t \rightarrow t_1$$

$$\Delta V = \frac{1}{3} V_{cc} \quad \Delta V_c = \frac{2}{3} V_{cc} \quad \tau = \tau_c = (R_A + R_B)C$$

$$\frac{1}{3} V_{cc} = \frac{2}{3} V_{cc} (1 - e^{-\frac{t_1}{\tau}}) \rightarrow \frac{1}{2} = 1 - e^{-\frac{t_1}{\tau}} \rightarrow \frac{1}{2} - 1 = -e^{-\frac{t_1}{\tau}}$$

$$\frac{1}{2} = e^{-\frac{t_1}{\tau}} \rightarrow \ln e^{-\frac{t_1}{\tau}} = \ln \frac{1}{2} \rightarrow \frac{t_1}{\tau} = 0,7 \rightarrow t_1 = 0,7\tau_c$$

$$t_1 = 0,7(R_A + R_B)C$$

Calcolo di t2

$$\Delta V = \Delta V_c e^{-\frac{t}{\tau}} \quad t \rightarrow t_2$$

$$\Delta V = \frac{1}{3} V_{cc} \quad \Delta V_c = \frac{2}{3} V_{cc} \quad \tau = \tau_s = R_B \cdot C$$

$$\frac{1}{3} V_{cc} = \frac{2}{3} V_{cc} e^{-\frac{t_2}{\tau}} \rightarrow \frac{1}{2} = e^{-\frac{t_2}{\tau}} \rightarrow \ln e^{-\frac{t_2}{\tau}} = \ln \frac{1}{2}$$

$$\frac{t_2}{\tau} = 0,7 \rightarrow t_2 = 0,7\tau_s$$

$$t_2 = 0,7 R_B C$$

Calcolo del periodo e della frequenza

$$T = t_1 + t_2 = 0,7(R_A + R_B)C + 0,7R_B C$$

$$T = 0,7(R_A + 2R_B)C$$

$$\text{Frequenza} \rightarrow f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0,7(R_A + 2R_B)C} = \frac{1,44}{(R_A + 2R_B)C}$$

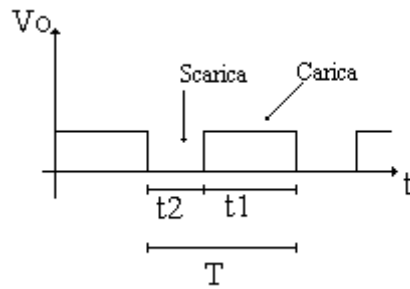
$$t_1 = 0,7(R_A + R_B)C$$

$$t_2 = 0,7R_B \cdot C$$

$$T = 0,7(R_A + 2R_B)C$$

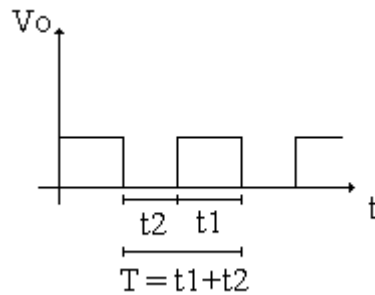
$$f = \frac{1,44}{(R_A + 2R_B)C}$$

Come si osserva i due tempi t1 e t2 non sono uguali e l'onda prodotta non è simmetrica; ciò è dovuto alla diversità delle resistenze di carica e di scarica.



Dytc cycle rispetto al livello alto.

Con riferimento ad una uscita dall'andamento periodico si definisce DYTC CYCLE (ciclo di lavoro o ciclo utile) il rapporto tra l'intervallo di tempo in cui, in un ciclo, il segnale si trova al livello logico alto e la durata dell'intero ciclo.



$$D = \frac{t_1}{T} \rightarrow \%$$

$$t_1 = 0,7(R_A + R_B)C$$

$$T = 0,7(R_A + 2R_B)C$$

$$D = \frac{t_1}{T} = \frac{0,7(R_A + R_B)C}{0,7(R_A + 2R_B)C}$$

$$D = \frac{R_A + R_B}{R_A + 2R_B}$$

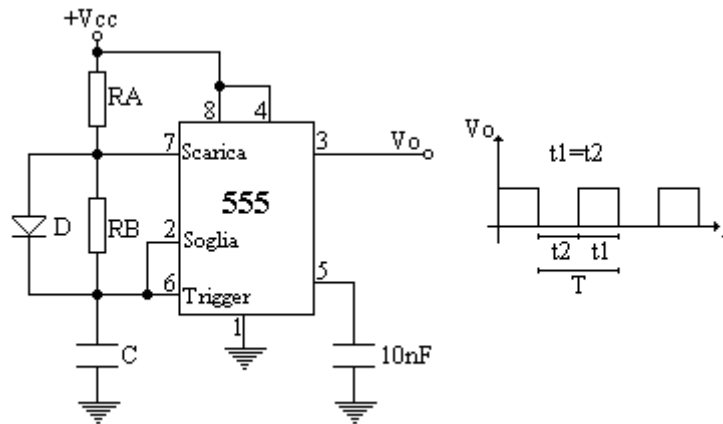
Spesso il dytc cycle viene espresso in percentuale.

