Introduzione all'Elettronica

V. Flaminio

Marzo 2002

Capitolo 6

Il timer 555

6.1 Introduzione

Abbiamo giá 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 é in grado di funzionare indifferentemente come oscillatore, come trigger di Schmitt o come circuito bistabile. Esso é 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 é quella mostrata in figura 6.1

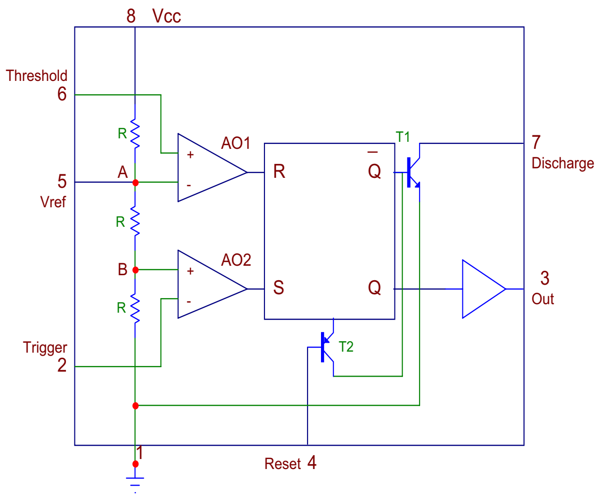

Figura 6.1:

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 é positiva se al piedino 6 (noto come ingresso di *threshold*) é 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*) é applicata un 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 é collegata al piedino 3 tramite un buffer che serve a rendere l'uscita indipendente dal carico esterno. Il transistor T1, la cui base é unita all'uscita $\overline{Q}$ del RS, si comporta da invertitore: se $\overline{Q}$ é alto, esso é in saturazione e l'uscita 7 é bassa. Viceversa, se $\overline{Q}$ é basso T1 é interdetto. Il transistor T2 puó 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 puó essere adoperato per realizzare un multivibratore astabile.

6.1.1 Multivibratore astabile

Un utilizzo del 555 come generatore di segnali rettangolari (astabile) é mostrato in figura 6.2.

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

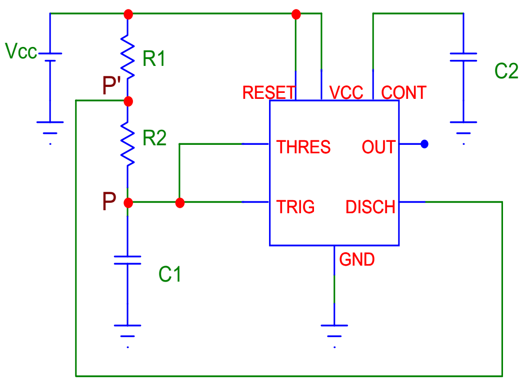

Figura 6.2:

Quest'ultimo é 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 6.1) che é a $2/3V_{cc}$.

Esaminiamo in dettaglio ció che accade. Ammettiamo che il condensatore C_1 sia inizialmente scarico (potenziale del punto P uguale a zero). L'uscita del comparatore AO_2 é quindi inizialmente uguale ad 1 (livello alto) mentre quella del comparatore AO_1 é 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 $V_{CE} = 0$. Poiché l'emettitore é collegato a massa, avremo che il punto P', che é collegato al collettore, sará ad una tensione praticamente nulla. Il condensatore C_1 comincerá 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 raggiungerá 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 ció 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} é quello mostrato in figura 6.3. Vediamo che l'andamento della tensione V_P é quella tipica della carica e scarica di un condensatore, mentre V_{out} é un'onda rettangolare.

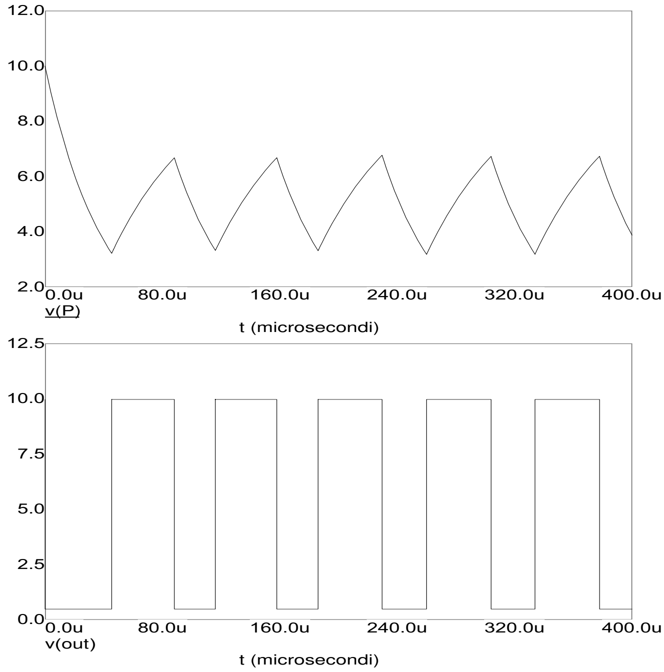

Figura 6.3:

Con una semplice modifica, quale quella mostrata in figura 6.4, si puó ottenere un multivibratore astabile con duty-cycle variabile. Nell'esempio, la serie delle resistenze $R_1 - R_2$ di figura 6.2 é sostituita dalla serie $R_4 - R_1$, dove R_1 é il ramo sinistro del potenziometro R_P. La carica del condensatore C_1 é 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 puó quindi modificare il duty-cycle del segnale in uscita. Si puó verificare che, con i valori delle resistenze e delle capacitá indicati in figura, la frequenza di oscillazione é di 100 Hz ed il duty-cycle puó esser fatto variare tra lo 0.1% ed il 99.9%.

