



Università degli Studi di Bergamo

SCUOLA DI INGEGNERIA

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Informatica

Laboratorio di Elettronica

Relazione esperienza di laboratorio 5

Prof.
Luigi Gaioni

Candidati
Giulia Allievi
Matricola 1058231

Martina Fanton
Matricola 1059640

Relazione attività di laboratorio 5

Introduzione

In quest'attività di laboratorio abbiamo visto un ultimo circuito monostabile con LM555, successivamente sono state analizzate le altre due configurazioni realizzabili con questo circuito integrato (prima la configurazione bistabile e dopo quella astabile).

La seconda modalità, quella astabile, permette di generare in uscita al pin 3 un'onda quadra le cui caratteristiche dipendono dalla rete collegata all'esterno del circuito integrato. Le connessioni sono illustrate nel datasheet del componente, si riporta di seguito lo schema (figura 5.1).

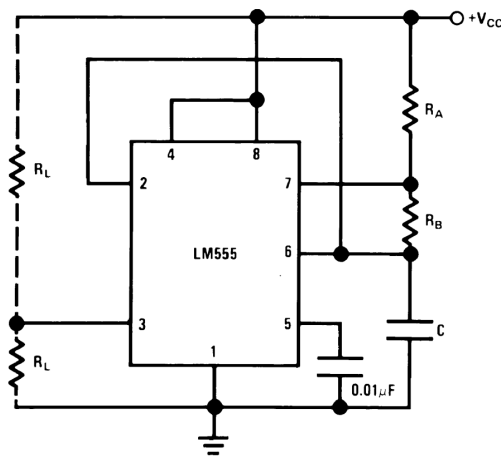


Figura 5.1: Schema delle connessioni da utilizzare per ottenere un circuito astabile (fonte: [datasheet](#)).

La configurazione bistabile invece non è presentata nel datasheet. Questa modalità è utile quando si vuole utilizzare il LM555 come flip-flop set reset. Per ottenerla, è sufficiente utilizzare due resistenze e due pulsanti. Una resistenza è collegata tra i pin 8 e 2, l'altra invece è collegata tra i pin 4 e 8; per quanto riguarda i due pulsanti, uno è collegato tra i pin 2 e 1 e pilota il set, mentre l'altro è connesso ai pin 4 e 1 e comanda il reset. Il pin 8 è collegato all'alimentazione, il pin 1 a massa, il segnale è prelevato al pin 3 e tutti gli altri pin sono lasciati floating. Lo schema si trova nella sezione dedicata all'analisi di questo circuito (sezione 5.2, figura 5.6).

5.1 Circuito 1: LM555 in configurazione monostabile con switch debouncing

5.1.1 Schema del circuito e Funzione di Trasferimento

Questo circuito è basato sul circuito monostabile con LM555 (analizzato nello scorso laboratorio). La differenza più evidente tra i due circuiti è rappresentata dal fatto che il circuito in esame riceve in ingresso un segnale di trigger generato da un pulsante, mentre il precedente circuito riceveva in ingresso un segnale di trigger fornito da un generatore di forme d'onda.

Questo circuito, mostrato in figura 5.2, presenta: due resistenze (R è collegata tra il pin 7 e l'alimentazione positiva, mentre R_1 tra il pin 2 e l'alimentazione positiva), due capacità (C_1 è collegata tra il pin 6 e la massa, mentre C_2 tra il pin 5 e la massa) e un pulsante collegato tra il pin 2 e la massa.

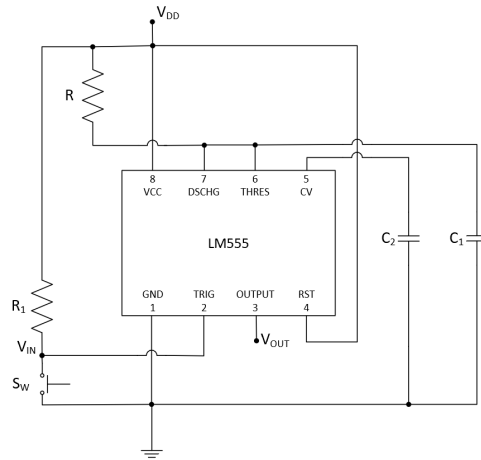


Figura 5.2: Schema del circuito monostabile con switch debouncing.

La caratteristica principale di questo circuito consiste nel correggere l'effetto del rimbalzo dell'interruttore (*switch debouncing*, visibile nella figura 5.5). Questo effetto, che consiste nella generazione di un treno di impulsi spuri su entrambi i fronti dell'impulso in ingresso, viene prodotto dalla rete antecedente il timer e in particolare è dovuto al fatto che la chiusura e l'apertura del pulsante non avvengono in modo istantaneo, perché c'è un transitorio. L'aggiunta del LM555 alla rete in ingresso (e in particolare a valle dell'interruttore) determina un segnale in uscita filtrato da questo effetto indesiderato poiché il timer genera un solo impulso in uscita non appena riceve il primo fronte di discesa del segnale in ingresso.

La funzione di trasferimento di questo circuito è:

$$\begin{cases} V_{out} = V_{DD} & \text{a partire dalla chiusura di } S_W \text{ e per una durata } T \\ V_{out} = 0 & \text{altrimenti} \end{cases} \quad (5.1)$$

5.1.2 Analisi e dati sperimentali

Per quanto riguarda la scelta e il dimensionamento dei componenti di questo circuito (in figura 5.3), come timer è stato scelto un LM555, mentre le due resistenze hanno un valore di $12\text{ k}\Omega$, la capacità C_1 di $10\text{ }\mu\text{F}$ e la capacità C_2 di 1 nF .

