

Semplici circuiti logici e Multivibratori

Gruppo BN

Lisa Bedini, Federico Belliardo, Marco Costa

4 aprile 2017

1 Scopo dell'esperienza

Nella prima parte dell'esperienza ci si propone di montare e verificare il funzionamento di semplici circuiti logici (AND, OR, XOR e sommatore a un bit) utilizzando solo porte NAND. Successivamente saranno montati un circuito multivibratore monostabile e astabile per verificare la dipendenza lineare tra tempo di durata dell'impulso o il periodo in uscita e la resistenza presente. Infine questi ultimi due circuiti verranno posti in serie per formare un generatore di onda quadra, per studiare la dipendenza tra le resistenze usate e il *duty cycle*.

2 Materiale occorrente

- 2 circuiti integrati SN7400 Quad-NAND Gate;
- DIP Switch a 4 interruttori;
- Diodo 1N4148;
- 2 diodi LED;

Disponiamo inoltre del circuito pulsatore montato nella precedente esperienza, costituito da un Arduino Nano e da un octal buffer/driver SN74LS244.

Tutte le resistenze, i condensatori e la tensione di alimentazione sono stati misurati con il multimetro digitale, quindi l'errore è stato propagato secondo le specifiche nel manuale. I tempi e le restanti tensioni sono state misurate con i cursori dell'oscilloscopio: l'errore sui tempi è dato dalla risoluzione dei cursori stessi mentre quello sulle tensioni è stato propagato considerando sia l'errore sul posizionamento dei cursori sia l'errore sistematico del 3%.

3 Semplici circuiti logici

Verifica porta NAND Abbiamo montato il circuito in figura 1, con una tensione di alimentazione pari a $V_{CC} = 4.85 \pm 0.03$ V e una resistenza di limitazione $R_1 = 327 \pm 3 \Omega$. Abbiamo verificato il suo funzionamento prima tramite il diodo LED, poi tramite l'oscilloscopio. Per ottenere le varie combinazioni possibili in ingresso, si sono usati due interruttori. Per mantenere l'input a livello alto anche nel caso di ingresso flottante bisogna collegarlo materialmente a 0 tramite interruttori, dato che di default l'ingresso scollegato è alto. In tabella in figura 1 si possono vedere i valori di output attesi: 1 corrisponde al livello alto mentre lo 0 corrisponde al livello basso. Si nota che il LED è spento nel caso di $I_1 = I_2 = 0$ mentre è acceso in tutti gli altri casi. La verifica con l'oscilloscopio si effettua inserendo come input il circuito pulsatore di Arduino¹, in questo modo si possono visualizzare tutti gli stati con l'oscilloscopio collegando ad un canale alternativamente l'ingresso I_1 e I_2 , si veda l'immagine 2. Abbiamo usato la traccia di output sul fronte di salita per il trigger.

Circuito AND E' stato realizzato il circuito in figura 3, anche in questo caso si è visualizzato l'output sull'oscilloscopio (figura 4), triggerando sul segnale in uscita. Si nota che l'andamento è quello previsto dalla tabella in figura 3, infatti nelle immagini fornite dall'oscilloscopio si nota che soltanto quando entrambi gli ingressi sono a livello alto, anche l'uscita è alta.

¹Abbiamo usato una frequenza di circa 1kHz.

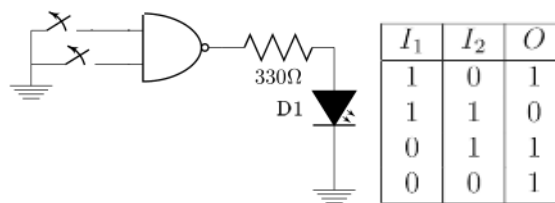


Figura 1: Schema circuitale e tabella di verità della porta NAND.

