



Università degli Studi di Bergamo

SCUOLA DI INGEGNERIA
Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Informatica

Laboratorio di Elettronica

Relazione esperienza di laboratorio 4

Prof.
Luigi Gaioni

Candidati
Giulia Allievi
Matricola 1058231

Martina Fanton
Matricola 1059640

Relazione attività di laboratorio 4

Introduzione

Nei circuiti analizzati durante questo laboratorio sono presenti diodi, amplificatori operazionali e un nuovo circuito integrato, il timer 555.

Nella figura 4.1 a sinistra, si può vedere la numerazione e la denominazione di ciascun pin di questo componente. Per capire quali sono i terminali, sul package è presente una mezza luna in corrispondenza del pin numero 1 e poi la numerazione prosegue in senso antiorario. Invece nella stessa figura a destra si possono notare i componenti interni di questo circuito integrato e in particolare della tipologia di timer LM555, ovvero quella che abbiamo utilizzato durante questo laboratorio. Il nome del timer 555 è dovuto al fatto che nel suo schema interno sono presenti tre resistenze in serie da $5\text{ k}\Omega$ l'una.

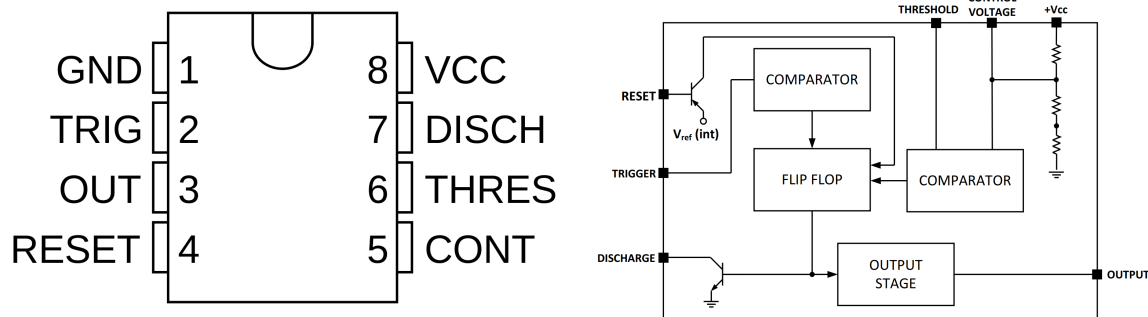


Figura 4.1: Package (a sinistra) e contenuto (a destra, fonte: [datasheet](#) del LM555) del timer 555.

Questo componente richiede un'alimentazione singola per poter funzionare correttamente: la tensione positiva V_{CC} va collegata al pin 8, mentre la massa al pin 1.

Il timer 555 può essere utilizzato in tre modalità: astabile, monostabile e bistabile. In questo laboratorio abbiamo utilizzato la seconda configurazione, che è rappresentata nella figura 4.2.

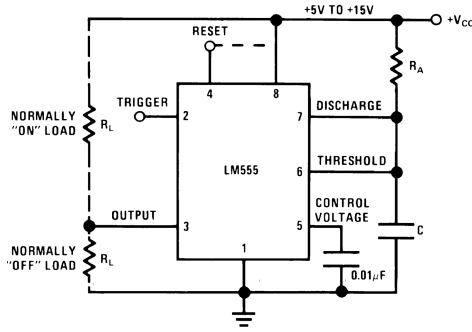


Figura 4.2: Configurazione monostabile del timer LM555 (fonte: [datasheet](#) del LM555).

4.1 Circuito 1: circuito monostabile con trigger di Schmitt

4.1.1 Schema del circuito e Funzione di Trasferimento

Questo circuito (in figura 4.3) è stato ottenuto apportando delle modifiche all'oscillatore analizzato nel precedente laboratorio. In particolare sono stati aggiunti un diodo (con il catodo collegato a massa e con l'anodo collegato alla reazione negativa) e una rete di filtraggio (situata all'ingresso non invertente dell'amplificatore e collegata al circuito tramite un ulteriore diodo). Entrambi i diodi utilizzati sono di tipo 1N4148.

Per riuscire a visualizzare correttamente tutti i segnali sull'oscilloscopio, abbiamo sostituito l'amplificatore $\mu A741$ utilizzato nei precedenti laboratori con un OPAMP di tipo TL071, perché abbiamo osservato sperimentalmente che era più performante per questo particolare circuito.