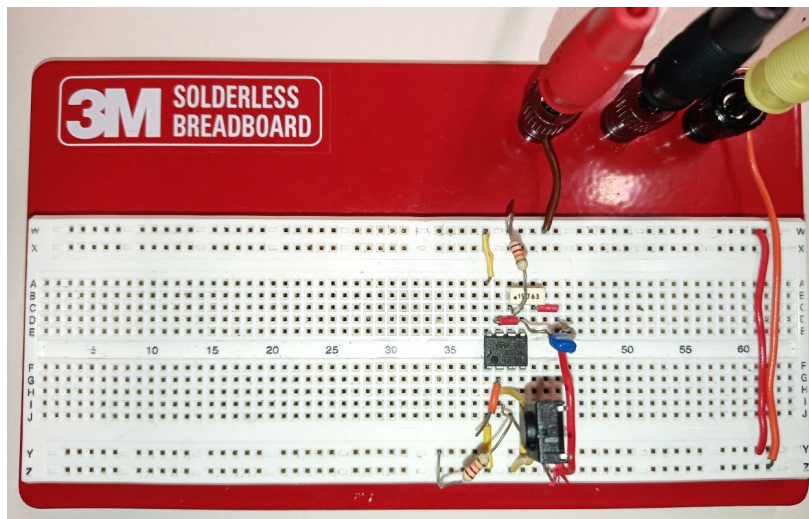


Figura 5.3: Fotografia del circuito monostabile con switch debouncing realizzato in laboratorio.

Avendo dimensionato in questo modo i componenti, ci si aspetta che la durata dell'impulso in uscita al circuito risulti pari a:

$$T = 1.1 \cdot R \cdot C_1 = 1.1 \cdot 12\text{ k}\Omega \cdot 10\text{ }\mu\text{F} = 132\text{ ms}$$

Dalla figura 5.4 è stato verificato che questa durata assumesse un valore maggiore rispetto alla durata dell'impulso in ingresso (che dalla misura effettuata con i cursori dell'oscilloscopio risulta pari a 120 ms).

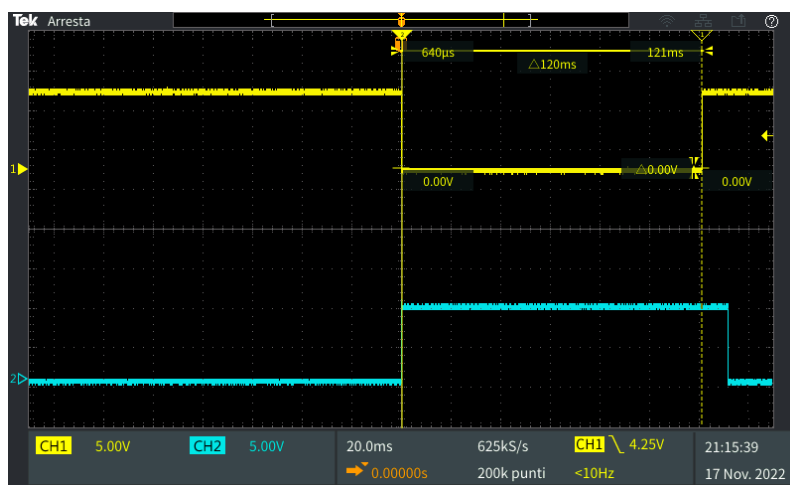


Figura 5.4: Risposta del circuito con cursori.

Inoltre dalla figura 5.5, ottenuta ingrandendo l'immagine precedente, si vede che il segnale in uscita al LM555 presenta un solo impulso positivo e di conseguenza il timer ha effettivamente corretto il rimbalzo dell'interruttore, di cui è caratterizzato il segnale in ingresso, come preannunciato nella sezione precedente.

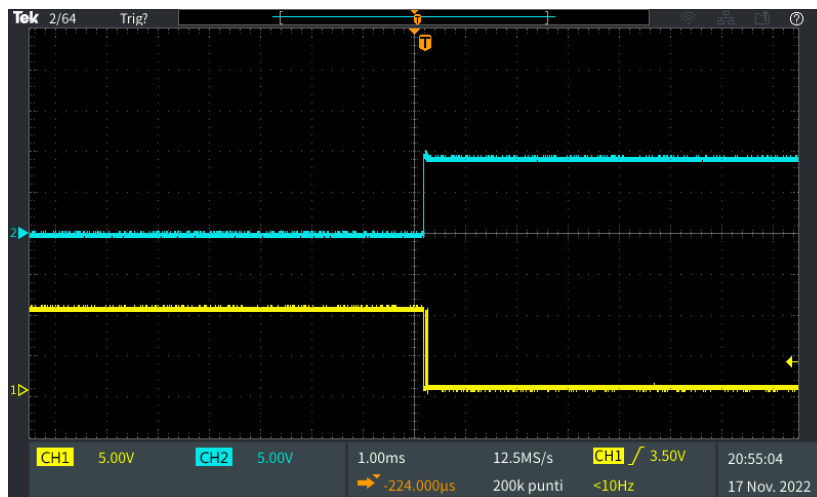


Figura 5.5: Ingrandimento della risposta del circuito (ingresso CH1 e uscita CH2).

I grafici delle figure precedenti sono stati ottenuti utilizzando la modalità Single dell'oscilloscopio, che permette di visualizzare a schermo segnali costituiti da un impulso definito tramite un pulsante (e quindi segnali non periodici), come il segnale di trigger di questo circuito. Anche per i prossimi circuiti analizzati servirà utilizzare questa modalità dell'oscilloscopio.