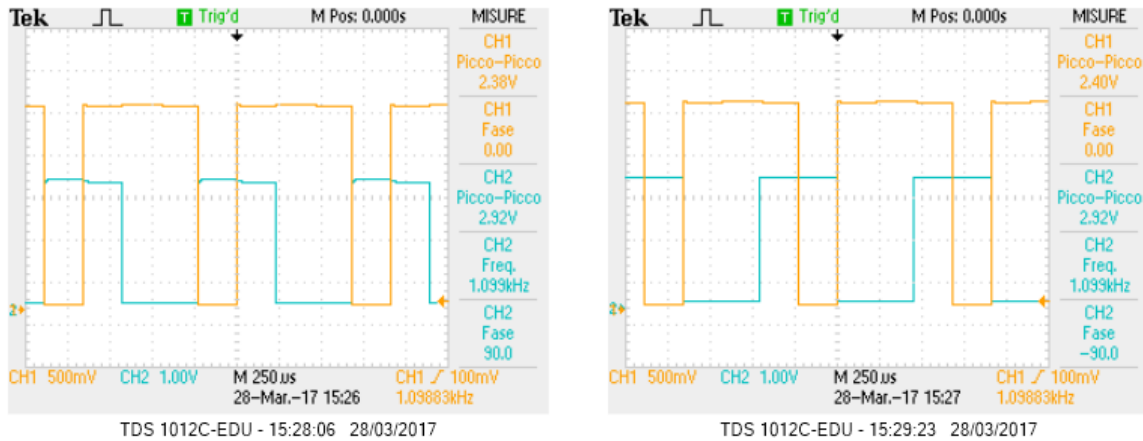


Figura 2: Schermate dell'oscilloscopio, in canale 1 c'è l'output e in canale 2 l'input.

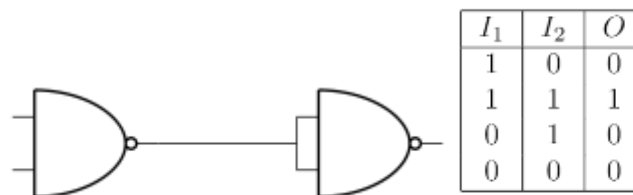


Figura 3: Schema e tabella di verità del circuito AND.

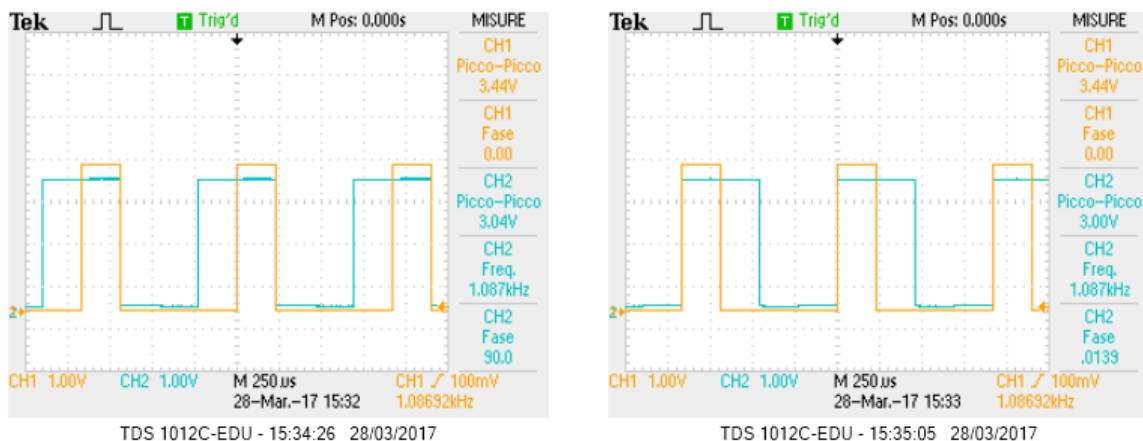


Figura 4: Porta NAND: in canale 1 c'è l'output e in canale 2 l'input.

Circuito OR E' stato montato il circuito in figura 5. In tabella in figura 5 è stata rappresentata la tabella di verità e in figura 6 si può osservare l'andamento dell'output. Si nota che l'uscita è a livello basso quando entrambi gli ingressi sono a 0. Anche in questo caso abbiamo triggerato sull'output e i risultati sono in accordo con la tabella di verità di un OR.

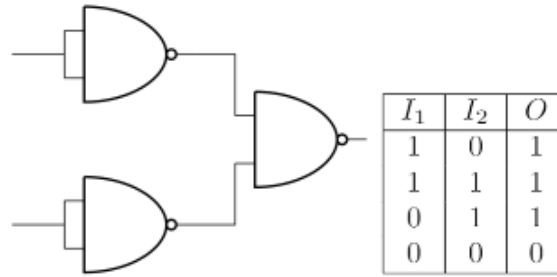


Figura 5: Schema e tabella di verità del circuito OR.

