

Esercitazione 11 - Gruppo AD

Semplici circuiti logici e Multivibratori

Alessandro Podo

Federica Maria Surace

13 aprile 2015

1 Costruzione di circuiti logici elementari

1.1 Verifica porta NAND

Nella prima parte dell'esercitazione abbiamo montato il circuito in figura 1 per verificare il corretto funzionamento della porta NAND (integrato SN7400N). Gli interruttori sono collegati a massa e l'input è mantenuto alto nel caso di interruttore aperto tramite una resistenza di pull-up di $1\text{ k}\Omega$.

Nei quattro casi possibili per la configurazione dei due interruttori si nota che, come atteso, il LED è spento quando entrambi gli interruttori sono chiusi, viceversa è acceso in tutti gli altri casi.

Abbiamo eseguito una ulteriore verifica utilizzando come input per la porta le due onde quadre fornite da Arduino, sfasate fra loro di un quarto di periodo. Nell'immagine in figura 2 si vede la schermata dell'oscilloscopio che rappresenta la tabella di verità della porta (sono mostrati l'input 2 e l'output). Uno dei due ingressi non è visualizzato ma è fornito come input del trigger (in salita), perciò si può dedurre la tabella di verità (tabella 1).

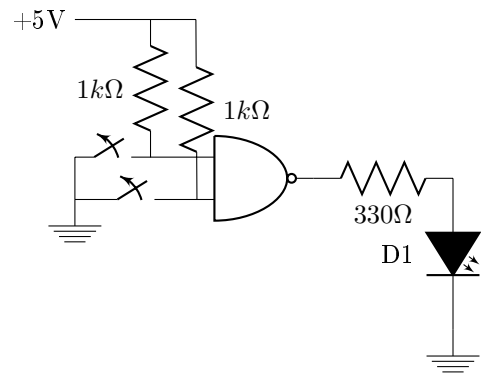


Figura 1: Porta NAND

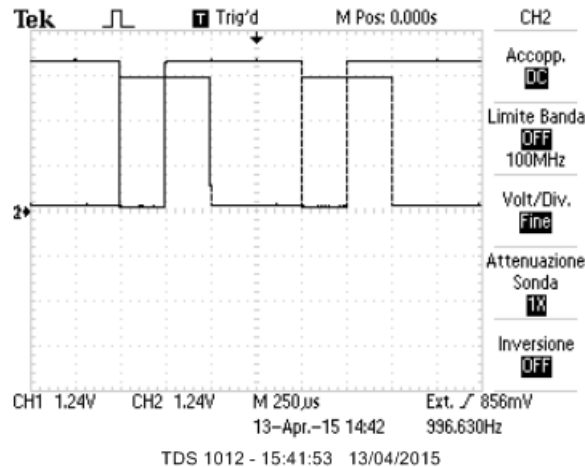


Figura 2: Tabella di verità porta NAND, input 2 e output

Tabella 1: Tabella di verità della porta NAND

Input 1	1	1	0	0
Input 2	0	1	1	0
Output	1	0	1	1

1.2 Circuito AND

Il circuito AND è stato realizzato come in figura 4. La verifica del corretto funzionamento è stata realizzata anche in questo caso usando le onde quadre fornite da Arduino per osservare sull'oscilloscopio la tabella di verità (figura 3).

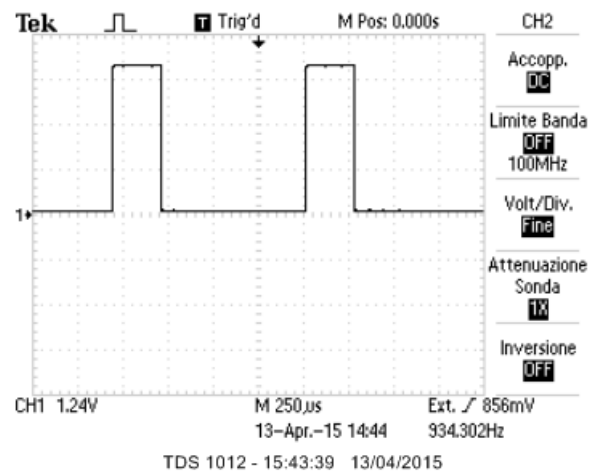
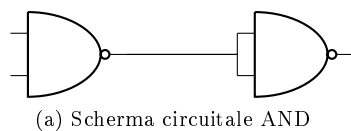


Figura 3: Tabella di verità circuito AND, output



Input 1	1	1	0	0
Input 2	0	1	1	0
Output	0	1	0	0

(b) Tabella di verità del circuito AND

Figura 4: Circuito AND

1.3 Circuito OR

Il circuito OR è stato realizzato come in figura 6. La verifica del corretto funzionamento è stata realizzata anche in questo caso usando le onde quadre fornite da Arduino per osservare sull'oscilloscopio la tabella di verità (figura 5).