5.2 Circuito 2: LM555 in configurazione bistabile

5.2.1 Schema del circuito e Funzione di Trasferimento

Questo circuito (in figura 5.6) è costituito da un timer 555, da due resistenze (dette resistenze di pull-up) e da due pulsanti (uno per il set e uno per il reset).

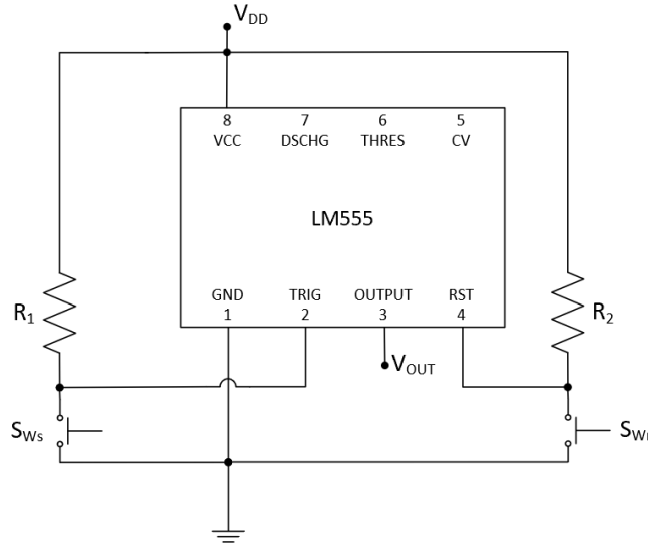


Figura 5.6: Schema del circuito bistabile.

Si tratta di un circuito bistabile perché presenta due stati stabili, set e reset, che vengono attivati in modo mutuamente esclusivo tramite la pressione alternata di due pulsanti situati tra i rispettivi nodi e la massa.

Dunque in ingresso si riceve un segnale che può essere di due tipologie differenti in base all'interruttore attivato: uno per il set oppure uno per il reset che determinano in uscita una transizione al livello logico alto o a quello basso rispettivamente.

Perciò la durata dell'impulso positivo presente sul segnale in uscita dipende dal momento in cui il 555 riceve ciascuno dei due comandi. In particolare il momento della ricezione del comando di set determina l'istante del fronte di salita dell'impulso, mentre la ricezione del comando di reset ne determina l'istante del fronte di discesa.

La funzione di trasferimento di questo circuito è:

$$\begin{cases} V_{out} = V_{DD} & \text{a partire dalla pressione di } S_{Ws} \text{ fino alla pressione di } S_{Wr} \\ V_{out} = 0 & \text{a partire dalla pressione di } S_{Wr} \text{ fino alla pressione di } S_{Ws} \end{cases} \quad (5.2)$$

5.2.2 Analisi e dati sperimentali

Per realizzare il circuito (visibile in figura 5.7) sono state utilizzate due resistenze con un valore di $10\text{ k}\Omega$ ciascuna.

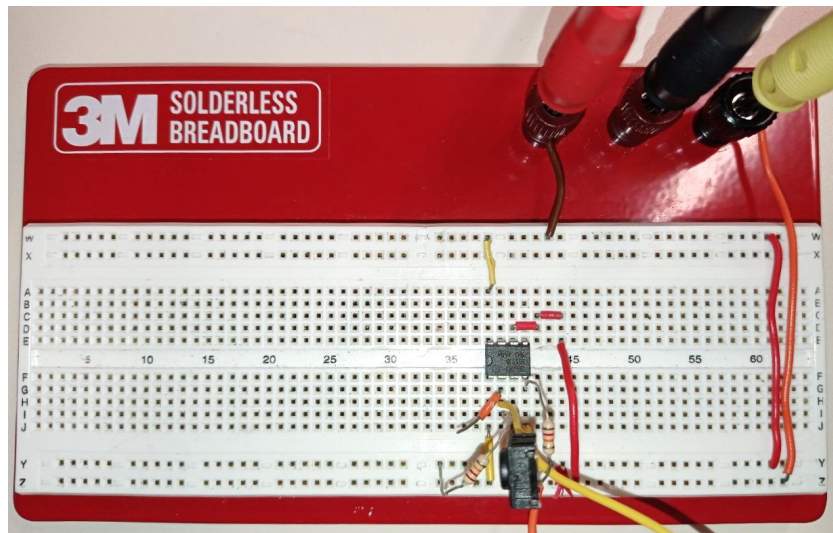


Figura 5.7: Fotografia del circuito bistabile realizzato in laboratorio.

Inizialmente è stato premuto il pulsante di set (mantenendo il pulsante di reset aperto) e questo ha consentito di avere in uscita un segnale al livello logico alto. Perciò si entra nello stato stabile di set.

Successivamente è stato premuto il pulsante di reset (mantenendo il pulsante di set aperto), ottenendo di conseguenza in uscita un segnale al livello logico basso. Quindi si passa dallo stato stabile di set a quello stabile di reset.

Queste variazioni sull'uscita sono state riportate nella figura 5.8 in cui sono rappresentati in giallo l'ingresso (a sinistra il set e a destra il reset) e in azzurro l'uscita.