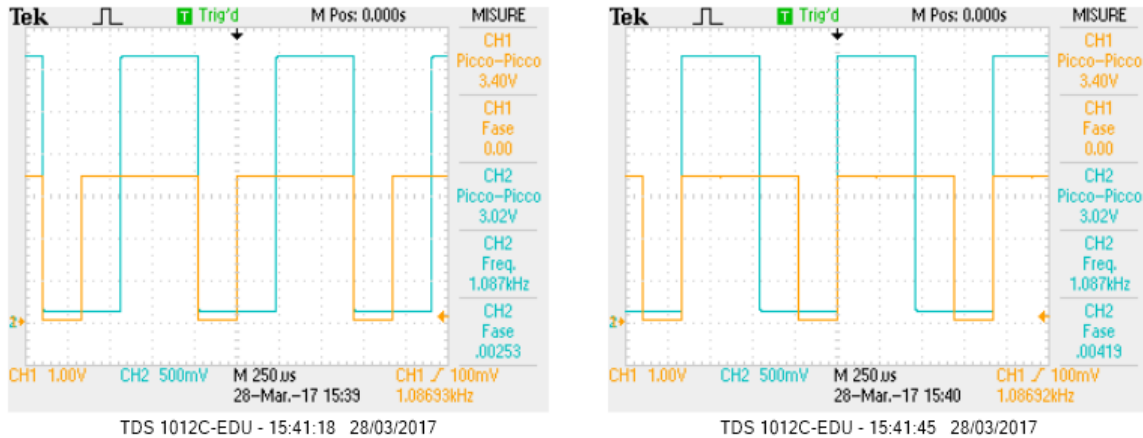


Figura 6: Porta OR: in canale 1 c'è l'output e in canale 2 l'input.

Circuito XOR In questo caso abbiamo dovuto eseguire il trigger su un ingresso perchè la frequenza dell'uscita è doppia rispetto a quella dell'ingresso. Di seguito si osservano lo schema circuitale e la tabella di verità (figura 7) e le immagini acquisite tramite l'oscilloscopio (8).

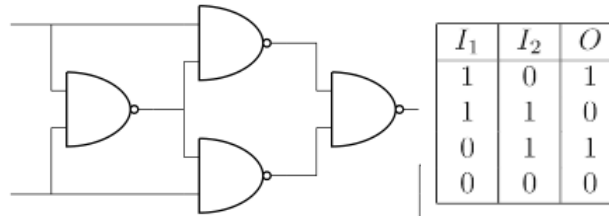


Figura 7: Schema del circuito XOR.

Circuito sommatore a un bit Il circuito sommatore a un bit in figura 9 è stato montato aggiungendo al circuito XOR un NOT che preleva il segnale in uscita dal NOT tra i due segnali in ingresso e fornisce l'uscita R. Anche in questo caso abbiamo scritto la tabella di verità (figura 9) e visualizzato l'output con l'oscilloscopio (figura 10). Abbiamo eseguito il trigger sull'uscita R e i risultati sono in accordo con quanto atteso.

4 Multivibratore monostabile

Abbiamo montato il circuito in figura 11. I componenti sono stati misurati con il multimetro digitale e risultano essere $R_1 = 470 \pm 4 \Omega$ e $C_1 = 110 \pm 4 \text{ nF}$. Si è scelta come tensione di alimentazione $V_{CC} = 4.85 \pm 0.03 \text{ V}$ e come frequenza dell'onda quadra inviata dal generatore di funzioni $f = 5.16 \pm 0.05 \text{ kHz}$. Il periodo risulta quindi pari a $T = 194 \pm 2 \mu\text{s}$ e la durata dell'impulso a livello alto $t = 12.8 \pm 0.2 \mu\text{s}$, ottenendo così un *duty cycle* pari a $6.6 \pm 0.1\%$. Si è misurata una tensione massima dell'onda di $4.3 \pm 0.1 \text{ V}$, e una minima di circa 0V.

Abbiamo osservato all'oscilloscopio l'andamento delle tensioni V_{IN} , V_{OUT} e V_C (figura 12), notando che quando in ingresso si ha l'impulso, NAND1 lo interpreta come un 1 quindi all'ingresso di NAND2 si ha uno 0, l'uscita è alta e il condensatore si carica tramite la resistenza.