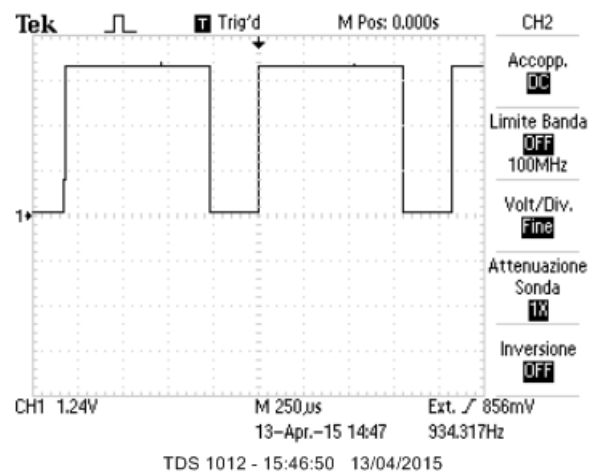


Figura 5: Tabella di verità circuito OR, output

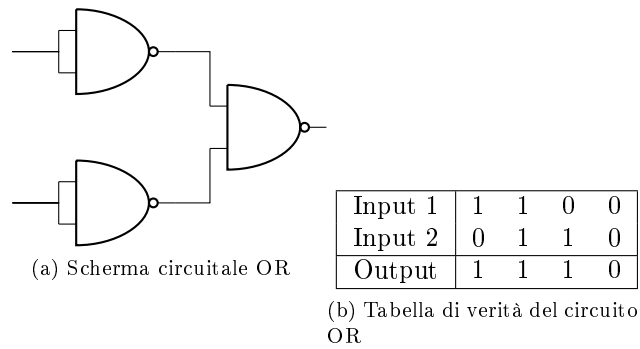


Figura 6: Circuito OR

1.4 Circuito XOR

Il circuito XOR è stato realizzato come in figura 8. La verifica del corretto funzionamento è stata realizzata anche in questo caso usando le onde quadre fornite da Arduino per osservare sull'oscilloscopio la tabella di verità (figura 7).