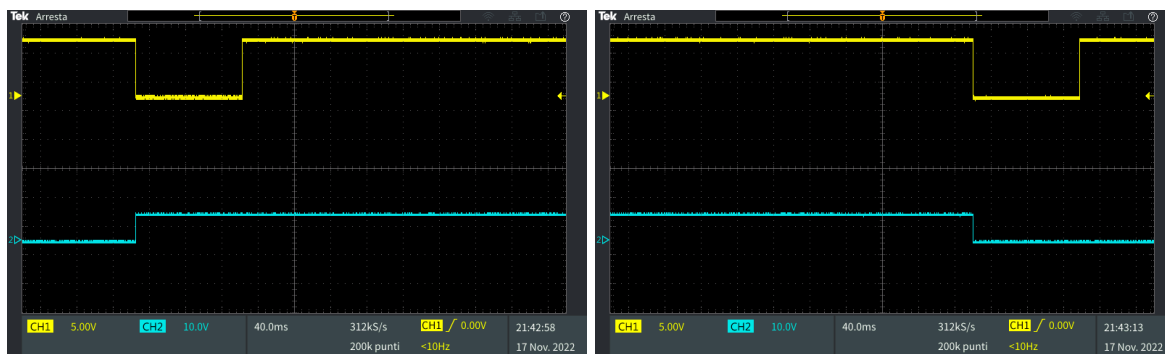


Figura 5.8: Risposta del circuito: a sinistra S ON - R OFF, a destra S OFF - R ON.

5.3 Circuito 3: LM555 in configurazione astabile

5.3.1 Schema del circuito e Funzione di Trasferimento

Andiamo ora a studiare l'ultima configurazione del NE555, che è la modalità astabile. Per realizzare il circuito, si utilizzano due capacità e due resistenze: la prima resistenza, R_A , è collegata fra l'alimentazione e il pin 7 del NE555, mentre la seconda, R_B , si trova fra i pin 7 e 2; per quanto riguarda le capacità, C_1 si trova tra il pin 6 e la massa, invece C_2 è connessa tra il pin 5 e la massa. Lo schema si trova in figura 5.9.

In quest'ultima configurazione, il NE555 viene utilizzato per generare un'onda quadra con duty cycle variabile, le cui caratteristiche dipendono dalla rete collegata esternamente al componente. Non abbiamo nessuno stato stabile, l'uscita oscillerà continuamente tra due stati instabili.

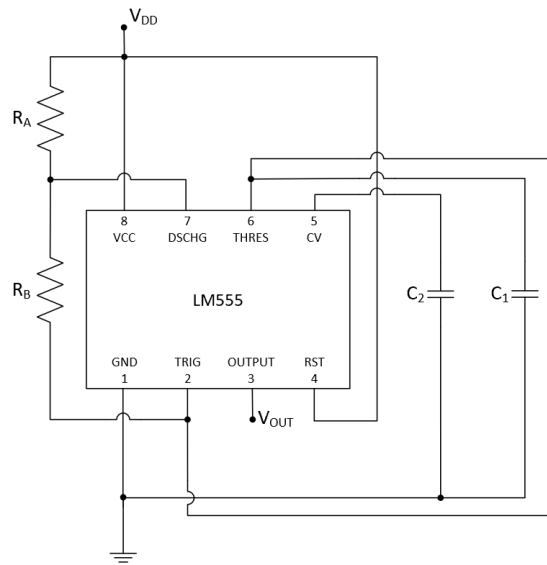


Figura 5.9: Schema del circuito astabile.

Il percorso di carica della capacità C_1 avviene attraverso la serie delle resistenze R_A e R_B : la fase di carica ha inizio quando la tensione ai capi della capacità è di $1/3 \cdot V_{DD}$ e termina quando questo valore raggiunge $2/3 \cdot V_{DD}$. Durante quest'intervallo di tempo, t_1 , l'uscita va a V_{DD} , quindi rimane alta. Terminata la fase di carica, ha inizio la fase di scarica della capacità C_1 attraverso la resistenza R_B . La scarica continua fin quando la tensione ai capi di C_1 raggiunge il valore di $1/3 \cdot V_{DD}$ e durante questo periodo di tempo, t_2 , l'uscita va a massa, dunque rimane bassa.

Le fasi di carica e scarica si alternano continuamente nel tempo, la loro durata si calcola come segue:

$$t_1 = (R_A + R_B) \cdot C_1 \cdot \ln 2$$

$$t_2 = R_B \cdot C_1 \cdot \ln 2$$

$$\rightarrow T = t_1 + t_2 \quad \Rightarrow f = \frac{1}{t_1 + t_2}$$

Noti t_1 e T , possiamo calcolare il duty cycle dell'onda quadra, δ :

$$\delta = \frac{t_1}{T} = \frac{R_A + R_B}{R_A + 2 \cdot R_B}$$

Da questa formula, possiamo dire che:

- se $R_A \ll R_B \Rightarrow \delta \simeq 50\%$
- se $R_A \gg R_B \Rightarrow \delta \simeq 100\%$

di conseguenza, non sarà possibile ottenere un'onda quadra con duty cycle inferiore al 50%.

5.3.2 Analisi e dati sperimentali

In figura 5.10 è riportata la fotografia del circuito realizzato, con $R_A = R_B = 12\text{ k}\Omega$ e C_1 pari a 150 nF .