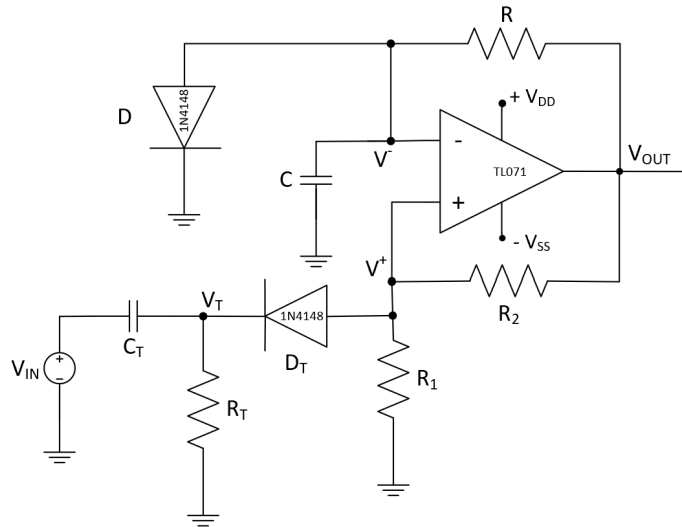


Figura 4.3: Schema del circuito monostabile con trigger di Schmitt.

È un circuito *monostabile* (detto anche *one-shot*) perché presenta uno stato stabile, ovvero quello in cui la tensione di uscita V_{OUT} si trova a un valore pari a V_{DD} , ma può andare allo stato instabile in seguito ad uno stimolo esterno ed in uscita si avrà un impulso negativo fino a V_{SS} con una durata definita. Questa durata dipende dal processo di carica del condensatore verso il valore di V_{SS} e questo processo viene interrotto quando viene raggiunta la soglia V_L^+ . Difatti la tensione sul condensatore può essere calcolata come:

$$V_C(t) = V^-(t) = V_{SS} + (0.7 - V_{SS}) \cdot e^{-\frac{t-t_0}{\tau}}$$

dove t_0 è l'istante in cui si ha il fronte di discesa del segnale in ingresso V_{IN} e l'inizio del processo di carica del condensatore verso il valore V_{SS} , mentre τ corrisponde alla costante di tempo data da:

$$\tau = R \cdot C.$$

Da questa equazione si può ricavare la formula della durata dell'impulso negativo in uscita, sostituendo:

$$t \rightarrow T_A; \quad t_0 \rightarrow 0 \text{ s}; \quad V^-(t) \rightarrow V_L^+ = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot V_{SS};$$

$$\Rightarrow T_A = \tau \cdot \ln\left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) \quad \text{se } |V_{SS}| \gg 0.7 \text{ V}$$

Terminato quest'intervallo di tempo, il circuito ritornerà automaticamente dallo stato instabile al suo stato stabile. Il circuito rimane al suo stato stabile fin quando non sarà nuovamente perturbato dall'esterno. I circuiti monostabili sono utili per realizzare dei temporizzatori.

4.1.2 Analisi e dati sperimentali

Per poter costruire il circuito sulla breadboard, per prima cosa sono stati scelti i valori dei componenti da utilizzare. Nel caso delle resistenze, le loro misure sono state riportate nella tabella 4.1, mentre per i condensatori sono state utilizzate delle capacità di valore nominale di 150 nF per C e di 1 nF per C_T .

	Valore nominale	Valore misurato
R	12 k Ω	11.882 k Ω
R₁	12 k Ω	11.934 k Ω
R₂	12 k Ω	11.950 k Ω
R_T	12 k Ω	11.894 k Ω

Tabella 4.1: Misure delle resistenze utilizzate per il circuito.

Una volta costruito il circuito (figura 4.4), è stato alimentato con una tensione duale di $\pm 10 \text{ V}$ e poi gli è stato fornito in ingresso un segnale a onda quadra (detto segnale di trigger) con duty cycle del 20% e frequenza di 100 Hz. Abbiamo scelto il valore di duty cycle più piccolo che il generatore di forme d'onda può erogare perché nell'intervallo di tempo in cui l'onda quadra è bassa, il condensatore deve scaricarsi fino a V_L^+ e quindi caricarsi fino a $+0.7 \text{ V}$. Dato che tutto questo non avviene istantaneamente, ma ad una velocità legata a τ , affinché il circuito funzioni correttamente è necessario che l'onda quadra stia al livello logico basso per un tempo sufficiente. La tensione picco-picco utilizzata è di 10 V.

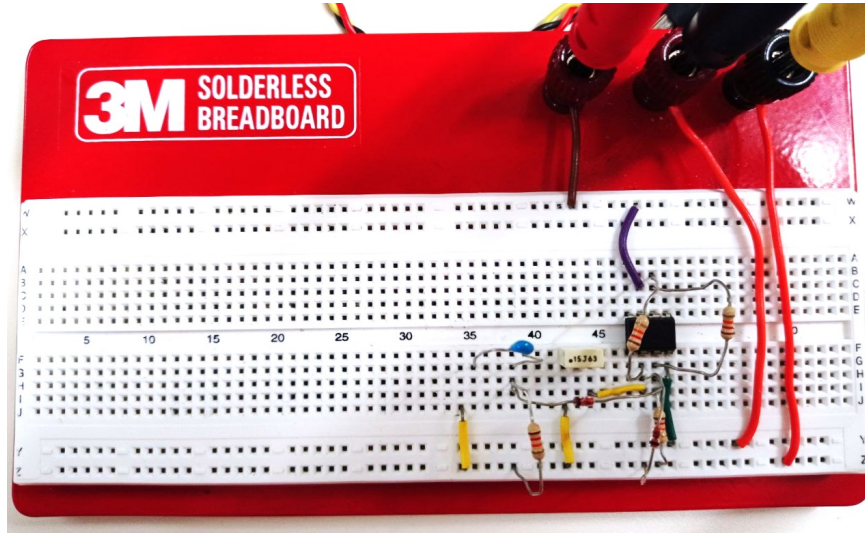


Figura 4.4: Fotografia del circuito monostabile con trigger di Schmitt realizzato in laboratorio.