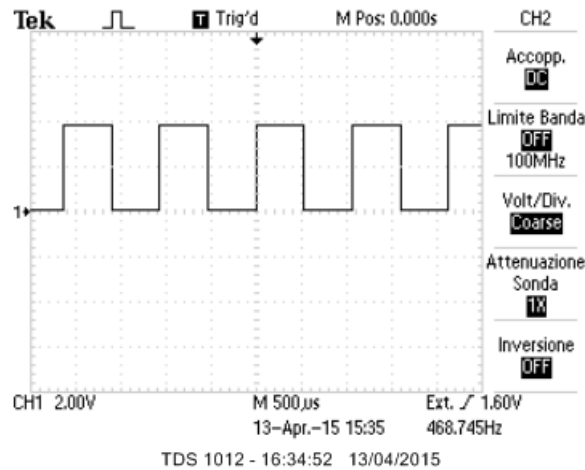


Figura 7: Tabella di verità circuito XOR, output

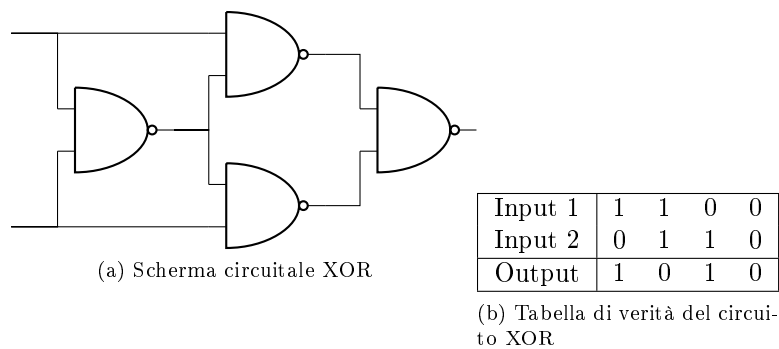


Figura 8: Circuito XOR

1.5 Circuito sommatore ad un bit

Il circuito sommatore ad un bit è stato realizzato come in figura 10, aggiungendo al circuito XOR, che fornisce l'uscita S, un NOT che fornisce in uscita l'output R. La verifica del corretto funzionamento è stata realizzata anche in questo caso usando le onde quadre fornite da Arduino per osservare sull'oscilloscopio la tabella di verità (figura 9).

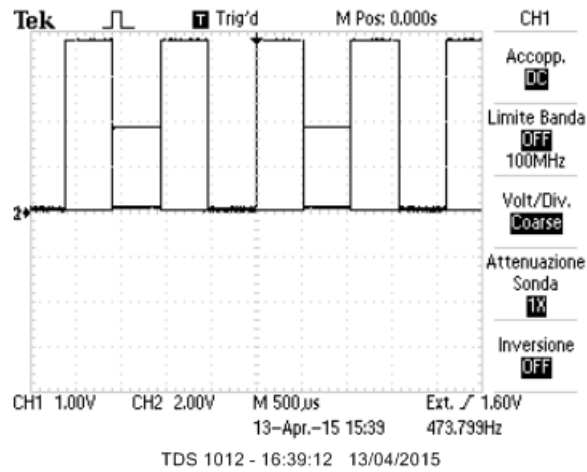
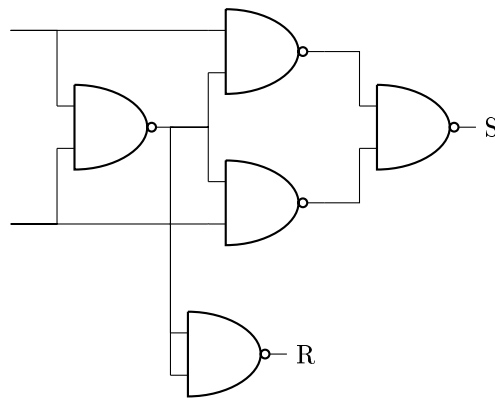


Figura 9: Tabella di verità circuito sommatore, output S e output R



(a) Scherma circuitale sommatore

Input 1	1	1	0	0
Input 2	0	1	1	0
Output S	1	0	1	0
Output R	0	1	0	0

(b) Tabella di verità del circuito sommatore ad un bit

Figura 10: Circuito Sommatore

2 Multivibratore monostabile

Si è montato il circuito in figura 11 con i seguenti valori dei componenti, misurati con un multimetro digitale,: $R_1 = 474 \pm 4 \Omega$, $C_1 = 102 \pm 2 \text{ nF}$. Si è usata una tensione di alimentazione pari a $V_{CC} = 5.06 \pm 0.03 \text{ V}$. Si è inviato in ingresso al circuito un'onda quadra di frequenza $f_{IN} = 5.01 \pm 0.05 \text{ kHz}$, duty cycle $6.7 \pm 0.1\%$ ¹ e tensione di circa 5 V.

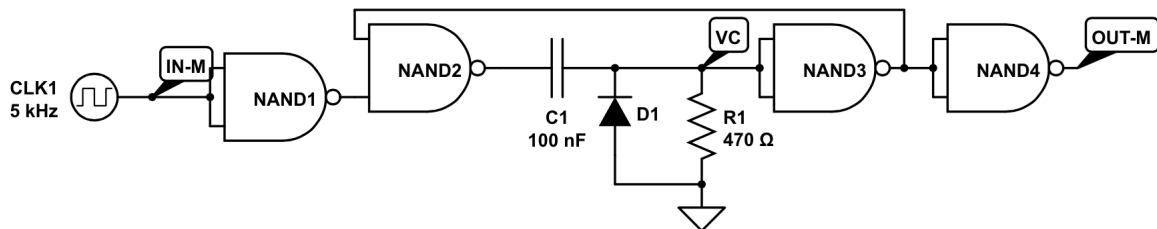


Figura 11: Circuito multivibratore monostabile realizzato con un integrato SN7400N.