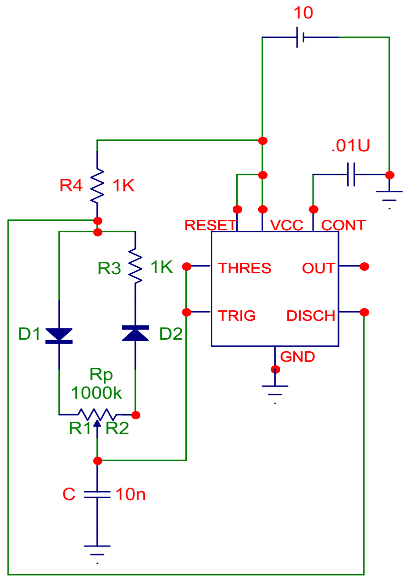

Figura 6.4:

6.2 Multivibratore monostabile

Un circuito monostabile (*one-shot*) puó esser ottenuto utilizzando il 555 nella configurazione di figura 6.5.

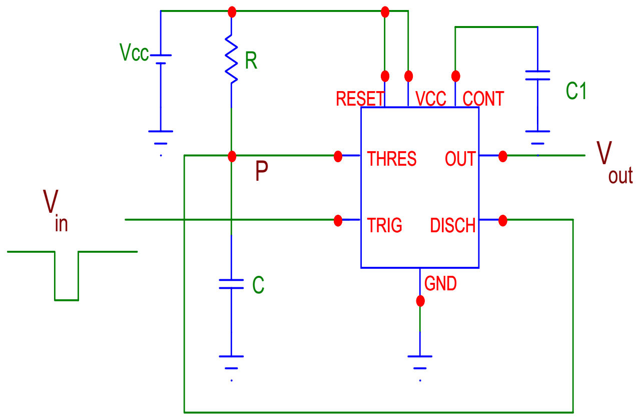

Figura 6.5:

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

C sia scarico, avremo $V_P = 0$ e l'uscita del comparatore superiore sará bassa (R=0). Con ció, lo stato del FF non cambia. Se quindi inizialmente é $Q = 0$, $\overline{Q} = 1$, tale stato rimarrá 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 ció, il transistor d'uscita del 555 sarebbe andato in saturazione, il che avrebbe riportato V_P a zero. Vediamo cosí che lo stato $Q = 0$, $\overline{Q} = 1$ é uno stato stabile del sistema.

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

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

Notiamo che quando V_P raggiunge il valore $1/3V_{cc}$ l'uscita del comparatore inferiore passerá al livello basso (S=0) ma, poiché R é 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 perché la tensione sul condensatore passi dal valore iniziale ($V_P = 0$) al valore $2/3V_{cc}$. La durata T dell'impulso in uscita é cioé data da:

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

cioé:

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

Perché il circuito funzioni correttamente occorre che l'impulso di trigger sia piú corto di T.

Forme d'onda tipiche per questo circuito sono mostrate in figura 6.6. Qui il grafico superiore é 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 é come *pulse stretcher*; esso é cioé adoperato per produrre degli impulsi di durata predeterminata, a partire da impulsi di trigger di breve durata.

6.3 Trigger di Schmitt

Un'ulteriore applicazione del 555 é 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 é cioé un *Trigger di Schmitt*, di cui abbiamo giá incontrato un esempio nella sezione relativa agli amplificatori operazionali. Il funzionamento del circuito é estremamente semplice. Se i piedini 2 e 6 del 555 (cioé 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, poiché ora sia R che S sono 0. La transizione allo stato complementare (cioé Q alto) si ha soltanto quando V_{in}

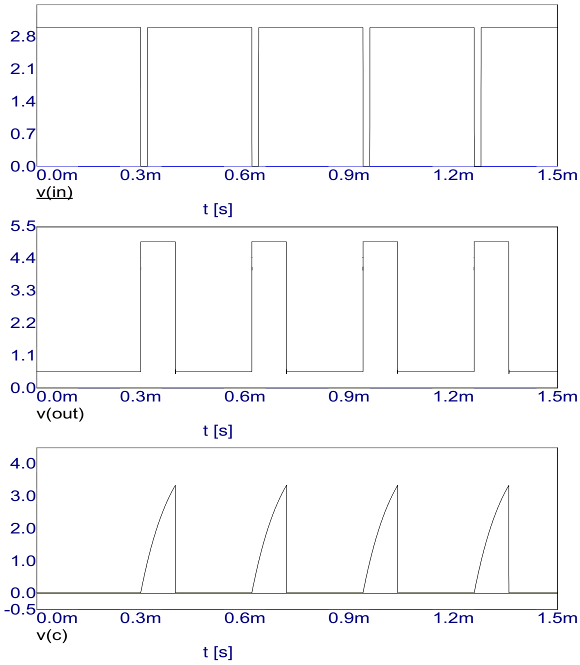

Figura 6.6:

scende sotto il valore $1/3V_{cc}$. Questo é il comportamento appunto di un trigger di Schmitt. Se si desidera che i due livelli di *confronto* non siano $2/3V_{cc}$ ed $1/3V_{cc}$, é sufficiente interporre tra la sorgente del segnale e l'ingresso del 555 un partitore o un amplificatore. La figura 6.7 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 é 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).

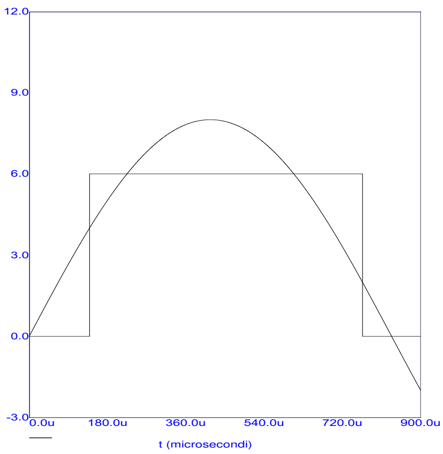

Figura 6.7:

6.4 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 capacitá, che serviva a mantenere costante la tensione nel punto A (ingresso V_{ref}; vedasi la figura 6.1). Se nel circuito astabile di figura 6.2, tale ingresso viene collegato ad una sorgente di tensione variabile, le tensioni di riferimento dei due comparatori presenti nel 555 non saranno piú uguali a $2/3V_{cc}$ ed $1/3V_{cc}$ ma rispettivamente uguali aV_{ref} e $1/2V_{ref}$. Di conseguenza, durante il processo di carica e scarica del condensatore C_1 nel circuito di figura 6.2, la commutazione avverrá a tempi diversi, legati al valore che nel dato istante ha V_{ref}.

Un esempio di tale circuito é mostrato in figura 6.8. Tale circuito puó essere adoperato come convertitore tensione-frequenza. Se il segnale applicato é ad esempio (come in figura) sinusoidale, il segnale in uscita sará 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, sará sufficiente far seguire il circuito da un monostabile.

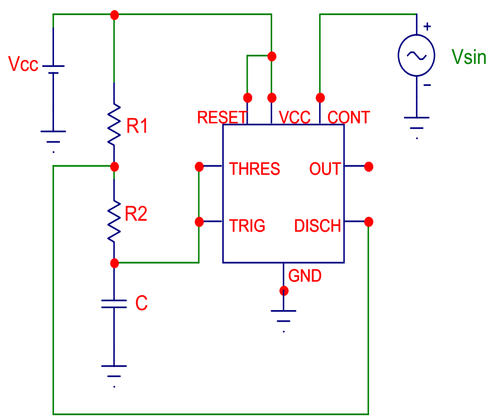

Figura 6.8:

In figura 6.9 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.

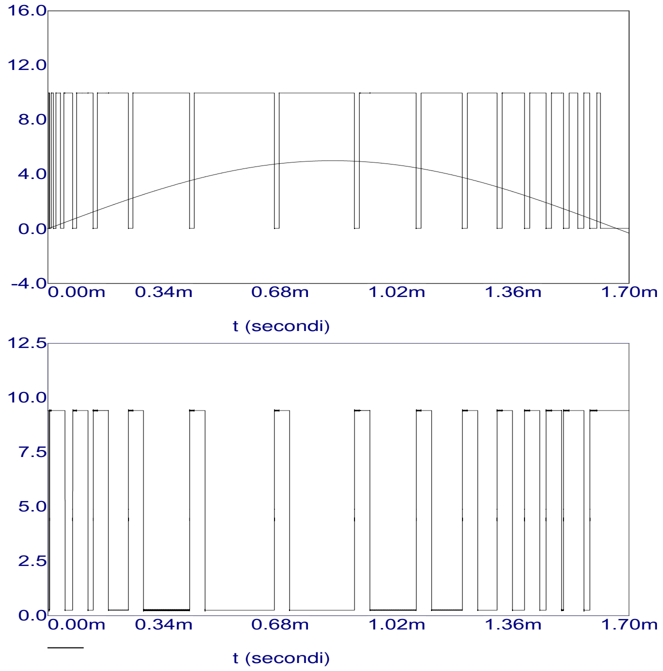
16.0
12.0
8.0
4.0
0.0
-4.0
0.00m
0.34m
0.68m
1.02m
1.36m
1.70m
t (secondi)
12.5
10.0
7.5
5.0
2.5
0.0
0.00m
0.34m
0.68m
1.02m
1.36m
1.70m
t (secondi)

Figura 6.9:

Indice