Nella figura 4.5 sono mostrati il segnale in ingresso V_{IN} (in giallo, CH1) e il segnale in uscita V_{OUT} (in azzurro, CH2). È stata effettuata anche la misura di T_A utilizzando i cursori dell'oscilloscopio, così da poterla confrontare con il risultato teorico.

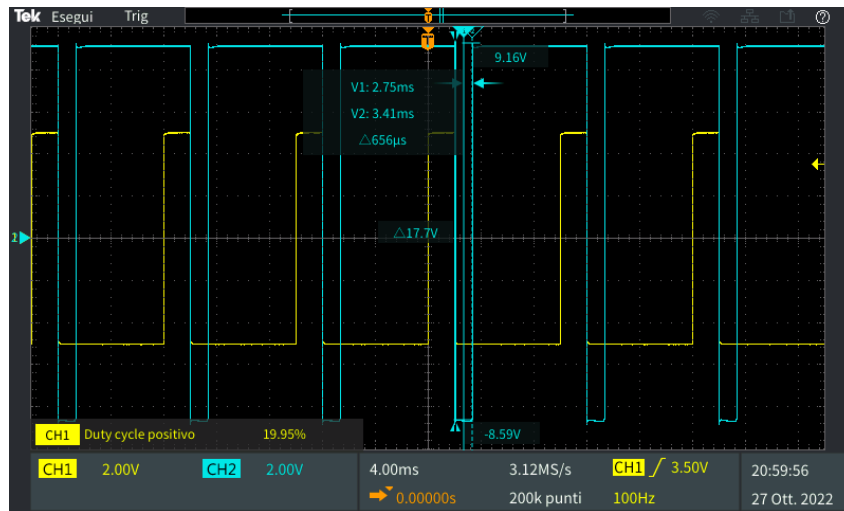


Figura 4.5: Confronto di V_{IN} (CH1) con V_{OUT} (CH2) e misura di T_A con cursori.

Successivamente, abbiamo utilizzato le formule descritte nella sezione precedente per verificare la correttezza della misura della durata dell'impulso negativo in uscita (T_A) ottenuta con l'oscilloscopio:

$$T_A = \tau \cdot \ln\left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) = 1.8 \text{ ms} \cdot \ln\left(1 + \frac{12 \text{ k}\Omega}{12 \text{ k}\Omega}\right) = 1.248 \text{ ms}$$

con $\tau = R \cdot C = 12 \text{ k}\Omega \cdot 150 \text{ nF} = 1.8 \text{ ms}$

La verifica è quindi soddisfatta perché l'oscilloscopio misura una durata dell'impulso di:

$$T_{A,meas} = 2 \cdot 656 \mu s = 1.312 \text{ ms}$$

e l'errore tra i due valori è circa del 4%.

Abbiamo poi confrontato la durata dell'impulso negativo in uscita T_A con la durata dell'impulso negativo in ingresso T_B , calcolata come:

$$T_B = (1 - \delta) \cdot T = (1 - 20\%) \cdot 10 \text{ ms} = 8 \text{ ms}$$

$$\text{con } f = 100 \text{ Hz} \Rightarrow T = \frac{1}{f} = 10 \text{ ms}$$

Come ci si aspetta dalla teoria, si ottiene che $T_B \gg T_A$, quindi il condensatore riesce a eseguire il ciclo di carica in tempo, di conseguenza il circuito funzionerà correttamente.

Terminata l'analisi sulla durata dell'impulso negativo, sono stati confrontati i segnali delle tensioni in ingresso e in uscita rispetto a quelle presenti sugli ingressi dell'OPAMP e a quella presente nel nodo V_T . Riportiamo di seguito i grafici più significativi per l'analisi del circuito.