Si sono quindi osservati i segnali V_{IN} , V_C e V_{OUT} , rappresentati in figura 12 e in figura 13. In uscita si ha un impulso di durata $t = 42 \pm 1 \mu\text{s}$. Variando il duty cycle e regolando la frequenza dell'onda in ingresso in modo che fosse sempre pari a $f_{IN} = 5.01 \pm 0.05 \text{ kHz}$ si è verificato che la durata dell'impulso in uscita è

¹ Il generatore di forme d'onda non consentiva duty cycle inferiori a tale valore

indipendente dalla durata dell'impulso in ingresso (a patto che la durata dell'impulso in ingresso sia minore di quella dell'impulso in uscita).

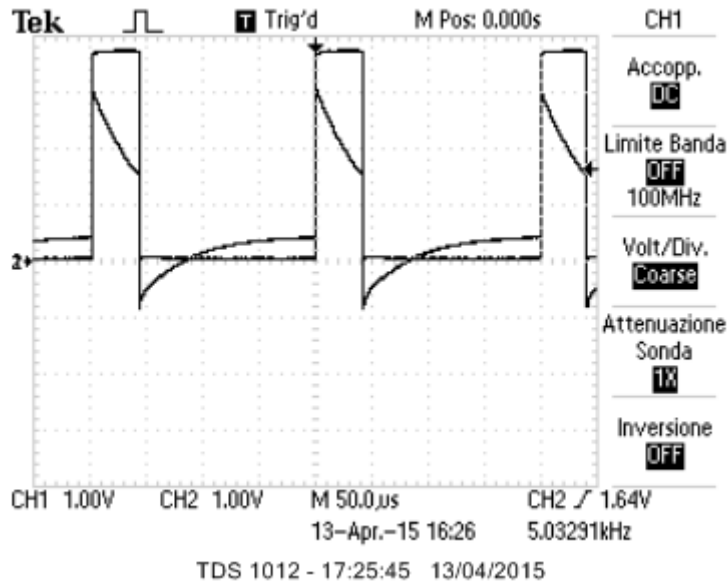


Figura 12: Circuito multivibratore monostabile realizzato con un integrato SN7400N. Sui due canali dell'oscilloscopio sono visualizzati i segnali V_{OUT} e V_C .

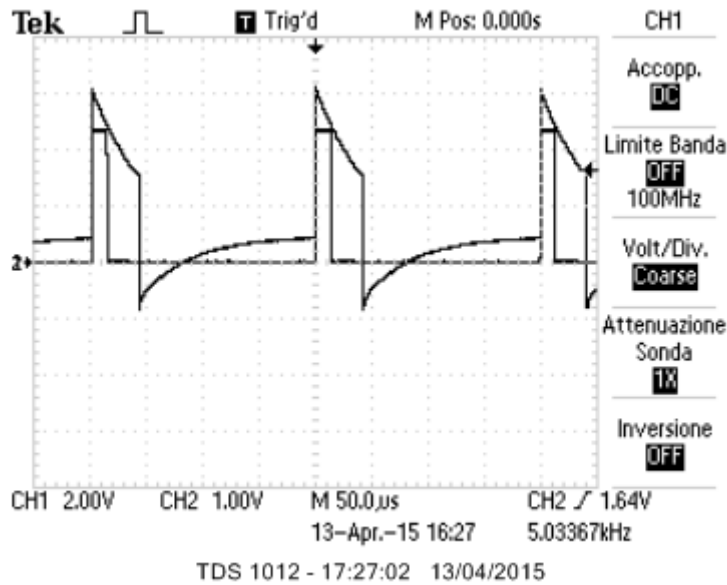


Figura 13: Circuito multivibratore monostabile realizzato con un integrato SN7400N. Sul canale 1 dell'oscilloscopio è visualizzato il segnale V_{IN} e sul canale 2 è visualizzato il segnale V_C .