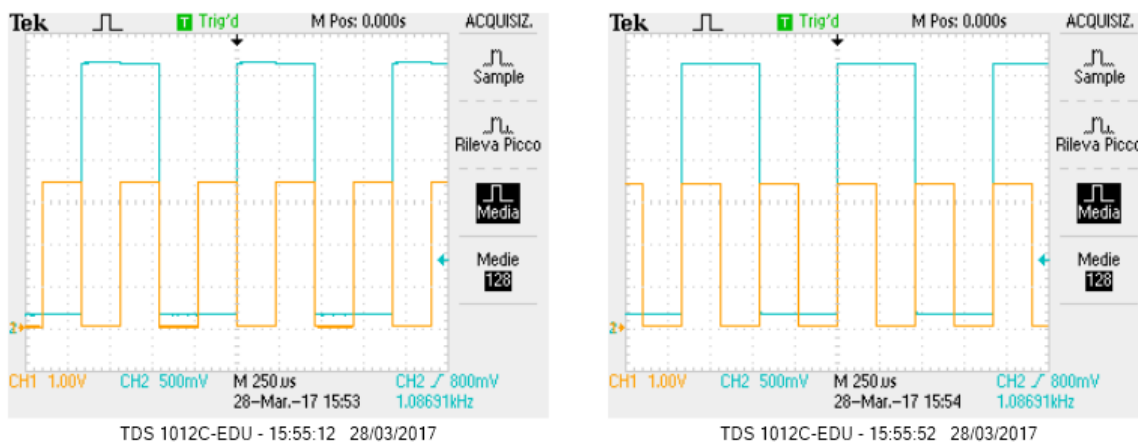


Figura 8: Porta XOR: in canale 1 c'è l'output e in canale 2 l'input.

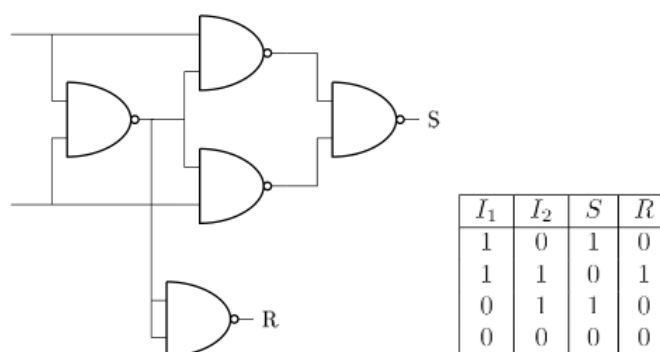


Figura 9: Schema e tabella di verità del circuito sommatore a un bit.

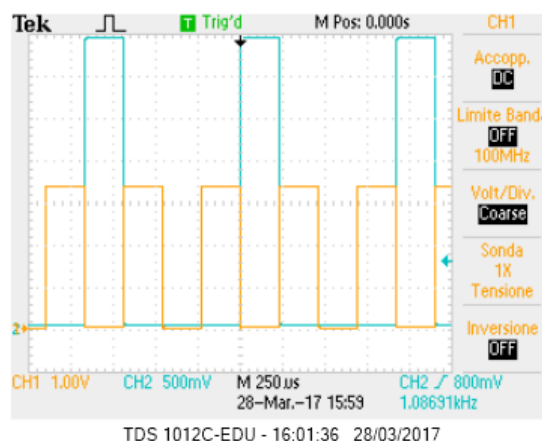


Figura 10: Sommatore a 1 bit: in canale 1 c'è S e in canale 2 R.

Si noti che anche quando il segnale in ingresso è commutato gli ingressi di NAND2 sono 0 (uscita di NAND3) e 1 (uscita di NAND1) che mantiene a 1 l'uscita. Questo fatto determina l'indipendenza del *duty cycle* dal periodo dell'onda in ingresso. A causa della carica di C_1 , V_C diminuisce esponenzialmente fino a 0V (la corrente scorre dal condensatore alla terra dunque non può passare per il diodo in interdizione, ma lo fa sulla resistenza R_1). V_C diminuisce fino al valore di commutazione $V_C = 1.44 \pm 0.04$ V che corrisponde a V_{IH} per NAND3. Raggiunto questo valore l'ingresso di NAND3 è interpretato come uno 0, quindi all'ingresso di NAND2 si hanno due 1, pertanto la sua uscita diventa bassa e la tensione V_C diventa negativa: infatti il condensatore ha mantenuto la sua carica (e quindi la differenza di potenziale tra le facce) in questo processo istantaneo. Adesso il diodo è polarizzato direttamente, e si ha una corrente che scorre attraverso di esso (resistenza praticamente nulla in questo regime) per ristabilire l'equilibrio sul condensatore. Il diodo limita il valore di V_C a 0.80 ± 0.02 V (in figura 12 in realtà si osserva un valore asintotico della carica del condensatore di circa 0.4V).

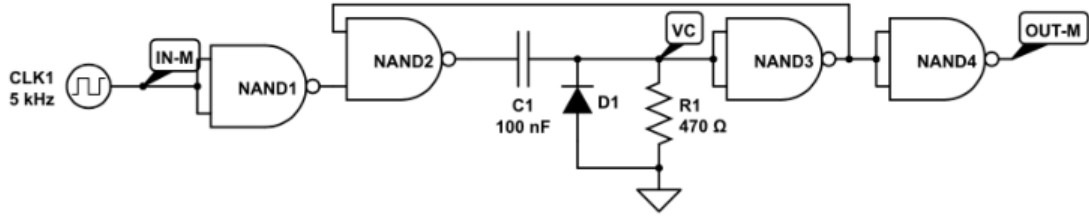


Figura 11: Schema del circuito multivibratore monostabile.

