

Capitolo 14

Il timer 555

14.1 Introduzione

Abbiamo già incontrato circuiti che generano delle forme d'onda periodiche di tipo sinusoidale o rettangolare. Ad esempio gli oscillatori sinusoidali a transistor o gli oscillatori basati su amplificatori operazionali. Abbiamo anche esaminato i circuiti bistabili e quelli monostabili, quale ad esempio il trigger di Schmitt. L'integrato che ora esamineremo è in grado di funzionare indifferentemente come oscillatore, come trigger di Schmitt o come circuito bistabile. Esso è noto con il nome di circuito di temporizzazione (timer) 555. Esamineremo in questa sezione alcuni esempi di applicazione di tale circuito. La struttura base del 555 è quella mostrata in figura 14.1

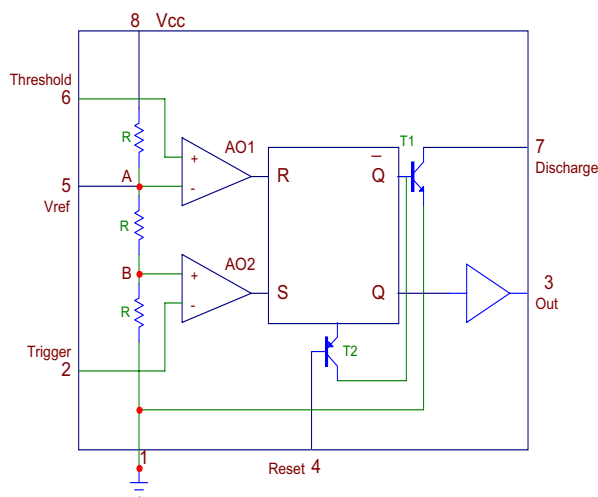


Figura 14.1:

L'integrato contiene due comparatori, un flip-flop di tipo RS, due transistor, un buffer (inseguitore di tensione) e tre resistenze.

Le tre resistenze uguali R costituiscono un partitore il quale consente di avere nei punti A e B rispettivamente le tensioni $2/3V_{cc}$ ed $1/3V_{cc}$. Tali tensioni vengono usate come riferimento da due comparatori. L'uscita di AO_1 è positiva se al piedino 6 (noto come ingresso di *threshold*) è applicata una tensione maggiore di $2/3V_{cc}$, negativa nel caso opposto. L'uscita di AO_2 risulta positiva se al piedino 2 (noto

come ingresso di *trigger*) è applicata una tensione minore di $1/3V_{cc}$, negativa nel caso opposto. Le uscite di AO_1 e AO_2 vanno a pilotare rispettivamente i piedini di Reset e di Set di un flip-flop di tipo RS. Per questo flip-flop, segnali di tensione negativi agli ingressi valgono come un segnale logico 0. L'uscita Q del FF è collegata al piedino 3 tramite un buffer che serve a rendere l'uscita indipendente dal carico esterno. Il transistor T1, la cui base è unita all'uscita $\overline{Q}$ del RS, si comporta da invertitore: se $\overline{Q}$ è alto, esso è in saturazione e l'uscita 7 è bassa. Viceversa, se $\overline{Q}$ è basso T1 è interdetto. Il transistor T2 può essere adoperato per resettare il flip-flop. Se non si vuole adoperarlo, il piedino 4 va collegato alla tensione alta (transistor pnp interdetto).

Esamineremo ora il modo in cui tale circuito può essere adoperato per realizzare un multivibratore astabile.

14.1.1 Multivibratore astabile

Un utilizzo del 555 come generatore di segnali rettangolari (astabile) è mostrato in figura 14.2.

In questo circuito il ruolo fondamentale è svolto dalle resistenze R_1 ed R_2 nonché dal condensatore C_1 .

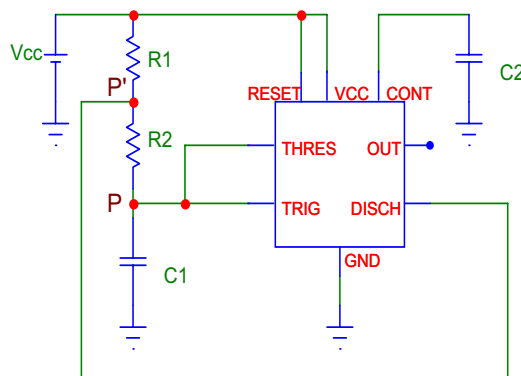


Figura 14.2:

Quest'ultimo è periodicamente caricato tramite le resistenze R_1 ed R_2 e scaricato attraverso la resistenza R_2 . Il condensatore C_2 serve ad eliminare fluttuazioni di tensione nel punto del partitore (vedi figura 14.1) che è a $2/3V_{cc}$.