Come si può vedere dalle figure, quando in ingresso arriva l'impulso, il segnale viene interpretato come un 1 logico dalla porta NOT data dal NAND1 e questo fa sì che in ingresso al NAND2 ci sia uno 0 logico; pertanto in uscita dalla porta NAND2 si ha un 1 logico ovvero V_C alto. All'istante iniziale si ha $V_C = 3.12 \pm 0.04$ V. Poiché si ha una differenza di potenziale ai capi della resistenza R_1 , inizia a fluire una corrente che fa sì che il condensatore C_1 si carichi negativamente. Pertanto la tensione V_C diminuisce seguendo il profilo della scarica di un circuito RC, fino a quando non viene raggiunto il valore $V_{IH} = 1.56 \pm 0.04$ V.

In questo intervallo di tempo il segnale in ingresso al NAND3 è rimasto alto, pertanto il segnale in uscita dal NAND3 e in ingresso al NAND2 è uno 0 logico. Questo fa sì che il segnale in uscita dalla porta NAND2 resti un 1 logico anche una volta terminato l'impulso in ingresso.

Una volta raggiunto il valore V_{IH} , l'ingresso del NAND3 viene interpretato come uno 0 logico e, poiché l'impulso in ingresso al circuito è già terminato, si hanno due 1 logici in ingresso al NAND2. Pertanto il segnale in uscita dal NAND2 diventa basso, ovvero diviene uno 0 logico. Poiché i tempi di commutazione delle porte logiche sono

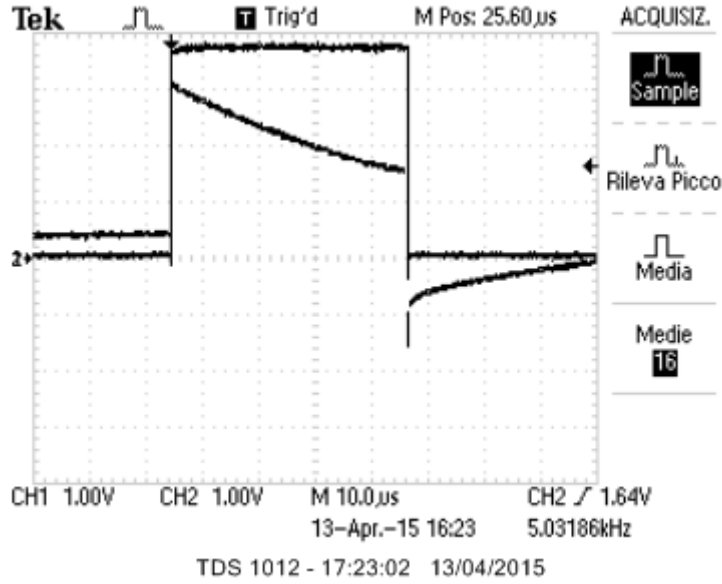


Figura 14: Effetto del diodo sul segnale V_C del multivibratore monostabile.

molto minori dei tempi di carica e scarica del condensatore, la carica sul condensatore si conserva in questo passaggio. Questo fa sì che la tensione V_C diventi negativa. Il diodo D_1 porta quasi istantaneamente il valore di V_C a -0.7 V (si veda la figura 14). A questo punto il condensatore si carica fino al valore asintotico, prima che arrivi un nuovo impulso in ingresso e si ripeta il ciclo.

Utilizzando i valori di V_C e V_{IH} misurati e la durata dell'impulso in uscita t , si ottiene il tempo caratteristico della scarica pari a $\tau = 61 \pm 5 \mu s$.

Il tempo caratteristico atteso per il circuito RC è $\tau_{ATT} = R_1 C_1 = 48 \pm 1 \mu s$. Il valore atteso è dello stesso ordine del valore misurato, tuttavia c'è una discrepanza che potrebbe essere dovuta alla impedenza in uscita del NAND2.

Successivamente si è verificata la dipendenza lineare della durata dell'impulso al variare della resistenza R_1 . Le misure sono riportate in tabella 2 e il grafico in figura 15. Eseguendo un fit lineare $t = aR_1 + b$ si ottiene $a = 0.107 \pm 0.001 \mu s/\Omega$, $b = -8.9 \pm 0.5 \mu s$ con $\chi^2_{rid} = 0.78$. Pertanto l'ipotesi di linearità è verificata molto bene nell'intervallo esplorato.

Tabella 2: Durata dell'impulso in uscita dal multivibratore monostabile in funzione della resistenza.