Per quanto riguarda la tensione sull'ingresso non invertente V^+ , essa varia tra V_L^+ e V_H^+ e, come si può notare dalla figura 4.6, questi due valori non sono simmetrici. Questo succede perché:

- se V_{OUT} è negativa (ovvero pari a V_{SS}) si ha che il diodo D_T è spento e quindi:

$$V_L^+ = \frac{V_{SS}}{2} = \frac{-10 \text{ V}}{2} = -5 \text{ V};$$

- se V_{OUT} è positiva (ovvero pari a V_{DD}) si ha che il diodo D_T è acceso e quindi:

$$V_H^+ = \frac{V_{DD}}{3} = \frac{10 \text{ V}}{3} = 3.33 \text{ V}.$$

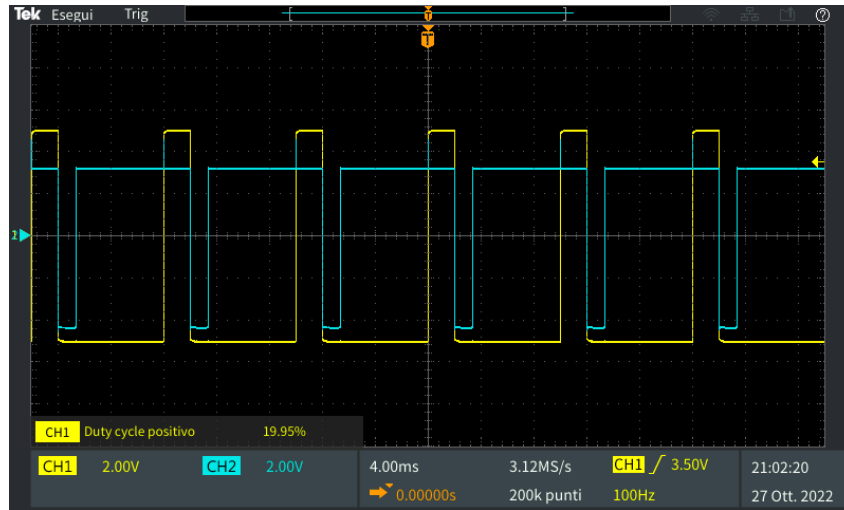


Figura 4.6: Confronto di V_{IN} (CH1) con V^+ (CH2).

La tensione sull'ingresso invertente V^- , corrispondente alla tensione sul condensatore C (V_C), è stata rappresentata nella figura 4.7 e presenta un andamento nel tempo simile ad un treno di impulsi negativi. La sua tensione non potrà mai superare 0.7 V perché per tensioni superiori a questo valore, il diodo si accende e la corrente non fluirà più nel condensatore, ma andrà a massa attraverso il diodo.

Dal grafico di sinistra, possiamo osservare che nell'intervallo di tempo in cui l'onda quadra è bassa la capacità riesce a svolgere correttamente il ciclo di carica, mentre dal grafico di destra vediamo che quando la tensione ai capi della capacità scende da 0.7 V a V_L^+ l'uscita rimane bassa, successivamente ritorna alta fin quando non sopraggiunge un nuovo trigger.



Figura 4.7: Confronto di V^- (CH2) con V_{IN} (CH1, a sinistra) e con V_{OUT} (CH1, a destra).

Analizziamo ora le tensioni V_T e V_{IN} . Il sottocircuito a sinistra del diodo D_T si comporta come un derivatore della tensione in ingresso, ma solo se lavoriamo ad una frequenza molto minore della frequenza di taglio. La frequenza di taglio del filtro è:

$$f_T = \frac{1}{2\pi \cdot R_T \cdot C_T} = \frac{1}{2\pi \cdot 12\text{ k}\Omega \cdot 1\text{ nF}} = 13.263\text{ kHz}$$

Dato che il nostro circuito lavora ad una frequenza di 100 Hz , la condizione $f_T \gg f$ è rispettata, pertanto al nodo V_T avremo la derivata della tensione del nodo V_{IN} . Quando l'onda quadra effettua una transizione verso il basso, avremo un impulso negativo, mentre se effettua una transizione verso l'alto, avremo un impulso positivo la cui tensione massima è però troncata dall'accensione del diodo. Se l'onda quadra è costante, la sua derivata è nulla, perciò la tensione del nodo V_T è anch'essa nulla. In figura 4.8 è mostrato l'andamento nel tempo delle due tensioni considerate.

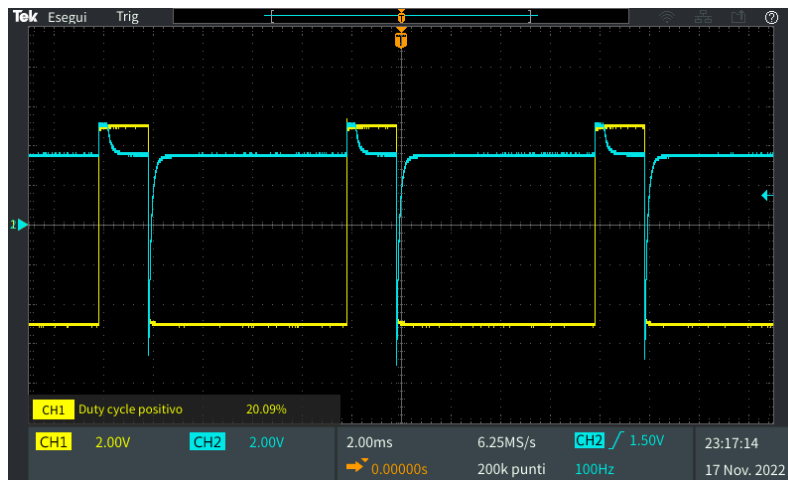


Figura 4.8: Confronto di V_{IN} (CH1) con V_T (CH2).