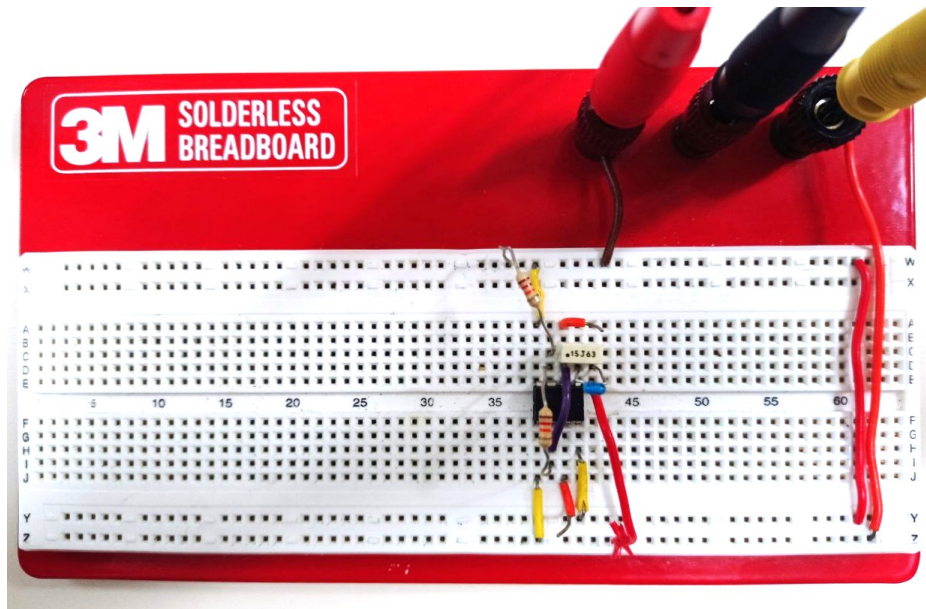


Figura 5.10: Fotografia del circuito astabile realizzato in laboratorio.

Il nostro obiettivo è andare a studiare come si comporta il circuito al variare della resistenza R_A e della capacità C_1 . Fissiamo la resistenza R_B a $12\text{ k}\Omega$ e la capacità C_1 a 150 nF , mentre R_A varia, i valori utilizzati sono riportati in tabella 5.1. Con l'oscilloscopio, andiamo a misurare il periodo e il duty cycle, le misure sono riportate in tabella 5.2.

Una volta ottenute queste misure, sostituiamo la capacità C_1 con una di valore 68 nF e ripetiamo le misure, di cui si riportano i risultati in tabella 5.3.

Successivamente, rielaboriamo tutti questi dati per ottenere dei grafici, dai quali è più immediato capire le caratteristiche del circuito.

Valore nominale	Valore misurato
12 k Ω	11.973 k Ω
24 k Ω	23.943 k Ω
39 k Ω	37.621 k Ω
54 k Ω	54.735 k Ω
82 k Ω	82.132 k Ω
136 k Ω	136.867 k Ω

Tabella 5.1: Misure delle resistenze utilizzate per il circuito monostabile con LM555.

R_A	T teorico	T misurato	δ teorico	δ misurato
12 k Ω	3.743 ms	3.771 ms	66.67%	66.52%
24 k Ω	4.991 ms	5.048 ms	75.00%	74.94%
39 k Ω	6.550 ms	6.502 ms	80.95%	80.54%
54 k Ω	8.110 ms	8.325 ms	84.62%	84.77%
82 k Ω	11.021 ms	11.250 ms	88.68%	88.71%
136 k Ω	16.636 ms	17.180 ms	92.50%	92.61%

Tabella 5.2: Misure e valori teorici con $C_1=150$ nF e $R_B=12$ k Ω .

R_A	T teorico	T misurato	δ teorico	δ misurato
12 k Ω	1.697 ms	1.710 ms	66.67%	66.46%
24 k Ω	2.262 ms	2.277 ms	75.00%	74.95%
39 k Ω	2.969 ms	2.926 ms	80.95%	80.48%
54 k Ω	3.677 ms	3.743 ms	84.62%	84.90%
82 k Ω	4.996 ms	5.069 ms	88.68%	88.73%
136 k Ω	7.541 ms	7.762 ms	92.50%	92.60%

Tabella 5.3: Misure e valori teorici con $C_1=68$ nF e $R_B=12$ k Ω .

Dalle due tabelle, vediamo che i risultati sperimentali coincidono con quelli teorici per entrambi i valori di capacità. Di seguito, vediamo i grafici in cui si confrontano, nell'ordine: il periodo e il duty cycle (misurati e calcolati) della prima capacità utilizzata (5.11), il periodo e il duty cycle (misurati e calcolati) con il secondo valore di capacità (5.12), infine i valori misurati con i due valori (5.13).

Dai grafici delle prime due figure, possiamo confermare che i risultati ottenuti attraverso le misure sono paragonabili a quelli che vengono calcolati con le formule illustrate in precedenza.

Dall'ultima figura, invece, possiamo vedere che la relazione che lega R_A e T è di diretta proporzionalità, infatti all'aumentare del valore della resistenza, aumenta anche T (grafico a sinistra). Anche fra C_1 e T c'è una relazione di proporzionalità, perché all'aumentare della capacità aumenta anche il periodo T. Per quanto riguarda il duty cycle, questo è inversamente proporzionale alla resistenza R_A , infatti il grafico che otteniamo è un ramo di iperbole (grafico di destra).

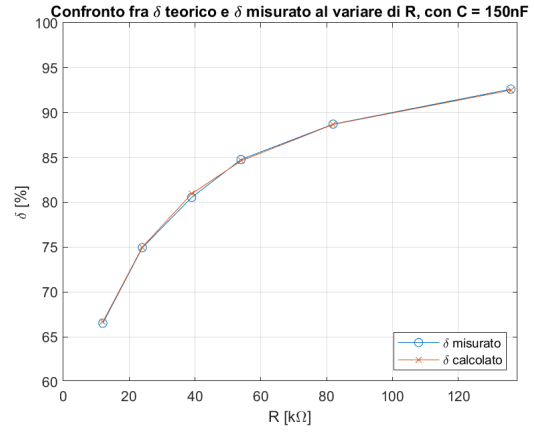
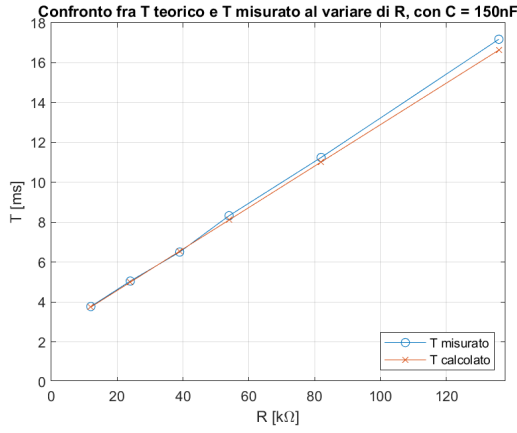


Figura 5.11: Grafico di T (a sinistra) e δ (a destra) in funzione di R_A per $C_1 = 150$ nF.