R_1 [Ω]	σ_{R_1} [Ω]	t [μs]	σ_t [μs]
277	2	20.5	0.1
328	3	26.8	0.4
386	3	32.6	0.4
474	4	41.8	0.2
555	5	50.4	0.4
680	6	63.2	0.4

3 Multivibratore astabile

Si è montato il circuito in figura 16 con i seguenti valori dei componenti, misurati con un multimetro digitale,; $R_2 = 977 \pm 8 \Omega$, $C_2 = 100 \pm 2$ nF. Si è usata una tensione di alimentazione pari a $V_{CC} = 5.06 \pm 0.03$ V.

Si sono quindi osservati i segnali $V_{C,2}$ e V_{OUT} , rappresentati in figura 17. In uscita si ha un'onda quadra di periodo $T = 190 \pm 1 \mu s$ e duty cycle $65.3 \pm 0.7\%$.

Come si nota dallo schema circuitale, le porte NAND in questo caso sono tutte usate come porte NOT in serie. Questo fa sì che l'uscita del NAND7 abbia valore logico opposto rispetto all'ingresso del NAND5. Quando $V_{C,2}$ è alta, fluisce corrente attraverso R_2 e il condensatore si scarica. In questo modo $V_{C,2}$ diminuisce fino a

²Per determinare tale valore si è utilizzata la relazione $V_{IH} = V_C \exp(-\frac{t}{\tau})$

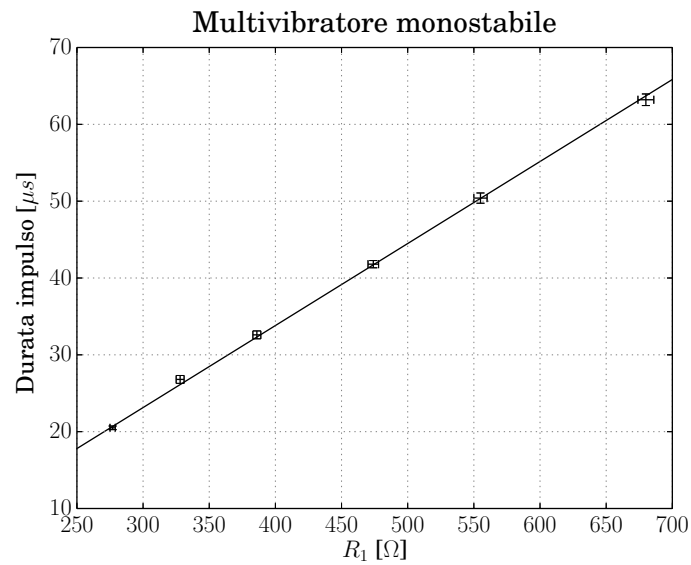


Figura 15: Durata dell'impulso in uscita dal multivibratore monostabile in funzione della resistenza.

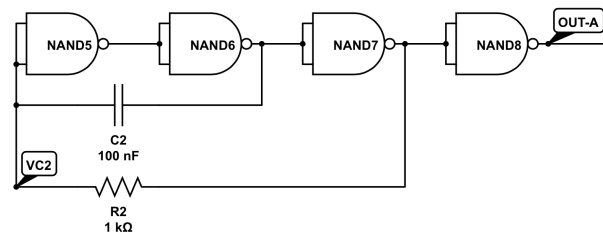


Figura 16: Circuito multivibratore astabile realizzato con un integrato SN7400N.

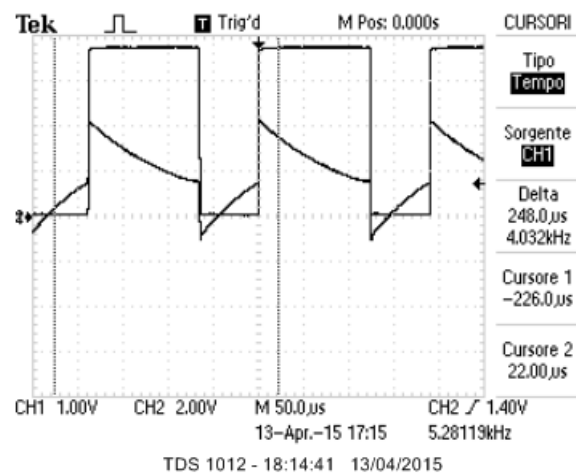


Figura 17: Circuito multivibratore astabile realizzato con un integrato SN7400N. Sui due canali dell'oscilloscopio sono visualizzati i segnali V_{OUT} e $V_{C,2}$.