Nella figura successiva, sono mostrate tutte le tensioni che abbiamo misurato in precedenza, ottenute simulando il circuito su un periodo di tempo dell'onda quadra. Anche su questo grafico possiamo ritrovare tutte le considerazioni fatte per i grafici precedenti, ad eccezione dell'istante iniziale, perché il simulatore inizializza i nodi V^- e V_{OUT} a 0 V.

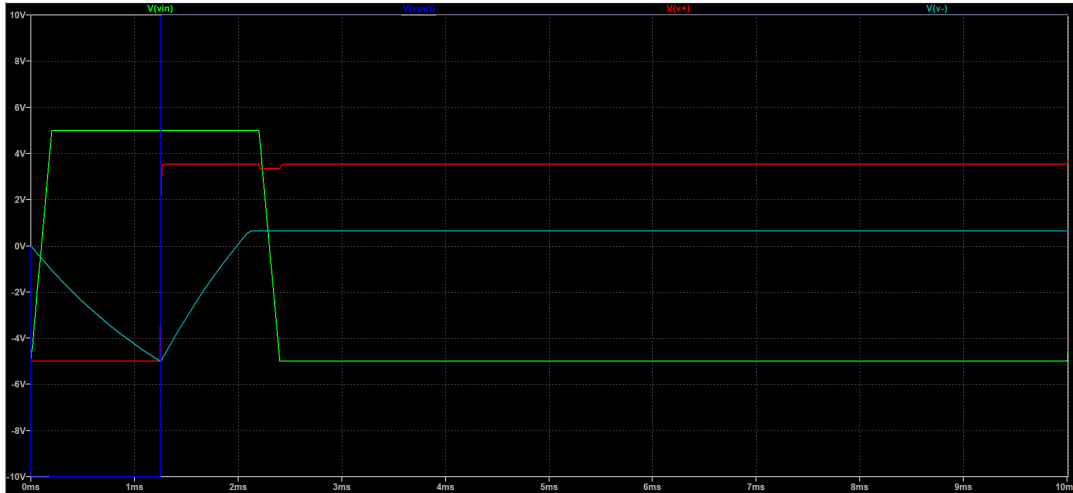


Figura 4.9: Confronto di V_{IN} , V_{OUT} , V^+ e V^- .

Infine, è stato considerato lo stato stabile di questo circuito, che corrisponde al monostabile appena analizzato a cui viene rimossa la rete che realizza i trigger e quindi, a differenza del circuito del precedente laboratorio, viene aggiunto soltanto il diodo D ottenendo il circuito in figura 4.10. Per quest'analisi sono stati mantenuti invariati i valori dei componenti utilizzati. Inoltre, al circuito risultante non si applica nessun segnale in ingresso.

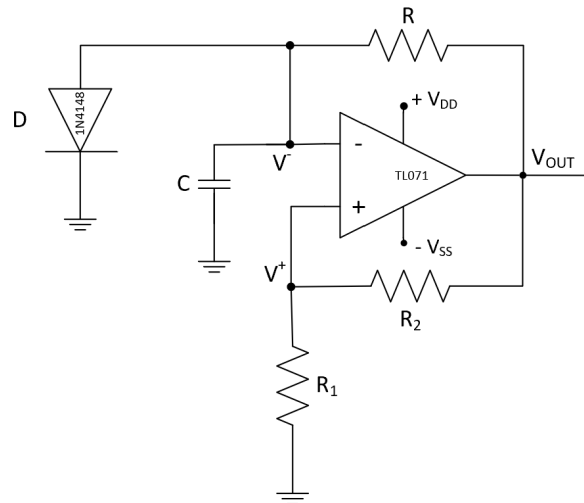


Figura 4.10: Schema del circuito nello stato stabile.

Analizzando il segnale sull'ingresso invertente dell'OPAMP, V^- , si può notare che questa tensione presenta una fase iniziale di carica e poi, una volta raggiunti gli 0.7 V , viene bloccata poichè è stato raggiunto il valore della tensione ai capi del diodo e quindi esso si accende, impedendo alla capacità di continuare a caricarsi (la corrente che prima fluiva nel condensatore e lo caricava, ora andrà a massa attraverso il diodo acceso). Invece il segnale in uscita, V_{OUT} , rimane al valore dell'alimentazione positiva V_{DD} e quindi non riesce a commutare siccome V^- non riesce mai a superare la soglia V_{H}^+ . Quindi, questo circuito rimane nello stato stabile e non oscilla. Il grafico della simulazione è riportato in figura 4.11.