Scegliendo quindi R_B con un valore sufficientemente grande rispetto ad R_A possiamo ottenere un'onda quadra simmetrica con dytc cycle circa uguale al 50%.

$$\text{se } R_B \gg R_A \rightarrow D = \frac{R_B}{2R_B} = \frac{1}{2} = 0,5 = 50\%$$

Esercizio N.1

Progettare un multivibratore astabile con $f = 10\text{KHz}$ e $D = 50\%$.



$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{10 \cdot 10^{-3}} = 100 \mu\text{s}$$

$$t_2 = D \cdot T = 0,5 \cdot 100 \cdot 10^{-6} = 50 \mu\text{s}$$

$$t_1 = 50 \mu\text{s}$$

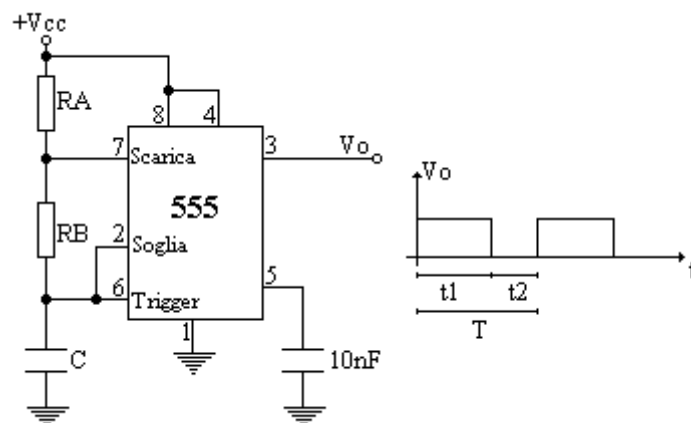
$$R_B = 2\text{K}$$

$$C = \frac{t_2}{0,7 R_B} = \frac{50 \cdot 10^{-6}}{0,7 \cdot 2 \cdot 10^3} = 3,6 \text{mF}$$

$$R_A = \frac{t_1}{0,7 \cdot C} = \frac{50 \cdot 10^{-6}}{0,7 \cdot 3,6 \cdot 10^{-9}} = 2\text{k} = R_B$$

Esercizio N.2

Progettare un multivibratore astabile con frequenza $f = 50\text{KHz}$ e $D = 25\%$.



$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{50 \cdot 10^{-3}} = 20 \mu\text{s}$$

$$t_2 = D \cdot T = 0,25 \cdot 20 \cdot 10^{-6} = 5 \mu\text{s}$$

$$T = t_1 + t_2 \rightarrow t_1 = T - t_2 = 20 \mu\text{s} - 5 \mu\text{s} = 15 \mu\text{s}$$

$$t_2 = 0,7 \cdot R_B \cdot C \rightarrow R_B = 2 \text{K}$$

$$C = \frac{t_2}{0,7 R_B} = \frac{5 \cdot 10^{-6}}{0,7 \cdot 2 \cdot 10^3} = 3,6 \text{ nF}$$

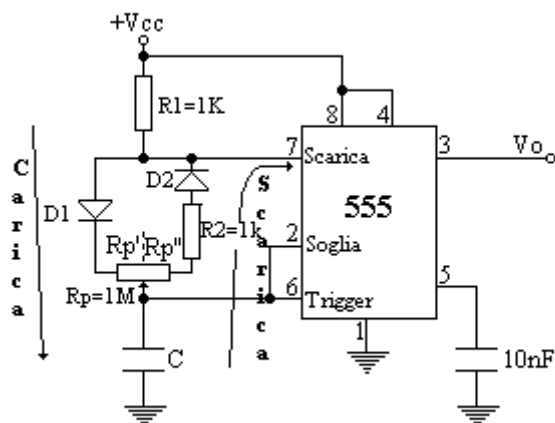
$$t_1 = 0,7(R_A + R_B) \cdot C \rightarrow 15 \cdot 10^{-6} = 0,7(R_A + 2 \cdot 10^3) 3,6 \cdot 10^{-9}$$

$$15 \cdot 10^{-6} = 2,52 \cdot 10^{-9} (R_A + 2 \cdot 10^3) \rightarrow \frac{15 \cdot 10^{-6}}{2,52 \cdot 10^{-9}} = R_A + 2 \cdot 10^3$$

$$R_A = \frac{15 \cdot 10^{-6}}{2,52 \cdot 10^{-9}} - 2 \cdot 10^3 \rightarrow R_A = 4 \text{K}$$