A questo punto il condensatore si carica finché non arriva un altro impulso. In questo ciclo la carica del condensatore si conserva al variare dei valori logici perché i tempi di commutazione dei NAND sono molto minori dei tempi di carica e scarica di C_1 . Il tempo atteso caratteristico del circuito RC è $\tau_{att} = 52 \pm 2 \mu s$, solo questo valore determina la durata in tempo dell'impulso in uscita.

Abbiamo verificato che variando la frequenza in ingresso da circa $33 kHz$ a circa $10 kHz$ la durata dell'impulso t in uscita non cambia, mentre si ha una dipendenza di t dalla resistenza. Infatti abbiamo variato il valore della resistenza R_1 e misurato la durata dell'impulso, i dati sono presenti in tabella 1. Per convalidare l'ipotesi di linearità è stato eseguito un *fit* lineare del tipo $t = aR_1 + b$ ottenendo i seguenti valori: $a = 0.111 \pm 0.001 \mu s/\Omega$, $b = -11 \pm 1 \mu s$, $\chi^2/ndof = 11.57/3$. Nel χ^2 l'errore si è propagato sia sulle ascisse². Dal grafico in figura 13 è evidente l'andamento lineare eccetto che per gli ultimi punti con un valore della resistenza alto, per cui si ha un aumento del χ^2 . Questo è probabilmente dovuto al fatto che l'andamento lineare è apprezzabile se i valori delle resistenze non si discostano troppo da quello di R_1 , mentre per valori molto maggiori non si può più assumere la linearità dell'andamento.

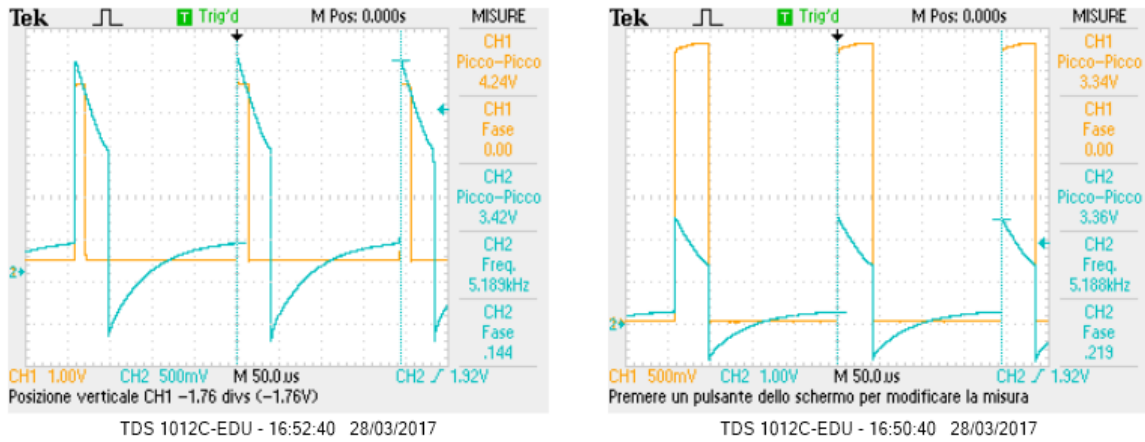


Figura 12: Multivibratore monostabile: V_C in canale 2 e in canale 1 input (prima immagine) e output (seconda immagine).

$R_i[\Omega]$	$\Delta R_i[\Omega]$	$t[\mu s]$	$\Delta t[\mu s]$
327	3	25.8	0.2
470	4	41.6	0.2
824	7	82	1
984	8	102	1
1183	9	118	1

Tabella 1: Presa dati per verificare la linearità fra R e t (monostabile).

5 Multivibratore astabile

Abbiamo montato il circuito in figura 14, misurando con il multimetro digitale $R_2 = 989 \pm 8 \Omega$, $C_2 = 107 \pm 4 nF$ e $V_{CC} = 4.85 \pm 0.03 V$.