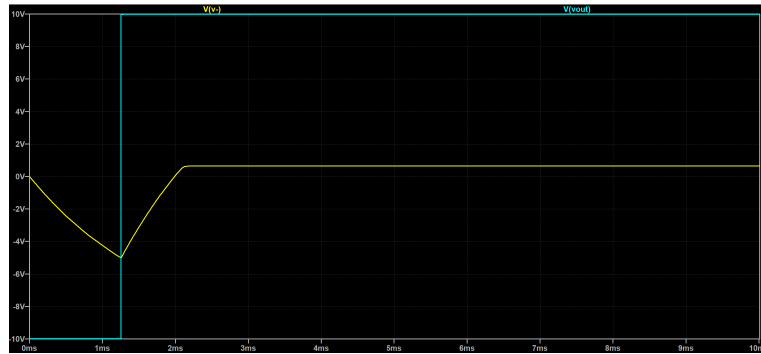


Figura 4.11: Confronto di V^- (CH1) con V_{OUT} (CH2) nello stato stabile.

Per poter rendere questo circuito monostabile, è necessario che la soglia V^+ risulti inferiore rispetto a V^- , in modo da avere una transizione su V_{OUT} . Per avere questo effetto è necessario collegare sull'ingresso non invertente dell'OPAMP la rete che funziona come un derivatore.

4.2 Circuito 2: circuito monostabile con LM555

4.2.1 Schema del circuito e Funzione di Trasferimento

Un circuito monostabile può anche essere realizzato utilizzando un circuito integrato, il timer 555. Nella figura seguente (figura 4.12) è mostrato il package del LM555 con i nomi e la funzione di ogni terminale, oltre che alle connessioni fra i vari componenti.

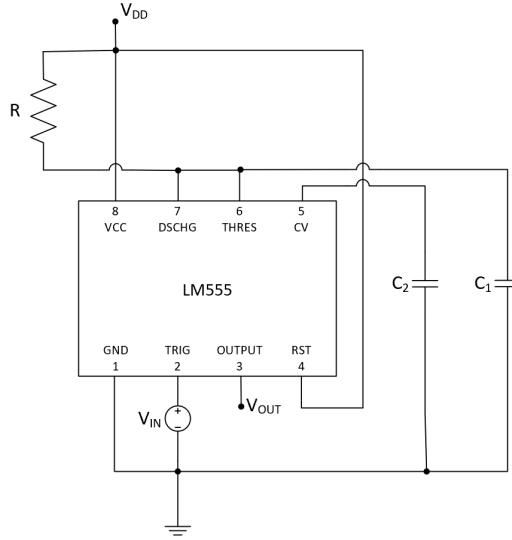


Figura 4.12: Schema del circuito monostabile con LM555.

In questa modalità, quando al pin 2 viene applicato un trigger negativo (che fa passare la tensione di questo pin dal livello logico alto a quello basso), l'uscita da bassa rimane alta per un periodo di tempo che dipende dalla rete collegata ai pin 6 e 7, dopodichè ritorna bassa e rimane a questo valore fin quando non arriva un nuovo trigger.

L'intervallo di tempo in cui l'uscita rimane alta è dettato dal processo di carica del condensatore C_1 : quando arriva il trigger negativo sul pin 2, l'uscita del LM555, corrispondente al pin 3, diventa alta e il condensatore C_1 si carica attraverso la resistenza R . Il processo di carica continua fin quando la tensione ai capi della capacità raggiunge la tensione di $2/3 V_{DD}$, questo valore è determinato dallo schema interno del LM555. Raggiunta questa tensione, l'uscita del LM555 ritorna al livello logico basso e la capacità si scarica istantaneamente a massa, perciò il circuito ritorna autonomamente al suo stato stabile.

La durata dell'impulso in uscita al LM555 si ricava dalla formula di carica del condensatore:

$$v_C = V_{CC} \cdot (1 - e^{-\frac{t}{R \cdot C_1}}) \quad \rightarrow \quad \frac{2}{3} \cdot V_{CC} = V_{CC} \cdot (1 - e^{-\frac{t}{R \cdot C_1}})$$
$$\Rightarrow \quad T = -R \cdot C_1 \cdot \ln \frac{1}{3} = 1.1 \cdot R \cdot C_1$$

La capacità C_2 ha il solo scopo di ripulire il segnale di massa da eventuali disturbi ad alta frequenza.

4.2.2 Analisi e dati sperimentali

Per simulare il trigger sul pin 2, utilizziamo un'onda quadra di ampiezza picco-picco di 10 V e offset DC di 5 V. Il duty cycle utilizzato è di 80%, ovvero il valore più alto fornito dallo strumento, perché è necessario che i trigger negativi siano distanziati di un tempo maggiore rispetto alla durata dell'impulso alto in uscita. Anche la frequenza sarà fatta variare in modo tale da rispettare sempre questa condizione, altrimenti il circuito non funziona correttamente. In figura 4.13 vediamo la fotografia del circuito con la resistenza R da 12 k Ω , C_1 da 150 nF e C_2 da 1 nF. Il modello di timer 555 utilizzato è il LM555, alimentiamo la breadboard fra massa e +10 V perché questo componente funziona ad alimentazione singola.