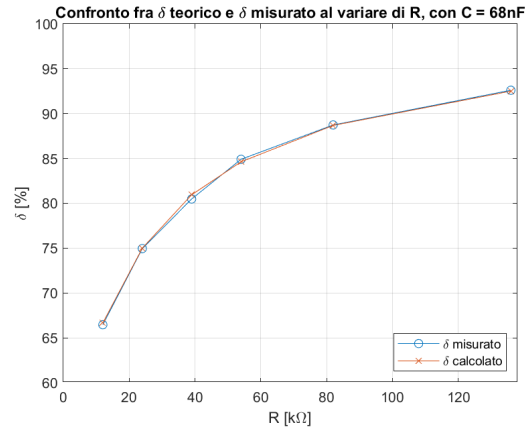
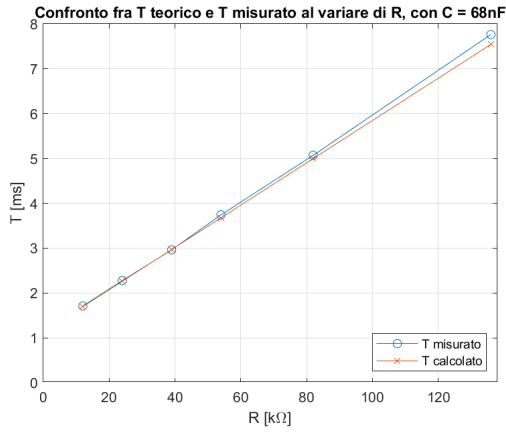


Figura 5.12: Grafico di T (a sinistra) e δ (a destra) in funzione di R_A per $C_1 = 68$ nF.

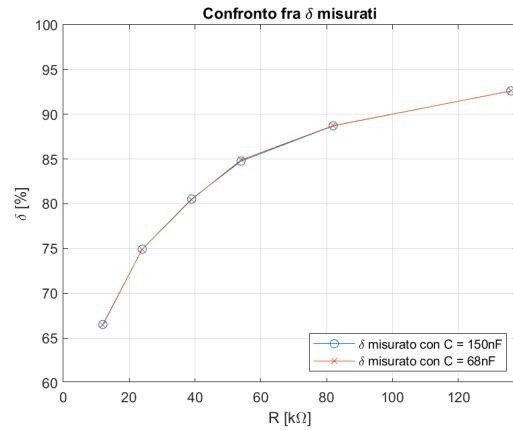
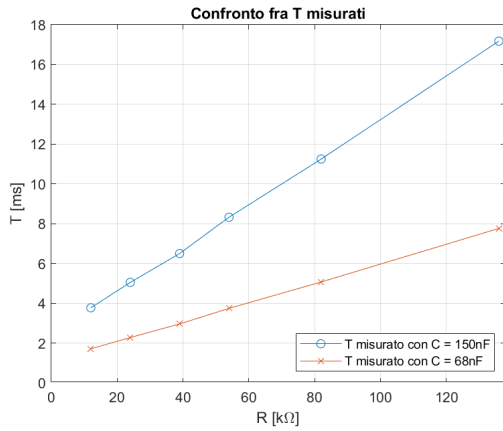


Figura 5.13: Grafico di T (a sinistra) e δ (a destra) in funzione di R_A per i due valori di capacità.

Dalla figura seguente, invece, vediamo che l'uscita del circuito è effettivamente un'onda quadra (CH2), le cui caratteristiche sono determinate dal ciclo di carica e scarica del condensatore (CH1). I valori dei componenti utilizzati sono quelli mostrati anche nella fotografia di figura 5.10.

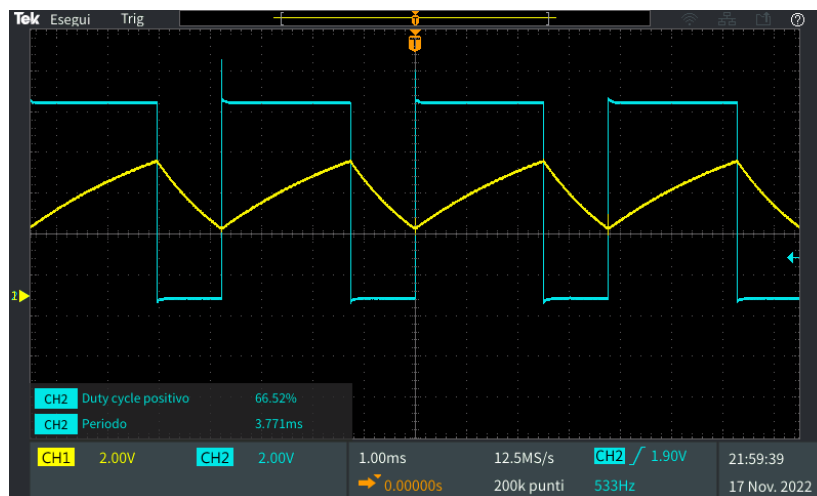


Figura 5.14: Tensione ai capi del condensatore (CH1) e in uscita al circuito (CH2).