²dando un valore preliminare di $a = 0.1 \mu s/\Omega$

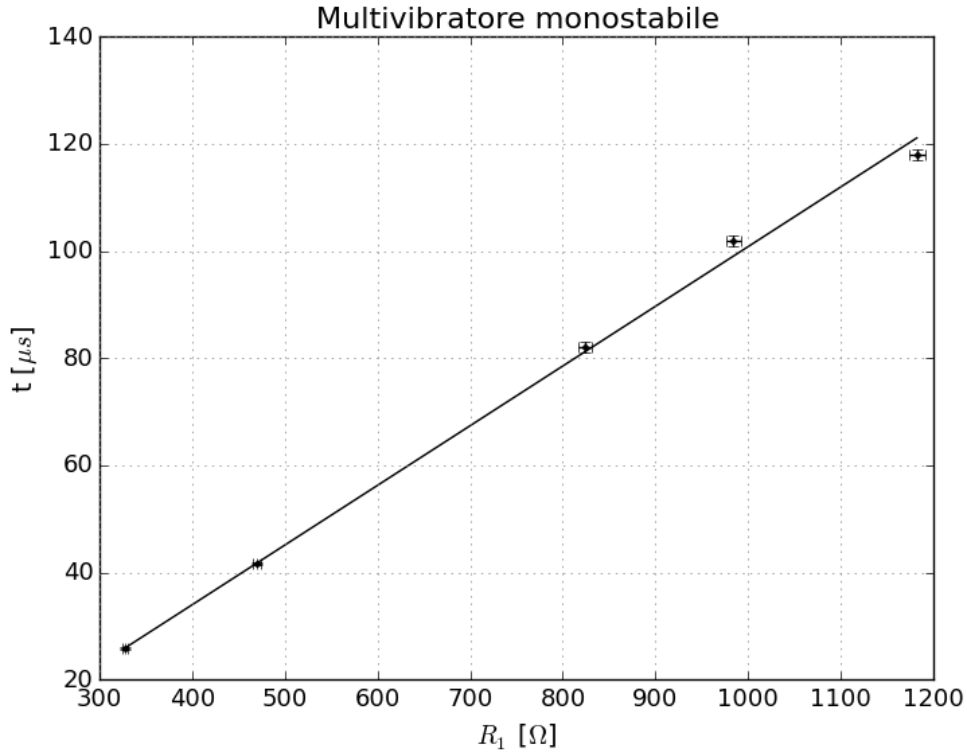


Figura 13: Grafico di t in funzione di R_1 e fit lineare.

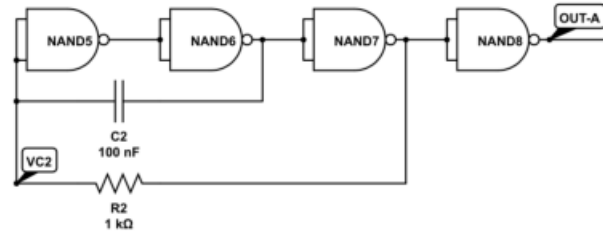


Figura 14: Schema del circuito multivibratore astabile.

Si sono osservati all'oscilloscopio $V_{C,2}$ e V_{OUT} (si veda figura 15), quindi abbiamo misurato il periodo in uscita $T = 202 \pm 1 \mu s$ e il tempo in cui l'impulso è alto $t = 128 \pm 1 \mu s$, dunque abbiamo *duty cycle* pari a $63.4 \pm 0.6\%$. In questo circuito tutte le porte NAND sono usate in configurazione NOT, quindi se l'ingresso di NAND5 è alto, l'uscita di NAND6 è alta e quella di NAND7 è bassa, quindi il condensatore si carica attraverso la resistenza come un circuito RC in cui il generatore è NAND7 che mantiene una differenza di potenziale tra i suoi estremi. La situazione asintotica di equilibrio si raggiungerebbe quando la corrente attraverso R_2 quindi $V_{C,2}$ fosse nulla. Tuttavia la caduta esponenziale della tensione $V_{C,2}$ avviene fino al valore di commutazione $V_{IH} = 1.48 \pm 0.04 V$. A questo valore $V_{C,2}$ ha un brusco cambiamento fino a $-1.16 \pm 0.04 V$ e l'uscita del NAND7 diventa alta. Anche qui si ha che la carica sul condensatore durante la commutazione si conserva. Dato che l'uscita di NAND6 viene forzata bassa, allora $V_{C,2}$ deve diventare negativa. Si può immaginare che nel circuito RC equivalente sia istantaneamente invertita la polarità del generatore. Il condensatore si carica e $V_{C,2}$ aumenta fino al valore $1.44 \pm 0.04 V$ quando si ha un altro brusco cambiamento di $V_{C,2}$ e il ciclo si ripete. L'elemento NAND8 serve a rendere il segnale descritto un'onda quadra.