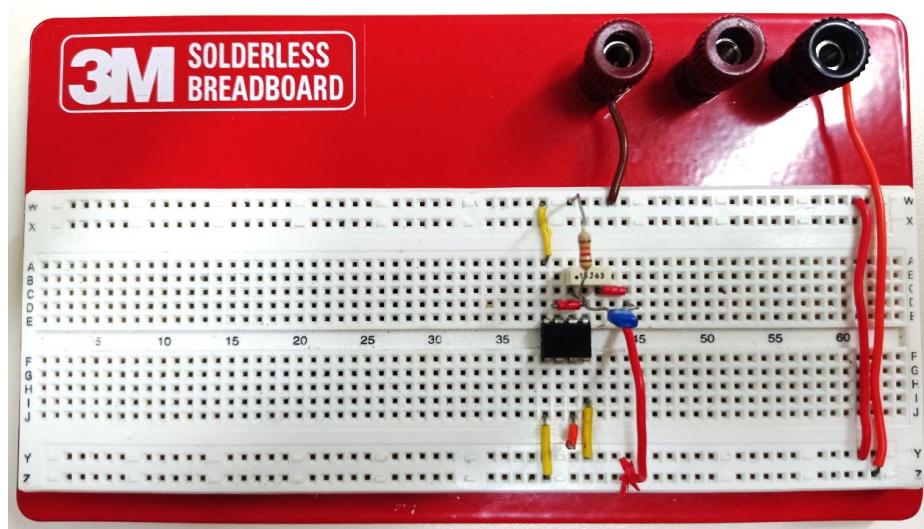


Figura 4.13: Fotografia del circuito monostabile con LM555 realizzato in laboratorio.

Per verificare la relazione esistente fra la durata dell'impulso T ed i valori della resistenza e della capacità, andiamo a misurare la durata dell'impulso al variare di R , con C_1 fissata a 150 nF, successivamente fissiamo la capacità ad un nuovo valore, 10 nF, e facciamo variare nuovamente la resistenza. Le misure delle resistenze scelte sono riportate in tabella 4.2, mentre quelle dell'impulso T al variare della resistenza per i due valori di capacità sono riportate nelle tabelle 4.3 e 4.4.

Valore nominale	Valore misurato
4.6 k Ω	4.625 k Ω
12 k Ω	11.898 k Ω
18 k Ω	17.998 k Ω
22 k Ω	23.947 k Ω

Tabella 4.2: Misure delle resistenze utilizzate per il circuito monostabile con LM555.

	Valore teorico	Valore misurato	Errore percentuale
R = 4.6kΩ	763 μ s	772 μ s	1.16%
R = 12kΩ	1.96 ms	1.99 ms	1.37%
R = 18kΩ	2.97 ms	3.00 ms	1.02%
R = 22kΩ	3.95 ms	4.00 ms	1.23%

Tabella 4.3: Misura e valore teorico della durata dell'impulso al variare della resistenza, con $C_1=150$ nF.

	Valore teorico	Valore misurato	Errore percentuale
R = 4.6kΩ	50.9 μ s	53.2 μ s	4.57%
R = 12kΩ	131 μ s	135 μ s	3.15%
R = 18kΩ	198 μ s	207 μ s	4.56%
R = 22kΩ	263 μ s	270 μ s	2.50%

Tabella 4.4: Misura e valore teorico della durata dell'impulso al variare della resistenza, con $C_1=10$ nF.

Le misure di T ottenute con le due diverse capacità sono confrontabili con i valori teorici, nel secondo caso le misure sono affette da un errore maggiore perché la capacità utilizzata è più piccola, quindi l'onda quadra resta alta per un periodo di tempo minore, di conseguenza gli errori di misura impattano maggiormente sui risultati ottenuti.

Nella figura seguente (figura 4.14) è mostrato il grafico in uscita all'oscilloscopio per $R = 12$ k Ω e $C_1 = 150$ nF, in cui possiamo vedere la misura di T effettuata dall'oscilloscopio. Il grafico è simile per le altre combinazioni di R e C_1 , cambia solo la durata dell'intervallo di tempo T. Dal grafico si nota anche che quando la tensione in ingresso (pin 2) ha una transizione negativa, l'uscita (pin 3) si porta alta per un intervallo di tempo di durata T, successivamente rimane al livello logico basso fin quando non si ha una nuova transizione negativa del segnale in ingresso.