Esaminiamo in dettaglio ciò che accade. Ammettiamo che il condensatore C_1 sia inizialmente scarico (potenziale del punto P uguale a zero). L'uscita del comparatore AO_2 è quindi inizialmente uguale ad 1 (livello alto) mentre quella del comparatore AO_1 è inizialmente uguale a 0. Quindi all'inizio abbiamo $Q = 1$, $\overline{Q} = 0$ e T_1 interdetto. Ora il condensatore C comincia a caricarsi verso la tensione V_{cc} attraverso $R_1 + R_2$, con costante di tempo :

$$\tau_1 = C_1(R_1 + R_2)$$

Quando la tensione del punto P raggiunge il valore $1/3V_{cc}$, l'uscita del comparatore AO_2 va a 0 ($S=0$) mentre R rimane uguale a zero. Quindi lo stato del flip-flop

non cambia. Quando la tensione del punto P raggiunge il valore $2/3V_{cc}$, S rimane 0 mentre ora R va ad 1. Ora il flip-flop cambia stato: Q diventa basso e $\overline{Q}$ alto. Con $\overline{Q}$ alto, il transistor T_1 va in saturazione e $V_{CE} = 0$. Poichè l'emettitore è collegato a massa, avremo che il punto P', che è collegato al collettore, sarà ad una tensione praticamente nulla. Il condensatore C_1 comincerà ora a scaricarsi dal valore di tensione che aveva raggiunto ($2/3V_{cc}$) verso lo zero, con costante di tempo:

$$\tau_2 = C_1 R_2$$

Quando la tensione nel punto P raggiungerà il valore ($1/3V_{cc}$), il comparatore AO_2 , collegato all'ingresso di Set va ad 1 mentre l'ingresso di Reset rimane uguale a zero. Con ciò l'uscita $\overline{Q}$ del flip-flop va a 0, il transistor T_1 si interdice ed il ciclo ricomincia. L'andamento delle tensioni V_P e V_{out} è quello mostrato in figura 14.3. Vediamo che l'andamento della tensione V_P è quella tipica della carica e scarica di un condensatore, mentre V_{out} è un'onda rettangolare.

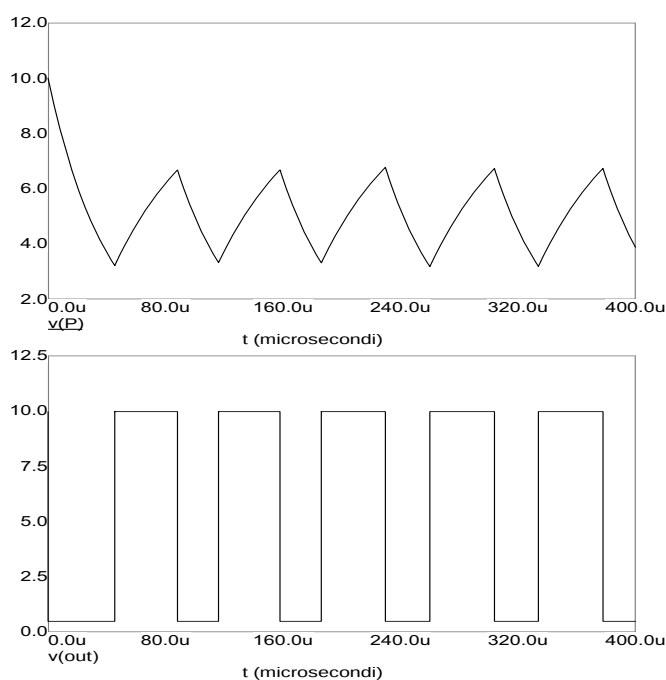


Figura 14.3:

Con una semplice modifica, quale quella mostrata in figura 14.4, si può ottenere un multivibratore astabile con duty-cycle variabile. Nell'esempio, la serie delle resistenze $R_1 - R_2$ di figura 14.2 è sostituita dalla serie $R_4 - R_1$, dove R_1 è il ramo sinistro del potenziometro R_P . La carica del condensatore C_1 è caratterizzata quindi da una costante di tempo:

$$\tau_1 = (R_4 + R_1)C_1$$

La scarica avviene invece, a causa dei diodi, attraverso la serie $R_3 - R_2$, con costante di tempo:

$$\tau_2 = (R_3 + R_2)C_1$$

Ruotando il potenziometro R_P si può quindi modificare il duty-cycle del segnale in uscita. Si può verificare che, con i valori delle resistenze e delle capacità indicati in

figura, la frequenza di oscillazione è di 100 Hz ed il duty-cycle può esser fatto variare tra lo 0.1% ed il 99.9%.

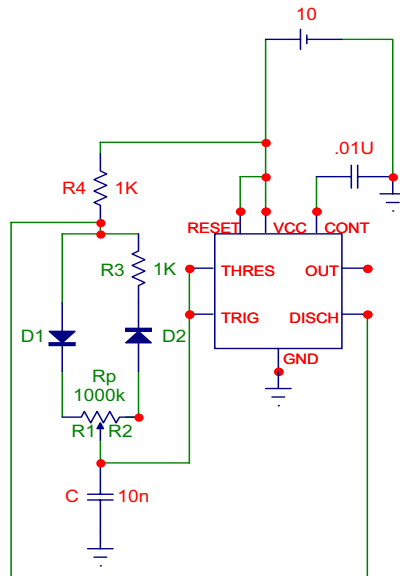


Figura 14.4:

14.2 Multivibratore monostabile

Un circuito monostabile (*one-shot*) può esser ottenuto utilizzando il 555 nella configurazione di figura 14.5.

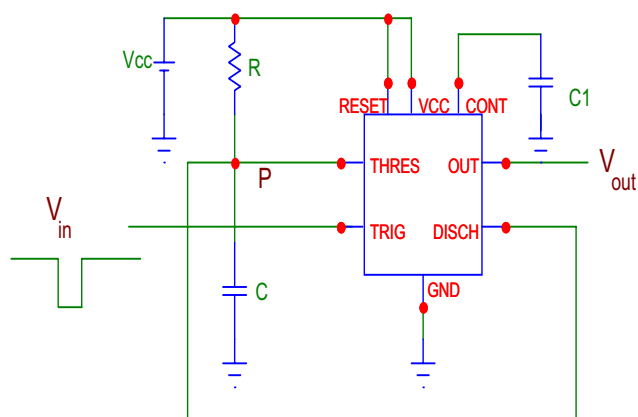


Figura 14.5:

Ammettiamo infatti che, in condizioni di riposo, sia $V_{in} > 1/3V_{cc}$. L'uscita del comparatore inferiore nel 555 sarà allora bassa ed $S=0$. Se ammettiamo inoltre che

C sia scarico, avremo $V_P = 0$ e l'uscita del comparatore superiore sarà bassa ($R=0$). Con ciò, lo stato del FF non cambia. Se quindi inizialmente è $Q = 0$, $\overline{Q} = 1$, tale stato rimarrà inalterato. Se il condensatore C fosse stato carico, con $V_P > 2/3V_{cc}$, l'uscita del comparatore superiore sarebbe stata alta ($R=1$) e quindi avremmo avuto $\overline{Q} = 1$. Con ciò, il transistor d'uscita del 555 sarebbe andato in saturazione, il che avrebbe riportato V_P a zero. Vediamo così che lo stato $Q = 0$, $\overline{Q} = 1$ è uno stato stabile del sistema.

Se ora inviamo in ingresso un impulso di tensione *negativo* l'uscita del comparatore inferiore diverrà alta ed il FF verrà ad essere *settato* ($Q = 1$, $\overline{Q} = 0$). Ora il transistor d'uscita del 555 sarà interdetto ed il condensatore comincerà a caricarsi con costante di tempo $\tau = RC$. Avremo cioè:

$$V_P = V_{cc} (1 - e^{-t/\tau})$$

Notiamo che quando V_P raggiunge il valore $1/3V_{cc}$ l'uscita del comparatore inferiore passerà al livello basso ($S=0$) ma, poichè R è ancora uguale a 0, lo stato del FF non cambia. Quando la tensione V_P raggiunge il valore $2/3V_{cc}$, l'uscita del comparatore superiore passa al livello alto ($R=1$), il FF commuta ed avremo $Q = 0$, $\overline{Q} = 1$. Il condensatore si scarica rapidamente attraverso il transistor d'uscita del 555, ora in saturazione.