Esercizio N.3

Progettare un multivibratore astabile con DYTE CYCLE variabile e FREQUENZA fissa.



$$t_1 = 0,7(R_1 + R_{p'})C$$

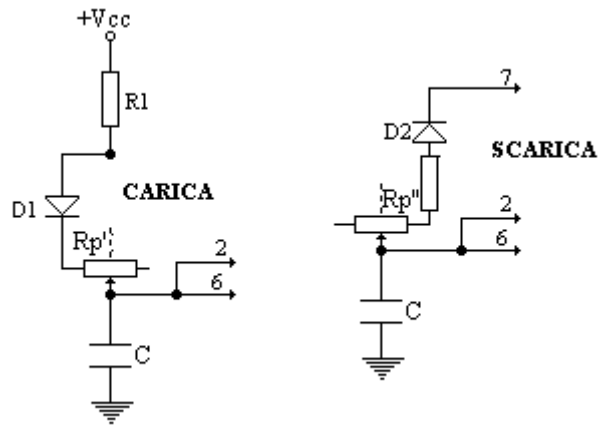
$$t_2 = 0,7(R_{p''} + R_2)C$$

$$T = t_1 + t_2 = 0,7(R_1 + R_{p'} + R_{p''} + R_2)C$$

$$R_p = R_{p'} + R_{p''} \rightarrow T = 0,7(R_1 + R_p + R_2)C \quad \text{Il periodo, quindi la frequenza, è costante.}$$

Con lo schema di figura è possibile variare il dyte cycle dell'uscita del 555 funzionante da astabile.

I diodi D1 E D2 separano il percorso resistivo della corrente di carica di C da quello della corrente di scarica.



Con il cursore del potenziometro in posizione centrale, la resistenza dei due percorsi (CARICA e SCARICA) coincidono (501K) e il dyte cycle è pari al 50% (solo se il potenziometro è di tipo lineare).

Con il cursore tutto a sinistra la costante di tempo della carica è un millesimo della costante di tempo della scarica e il dyte cycle è dello 0,1%. Viceversa il dyte cycle è del 99,9% se il cursore si trova nella posizione estrema a destra.



$$R_{p'} = 0 \rightarrow D = \frac{t_1}{T} = 0,1\%$$



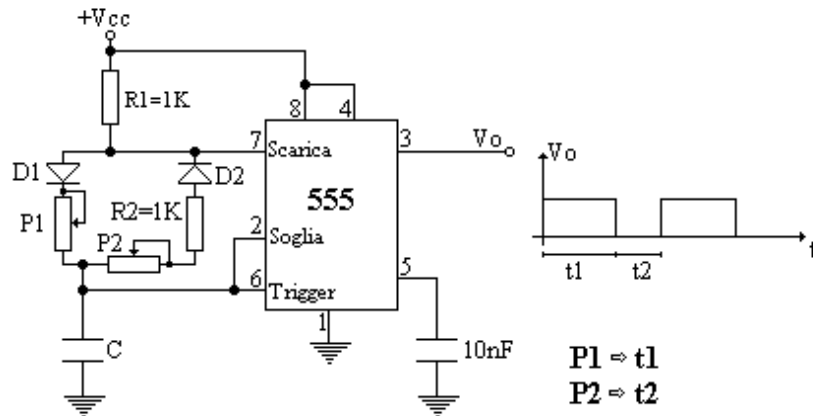
$$R_{p''} = 0 \rightarrow D = \frac{t_1}{T} = 99,9\%$$

$$f = \frac{1,44}{(R_1 + R_p + R_2)C}$$

La frequenza risulta indipendente dalla variazione del potenziometro.

Esercizio N.4

Progettare un multivibratore astabile con frequenza e duty cycle variabile. La variazione del livello alto deve essere indipendente dalla variazione del livello alto.