raggiungere la tensione di soglia. A questo punto si ha una transizione e la tensione in uscita dal NAND6 diventa bassa. Poiché i tempi di transizione sono molto più brevi dei tempi di carica del condensatore, durante la transizione la carica sul condensatore si conserva. Pertanto la tensione $V_{C,2}$ ha un salto verso il basso. A questo punto la tensione in uscita dal NAND7 è alta, pertanto la corrente fluisce nel verso opposto al precedente e il condensatore si carica, fino a quando non viene raggiunta l'altra tensione di soglia e si ha un salto in alto di $V_{C,2}$ in modo analogo e opposto a quanto appena descritto. A questo punto il ciclo si ripete, generando un andamento oscillatorio che viene reso un'onda quadra dal NAND8 presente nel circuito.

Infine si è verificata la dipendenza lineare del periodo di tale onda quadra al variare della resistenza R_2 . Le misure sono riportate in tabella 3. Eseguendo un fit lineare $t = aR_2 + b$ si ottiene $a = 0.178 \pm 0.001 \text{ } \mu\text{s}/\Omega$, $b = 15 \pm 1 \text{ } \mu\text{s}$ con $\chi^2_{rid} = 0.18$. Anche in questo caso l'ipotesi di linearità è perfettamente verificata nell'intervallo esplorato.

Tabella 3: Durata dell'impulso in uscita dal multivibratore astabile in funzione della resistenza.

R_1 [Ω]	σ_{R_1} [Ω]	t [μs]	σ_t [μs]
555	5	114	1
680	6	136	1
823	7	162	1
977	8	190	1
1200	10	230	1
1460	10	274	2

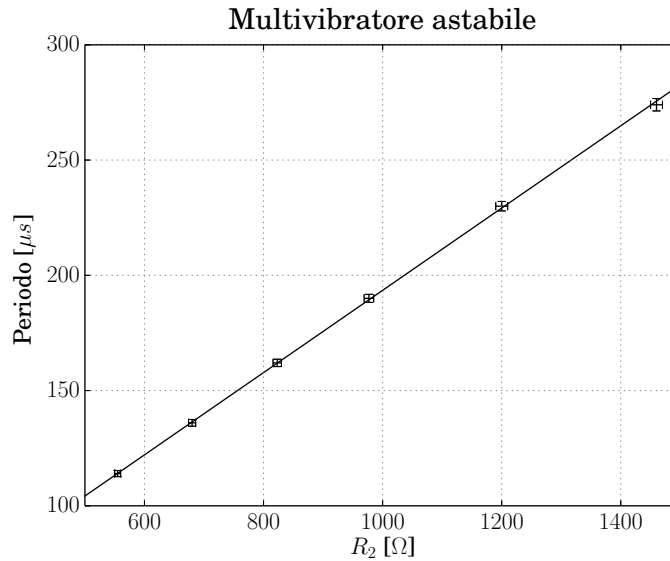


Figura 18: Durata dell'impulso in uscita dal multivibratore astabile in funzione della resistenza.

4 Generatore di onda quadra

Abbiamo montato il circuito in figura 19.

Il multivibratore astabile viene connesso tramite un derivatore al monostabile. Il derivatore, che serve a trasformare l'onda quadra generata dall'astabile in una serie di brevi impulsi, fornisce il segnale mostrato in figura 20. Il monostabile è sensibile ai soli picchi positivi in quanto valori negativi di tensione corrispondono allo 0 logico e non comportano transizioni nello stato.

All'uscita del monostabile si osserva l'onda in figura 20. Il periodo T di quest'onda dipende esclusivamente dalla costante di tempo $\tau_2 = R_2C_2$, che determina la frequenza dei picchi del derivatore. In particolare vale una relazione lineare fra T e R_2 come visto in precedenza. In corrispondenza di ogni picco il multivibratore monostabile fornisce un impulso della durata t che è determinato esclusivamente dalla costante di tempo $\tau_1 = R_1C_1$: infatti il tempo t rappresenta il tempo di scarica del condensatore dalla tensione alta V_C a quella di commutazione V_{IH} . La dipendenza lineare di t da R_1 è stata evidenziata precedentemente.