5.4 Circuito 4: Evoluzione del LM555 in configurazione astabile

5.4.1 Schema del circuito e Funzione di Trasferimento

Lo svantaggio del circuito appena visto è che siamo vincolati ad avere un duty cycle in uscita limitato fra il 50% ed il 100%. Se volessimo ottenere un valore inferiore al 50%, dobbiamo modificare la rete di carica e scarica del condensatore. Per fare ciò, sostituiamo la resistenza R_B con un potenziometro, il cui terminale centrale è collegato al condensatore C , mentre gli altri due terminali sono collegati ad un diodo ciascuno, in particolare il terminale di destra è collegato all'anodo, invece quello di sinistra al catodo. I terminali non connessi dei due diodi vengono collegati alla resistenza R_A . Lo schema finale è illustrato in figura 5.15.

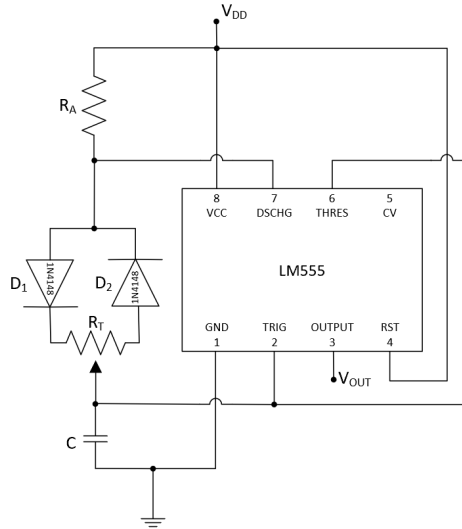


Figura 5.15: Schema dell'evoluzione del circuito astabile.

L'intervallo di tempo in cui l'onda quadra rimane alta (t_1) e l'intervallo in cui questa rimane bassa (t_2) si ricavano dalle leggi di carica e scarica del condensatore e si calcolano come segue:

$$t_1 = (R_A + R_{T1}) \cdot C_1 \cdot \ln 2$$

$$t_2 = (R_{T2}) \cdot C_1 \cdot \ln 2 = (R_T + R_{T1}) \cdot C_1 \cdot \ln 2$$

$$\rightarrow T = t_1 + t_2 = (R_A + R_{T1} + R_T - R_{T1}) \cdot C_1 \cdot \ln 2 = (R_A + R_T) \cdot C_1 \cdot \ln 2$$

Il duty cycle dell'onda quadra, δ si calcola come:

$$\delta = \frac{t_1}{T} = \frac{(R_A + R_{T1}) \cdot C_1 \cdot \ln 2}{(R_A + R_T) \cdot C_1 \cdot \ln 2} = \frac{R_A + R_{T1}}{R_A + R_T} \simeq \frac{R_{T1}}{R_T} \text{ se } R_T \gg R_A$$

Dato che il duty cycle è il rapporto fra una porzione di resistenza e la resistenza stessa, e $R_{T1} = 0 \div R_T$, il duty cycle può variare tra 0% e 100%, quindi questo circuito non è più limitato come il precedente.

5.4.2 Analisi e dati sperimentali

Per realizzare il circuito, di cui si riporta la fotografia in figura 5.16, utilizziamo per R_T un potenziometro che può variare tra 0Ω e $10\text{ k}\Omega$, quindi per rispettare la condizione $R_T \gg R_A$ sceglieremo per R_A una resistenza da $1\text{ k}\Omega$. La capacità C_2 non la utilizziamo, C_1 resta invece invariata, il suo valore è di 150 nF . I valori nominali e misurati delle nuove resistenze sono riportati in tabella 5.4.

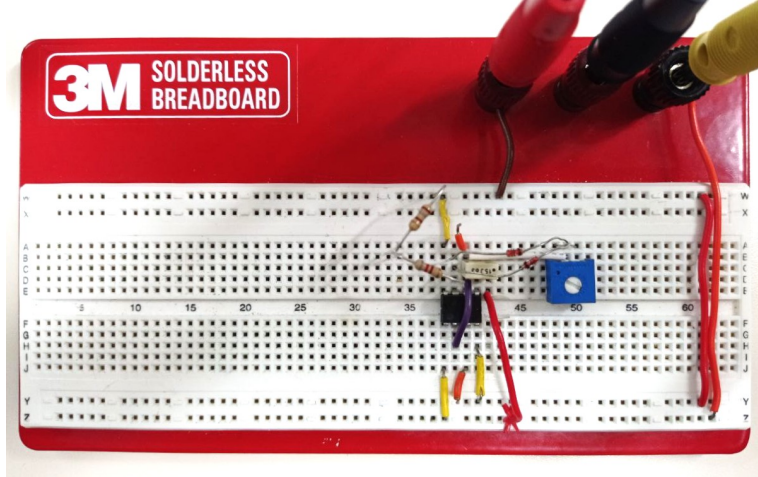


Figura 5.16: Fotografia del circuito astabile con potenziometro realizzato in laboratorio.

	Valore nominale	Valore misurato
R_{A_1}	180Ω	$186\text{ k}\Omega$
R_{A_2}	820Ω	$817\text{ k}\Omega$
R_A	$1.000\text{ k}\Omega$	$1.003\text{ k}\Omega$
$R_{T_{\min}}$	0Ω	$11.950\text{ k}\Omega$
$R_{T_{\max}}$	$10\text{ k}\Omega$	$11.894\text{ k}\Omega$

Tabella 5.4: Misure delle resistenze utilizzate per il circuito.

Per analizzare questo circuito, variamo le resistenze R_{T_1} e R_{T_2} del potenziometro e misuriamo il duty cycle con l'oscilloscopio. I risultati sono riportati in tabella 5.5.