$R1=1K$ $R2=1K$ $P1=10M$ (lineare) $P2=5M$ (lineare) $C=100nF$
 Calcolare: $t1$ minimo, $t1$ massimo, $t2$ minimo, $t2$ massimo, f minimo, f massimo.

$$t1_{min} = 0,7(R1+P1)C = 0,7 \cdot 1 \cdot 10^3 \cdot 100 \cdot 10^{-9} = 70\mu s$$

$$t1_{max} = 0,7(R1+P1)C = 0,7(1 \cdot 10^3 + 10 \cdot 10^6) \cdot 100 \cdot 10^{-9} = 700ms = 0,75s$$

$$t2_{min} = 0,7(R2+P2)C = 0,7 \cdot 1 \cdot 10^3 \cdot 100 \cdot 10^{-9} = 70\mu s$$

$$t2_{max} = 0,7(R2+P2)C = 0,7(1 \cdot 10^3 + 5 \cdot 10^6) \cdot 100 \cdot 10^{-9} = 350ms = 0,35s$$

$$T_{min} = t1_{min} + t2_{min} = 70 \cdot 10^{-6} + 70 \cdot 10^{-6} = 140\mu s$$

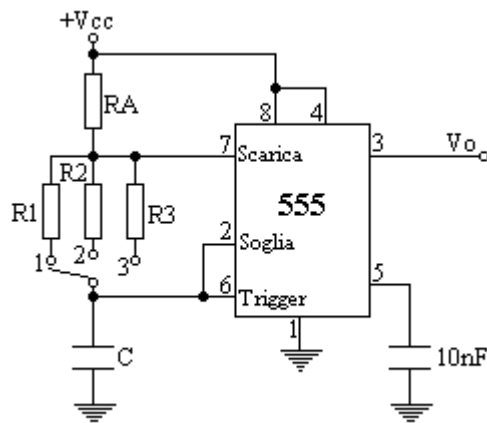
$$f_{max} = \frac{1}{T_{min}} = \frac{1}{140 \cdot 10^{-6}} = 7,14KHz$$

$$T_{max} = t1_{max} + t2_{max} = 750 \cdot 10^{-3} + 350 \cdot 10^{-3} = 1,15s$$

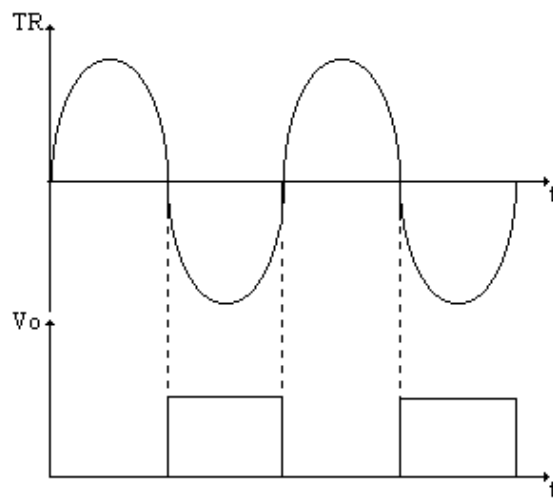
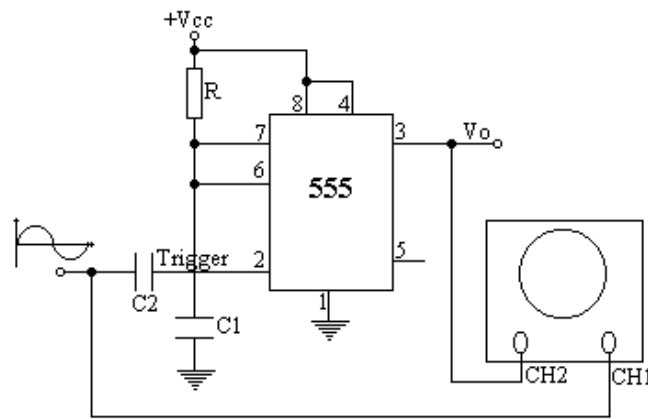
$$f_{min} = \frac{1}{T_{max}} = \frac{1}{1,15} = 0,9Hz$$

Esercizio N.5

Progettare un astabile capace di generare tre frequenze diverse ($f1$, $f2$, $f3$). Le tre frequenze devono essere selezionate da un deviatore meccanico.



555 COME TRIGGER DI SCHMITT



Il 555 può essere utilizzato anche come trigger di Schmitt a soglia variabile e quindi utilizzato per trasformare un segnale sinusoidale in un segnale ad onda quadra; la regolazione dell'ampiezza del segnale sinusoidale varia il duty cycle del segnale ad onda quadra di uscita.