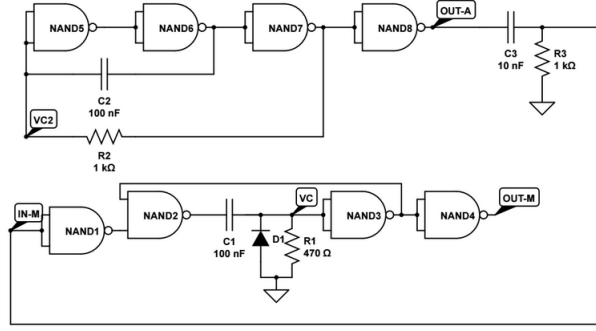
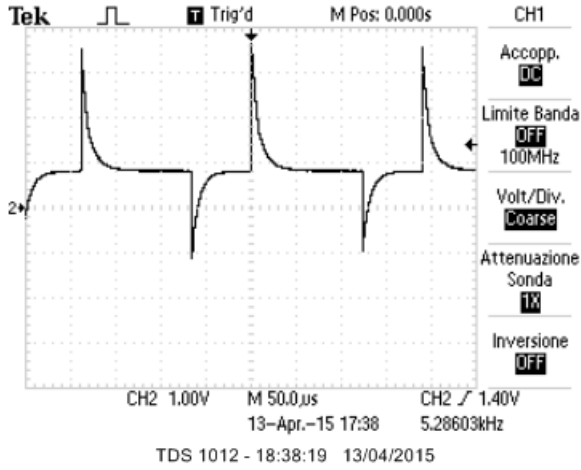
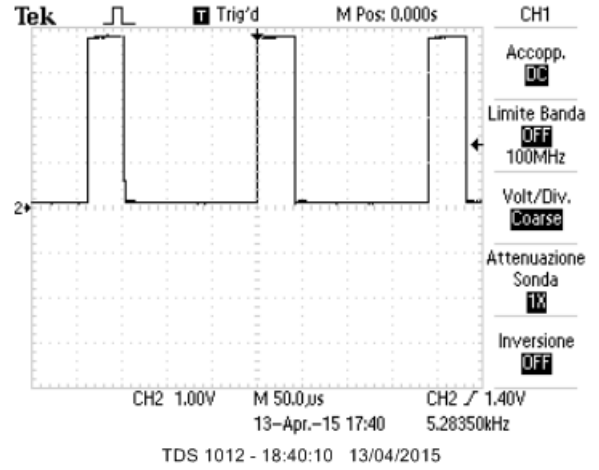


Figura 19: Generatore di onda quadra



(a) Segnale all'uscita del derivatore



(b) Onda quadra in uscita dal monostabile

Figura 20: Generatore di onda quadra

Per una ulteriore conferma abbiamo misurato t e T per diversi valori di resistenze R_1 e R_2 . Le misure effettuate sono riportate in tabella: si nota come, cambiando R_1 e lasciando immutata R_2 non si abbiano sostanziali variazioni in T e, viceversa, cambiando R_2 e non R_1 , t rimanga quasi costante (entro il 5%).

Tabella 4: Periodo e duty cycle al variare di R_1 e R_2

$R_1[\Omega]$	$R_2[\Omega]$	$t[\mu s]$	$T[\mu s]$
474 ± 4	977 ± 8	42.0 ± 0.4	189 ± 1
364 ± 3	474 ± 4	28.8 ± 0.4	99 ± 1
364 ± 3	817 ± 7	30.4 ± 0.4	162 ± 2
570 ± 5	817 ± 7	52.0 ± 0.4	161 ± 2

Utilizzando le rette trovate con i fit precedenti, abbiamo stimato i valori delle resistenze necessarie ad ottenere i valori richiesti $T = 100 \mu s$ e duty cycle 30%, cioè $t = 30 \mu s$. Si trova $R_1 \simeq 364 \Omega$, $R_2 \simeq 476 \Omega$. Abbiamo perciò montato il circuito usando due resistenze in serie per R_1 ottenendo $R_1 = (364 \pm 3) \Omega$ e con $R_2 = (474 \pm 4) \Omega$.

Si ottiene $T = (99 \pm 1) \mu s$ e $t = (28.8 \pm 0.4) \mu s$, quindi il duty cycle vale $(29.1 \pm 0.5)\%$.