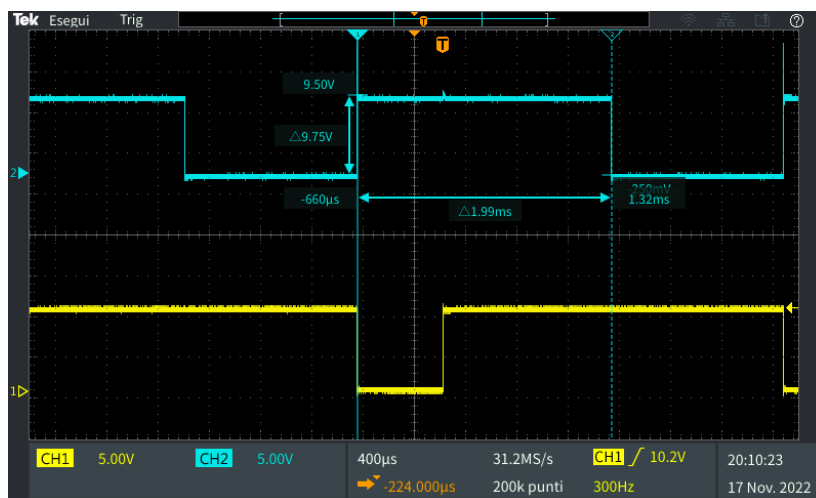


Figura 4.14: Confronto fra la tensione al pin 2 (CH1) e la tensione al pin 3 (CH2).

Per visualizzare meglio i dati delle tabelle, costruiamo e confrontiamo il grafico della durata dell'impulso misurata con quella teorica al variare della resistenza, per entrambe le capacità. Il risultato di quest'elaborazione è mostrato in figura 4.15.

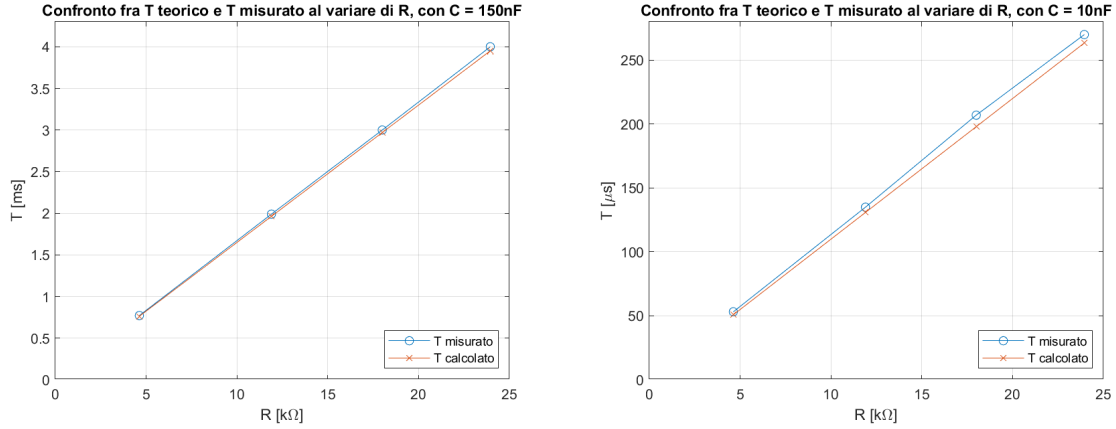


Figura 4.15: Grafico di T in funzione di R per $C_1 = 150 \text{ nF}$ (a sinistra) e $C_1 = 10 \text{ nF}$ (a destra).

In entrambi i casi, le misure sono sovrapponibili ai risultati teorici. Come ci aspettiamo dalla formula, l'andamento di T in funzione di R è di tipo lineare, infatti a resistenze di valore maggiore corrispondono durate dell'impulso T maggiori (il processo di carica è più lento perché τ è maggiore).

Per analizzare l'influenza della capacità su T, possiamo andare a confrontare fra di loro i grafici delle misure per i due valori di capacità. Questo grafico è mostrato in figura 4.16.

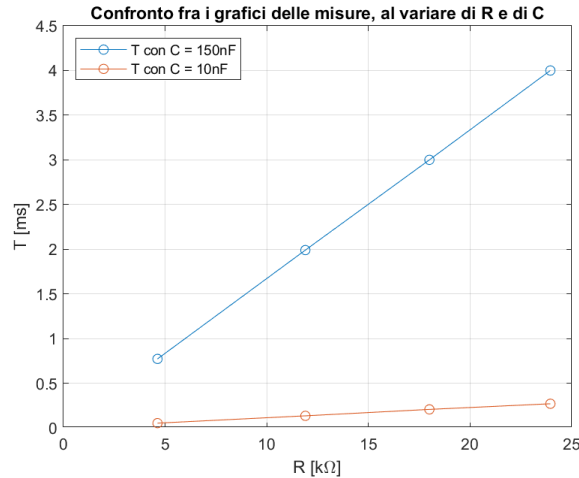


Figura 4.16: Confronto fra i grafici delle diverse misure con i due valori di capacità.

Anche in questo caso possiamo dire che la capacità e l'intervallo T sono proporzionali, perché a valori di capacità minori corrispondono durate dell'impulso minori, viceversa per capacità maggiori la durata di T è maggiore.