R_{T_1}	R_{T_2}	δ misurato	δ teorico
$10.16\text{ k}\Omega$	$0.18\text{ k}\Omega$	99.42%	98.26%
$7.33\text{ k}\Omega$	$2.79\text{ k}\Omega$	74.14%	74.43%
$5.20\text{ k}\Omega$	$4.96\text{ k}\Omega$	54.86%	51.18%
$1.98\text{ k}\Omega$	$8.15\text{ k}\Omega$	26.60%	19.55%
$0.22\text{ k}\Omega$	$10.13\text{ k}\Omega$	9.06%	2.13%

Tabella 5.5: Misure e valori teorici del duty cycle al variare della resistenza del potenziometro.

Dalla tabella, possiamo vedere che per valori elevati di R_{T1} , e quindi per valori elevati del duty cycle, i valori teorici e misurati sono abbastanza precisi. Per valori piccoli, invece, le misure hanno un errore elevato. Quest'imprecisione potrebbe essere dovuta al fatto che l'approssimazione del calcolo del duty cycle fatta con la condizione $R_T \gg R_A$ è troppo forte, dato che le resistenze R_{T1} e R_A sono confrontabili. Anche dal grafico seguente, la figura 5.17 ritroviamo quanto appena detto.

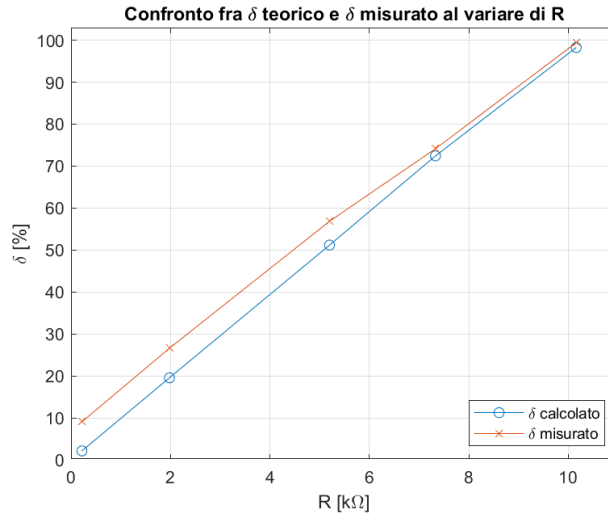


Figura 5.17: Grafico del confronto fra duty cycle calcolato e misurato.

Per verificare che l'origine dell'errore sia l'approssimazione della formula utilizzata per il calcolo del duty cycle, proviamo a tracciare il grafico delle misure in funzione del calcolo del duty cycle senza approssimazione. Il risultato è mostrato nella figura seguente, possiamo vedere che in questo caso le misure sono effettivamente confrontabili con i risultati teorici.

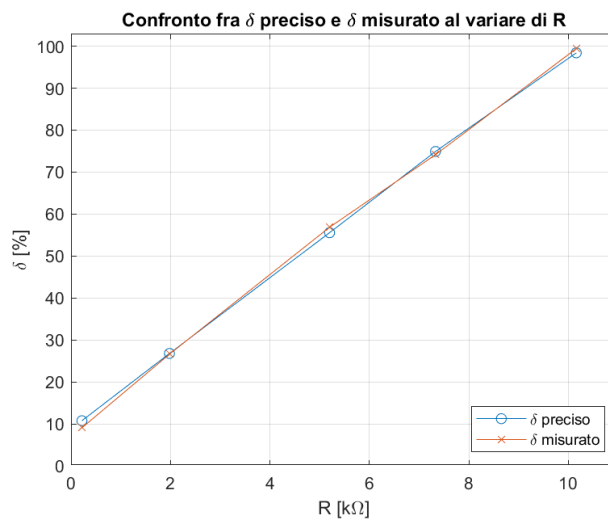


Figura 5.18: Grafico del confronto fra duty cycle calcolato e misurato.

Il comportamento del circuito è quindi corretto, perciò siamo in grado di ottenere in uscita un'onda con duty cycle variabile da 0% a 100%, come si vede anche dai grafici ottenuti dall'oscilloscopio e mostrati in figura 5.19

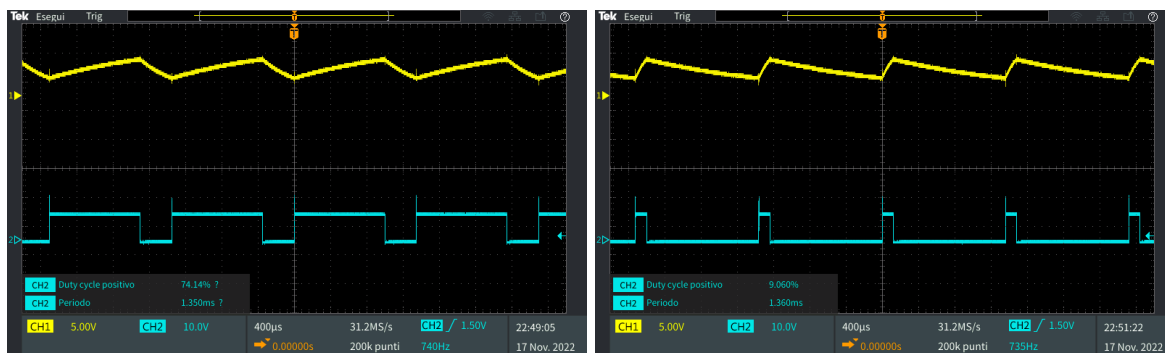


Figura 5.19: Onda quadra in uscita e tensione ai capi del condensatore per due valori di resistenza.