Come per il circuito multivibratore astabile abbiamo variato il valore della resistenza per verificare la dipendenza lineare tra R_2 e il periodo in uscita T , quindi abbiamo eseguito un *fit* lineare. Nel χ^2 l'errore si è propagato sia sulle ascisse³ che sulle ordinate, figura 16. Abbiamo ottenuto $a = 0.195 \pm 0.003 \mu s/\Omega$, $b = 10 \pm 3 \mu s$ e $\chi^2/ndof = 5.73/4$. Il valore del χ^2 conferma l'ipotesi di linearità di T in funzione di R nel range di valori considerato.

³dando un valore preliminare di $a = 0.2 \mu s/\Omega$

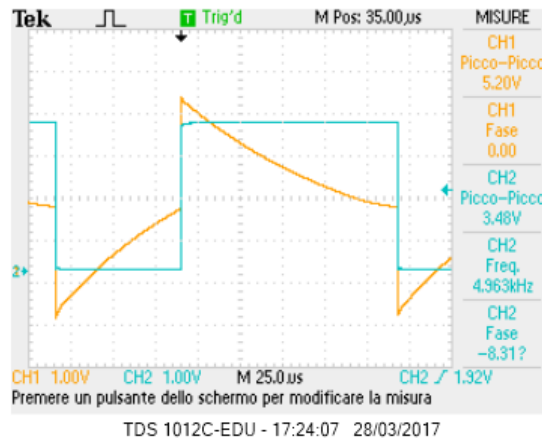


Figura 15: Multivibratore astabile: $V_{C,2}$ in canale 1 e in canale 2 l'output.

$R_2[\Omega]$	$\Delta R_2[\Omega]$	$T[\mu s]$	$\Delta T[\mu s]$
669	5	141	1
824	7	170	1
989	8	202	1
1183	9	243	1
1450	10	298	2
1790	10	354	2

Tabella 2: Presa dati per verificare la linearità fra R e T (astabile).

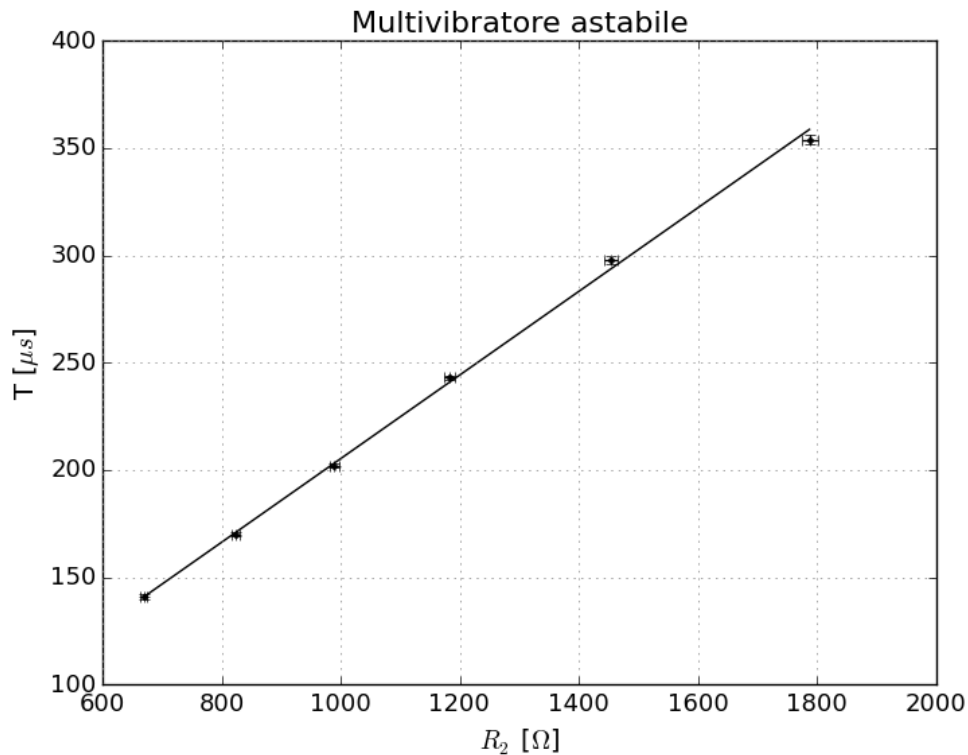


Figura 16: Grafico di T in funzione di R_2 e fit lineare.