Vediamo che l'uscita del 555 rimane alta per il tempo necessario perchè la tensione sul condensatore passi dal valore iniziale ($V_P = 0$) al valore $2/3V_{cc}$. La durata T dell'impulso in uscita è cioè data da:

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

cioè:

$$T = \ln 3 \cdot \tau = \ln 3 \cdot RC$$

Perchè il circuito funzioni correttamente occorre che l'impulso di trigger sia più corto di T.

Forme d'onda tipiche per questo circuito sono mostrate in figura 14.6. Qui il grafico superiore è la forma d'onda applicata in ingresso, quello intermedio l'uscita e quello inferiore l'andamento della tensione $V_P = V_c$.

Un'applicazione tipica di questo circuito è come *pulse stretcher*; esso è cioè adoperato per produrre degli impulsi di durata predeterminata, a partire da impulsi di trigger di breve durata.

14.3 Trigger di Schmitt

Un'ulteriore applicazione del 555 è come circuito di trigger, con soglia relativa alla transizione dell'uscita dal livello basso a quello alto superiore alla soglia relativa alla transizione opposta. Esso è cioè un *Trigger di Schmitt*, di cui abbiamo già incontrato un esempio nella sezione relativa agli amplificatori operazionali. Il funzionamento del circuito è estremamente semplice. Se i piedini 2 e 6 del 555 (cioè gli ingressi di threshold e di trigger) sono uniti insieme ed adoperati come ingresso V_{in} , si vede che se V_{in} supera i $2/3V_{cc}$ si ha $S = 0$, $R = 1$, con che Q diviene basso. Se ora V_{in} scende sotto $2/3V_{cc}$, lo stato del FF non cambia, poichè ora sia R che S sono 0. La transizione allo stato complementare (cioè Q alto) si ha soltanto quando V_{in}

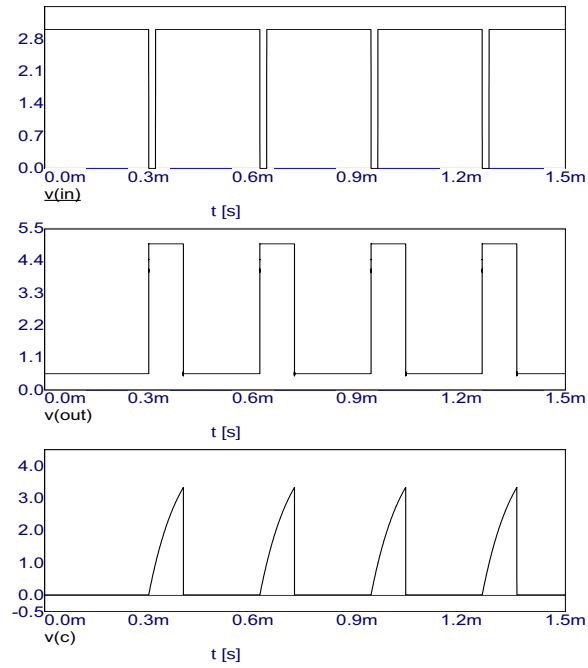


Figura 14.6:

scende sotto il valore $1/3V_{cc}$. Questo è il comportamento appunto di un trigger di Schmitt. Se si desidera che i due livelli di *confronto* non siano $2/3V_{cc}$ ed $1/3V_{cc}$, è sufficiente interporre tra la sorgente del segnale e l'ingresso del 555 un partitore o un amplificatore. La figura 14.7 mostra il segnale all'uscita di un tale circuito, quando il segnale applicato in ingresso sia una sinusoide. Nell'esempio di figura il segnale in uscita è stato invertito (nel circuito di trigger che abbiamo descritto, il segnale all'uscita del 555 va basso quando l'ingresso supera la soglia alta, e viceversa).