6 Generatore di onda quadra

Il multivibratore astabile è stato collegato al monostabile tramite un derivatore, in modo da ottenere il generatore di onda quadra in figura 17. Il derivatore fa sì che l'onda quadra in uscita dal multivibratore astabile sia un impulso di breve durata, come si può osservare in figura 18; questo viene portato all'ingresso del monostabile,

che genera un segnale in uscita quando all'ingresso vi è il fronte positivo dell'impulso dell'astabile (e non quello negativo). Si sono usati gli stessi componenti dei circuiti precedenti come R_1 , R_2 , C_1 e C_2 e si sono misurate $R_3 = 989 \pm 8 \Omega$ e $C_3 = 10.2 \pm 0.4 \text{ nF}$. Da un'analisi qualitativa del circuito si suppone che il periodo dell'onda all'uscita del monostabile dipenda solo dalla costante tempo $\tau_2 = C_2 R_2$ (ossia dal tempo che intercorre tra i due impulsi positivi all'ingresso del monostabile) e che la durata dell'impulso t dipenda solo dalla costante $\tau_1 = C_1 R_1$. Per verificare questa ipotesi abbiamo cambiato R_1 e R_2 in modo alternato, i dati sono visibili in tabella 3. Come atteso, cambiando il valore della sola R_1 non si hanno variazioni significative del periodo; viceversa, modificando solo il valore di R_2 la durata dell'impulso V_{OUT-M} non cambia. Infine abbiamo scelto i valori delle resistenze per ottenere $T = 100 \mu\text{s}$ e *duty cycle* pari al 30%, sfruttando le relazioni lineari fra le resistenze e i tempi: $R_1 \simeq 372 \Omega$ e $R_2 \simeq 461 \Omega$. L'ultima misura presente in tabella 3 si riferisce a questa parte e il *duty cycle* relativo risulta pari al $30.4 \pm 0.3\%$.

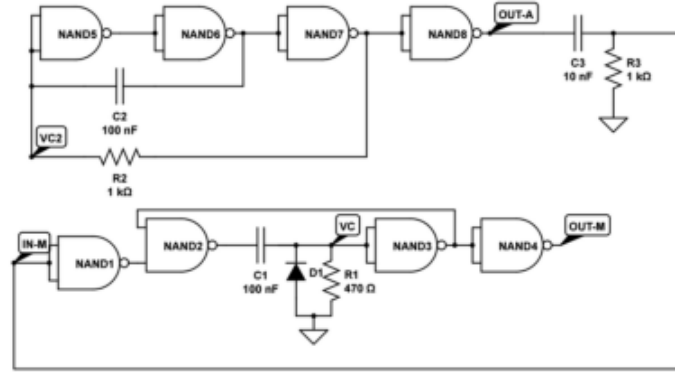


Figura 17: Schema del generatore di onda quadra.

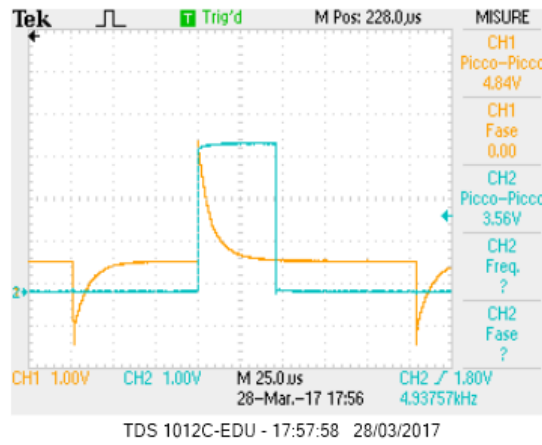


Figura 18: Generatore di onda quadra: in canale 1 l'input M e in canale 2 output M.

$R_{1i}[\Omega]$	$\Delta R_{1i}[\Omega]$	$R_{2i}[\Omega]$	$\Delta R_{2i}[\Omega]$	$T[\mu\text{s}]$	$\Delta T[\mu\text{s}]$	$t[\mu\text{s}]$	$\Delta t[\mu\text{s}]$
470	3	1450	10	290	2	46.6	0.2
385	3	1450	10	290	2	36.0	0.2
385	3	1183	9	238	1	35.8	0.2
218	2	1183	9	238	1	16.3	0.1
218	2	824	7	171	1	16.3	0.1
385	3	669	5	142	1	34.6	0.2
385	3	469	3	108	1	32.8	0.2

Tabella 3: Presa dati per verificare la dipendenza della forma d'onda in uscita dalle resistenze (generatore di onda quadra).

7 Conclusioni

Quanto osservato nell'esperienza è in atteso con quanto predetto dalla conoscenza del circuito tranne l'offset che si osserva sul valore asintotico di carica dei condensatori sia per il multivibratore monostabile che per il generatore di onde quadre. In un caso l'offset è circa $0.4V$ e nell'altro è circa $0.8V$, supponiamo tuttavia che sia dovuto alla presenza del diodo, visti i valori di tensione.