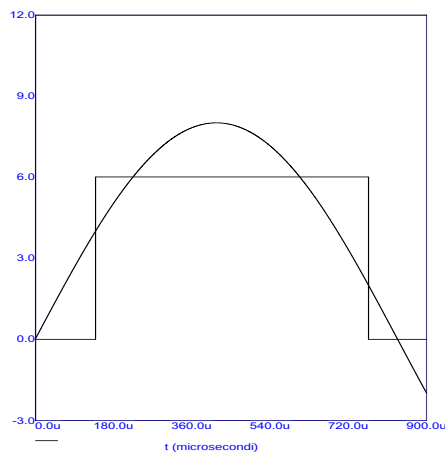


Figura 14.7:

14.4 Convertitore tensione-frequenza

Nelle applicazioni del 555 che abbiamo discusso il piedino 5 (V_{ref}) dell'integrato non veniva utilizzato. Esso era collegato a massa attraverso una capacità, che serviva a mantenere costante la tensione nel punto A (ingresso V_{ref} ; vedasi la figura 14.1). Se nel circuito astabile di figura 14.2, tale ingresso viene collegato ad una sorgente di tensione variabile, le tensioni di riferimento dei due comparatori presenti nel 555 non saranno più uguali a $2/3V_{cc}$ ed $1/3V_{cc}$ ma rispettivamente uguali a V_{ref} e $1/2V_{ref}$. Di conseguenza, durante il processo di carica e scarica del condensatore C_1 nel circuito di figura 14.2, la commutazione avverrà a tempi diversi, legati al valore che nel dato istante ha V_{ref} .

Un esempio di tale circuito è mostrato in figura 14.8. Tale circuito può essere adoperato come convertitore tensione-frequenza. Se il segnale applicato è ad esempio (come in figura) sinusoidale, il segnale in uscita sarà un segnale la cui frequenza varia in modo sinusoidale. Si noti che in tale circuito varia anche la *durata* del segnale in uscita. Se si vuole che il segnale in uscita abbia frequenza variabile in modo sinusoidale ma durata fissa, sarà sufficiente far seguire il circuito da un monostabile.

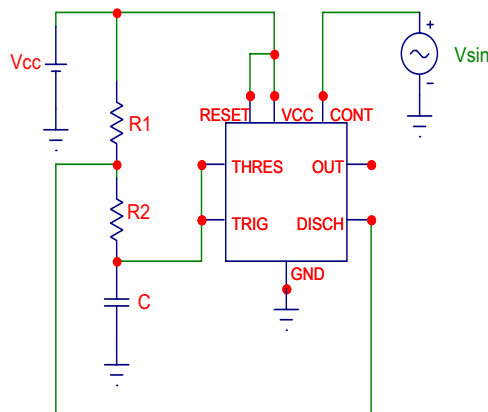


Figura 14.8:

In figura 14.9 mostriamo il segnale sinusoidale applicato all'ingresso V_{ref} di un tale circuito, insieme al segnale presente in uscita e, nel grafico inferiore, a quello presente all'uscita del monostabile che segue il convertitore tensione-frequenza.

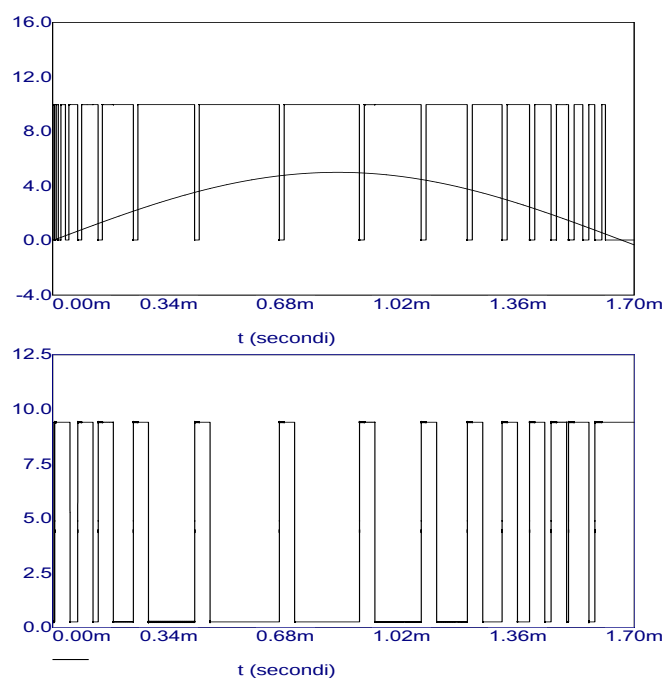


Figura 14.9: