

Circuiti logici e multivibratori

Gruppo AA

Luca Ciambriello, Gianfranco Cordella, Leonardo Bertini

30 Marzo 2017

1 Scopo e strumenti

Questa esperienza è suddivisa in due parti ben distinte tra loro.

Nella prima sono stati costruiti e verificati alcuni semplici circuiti logici, facendo uso di due identici circuiti integrati SN7400 Quad-NAND Gate e di ArduinoNano, quest'ultimo inserito in un circuito che lo renda utilizzabile come generatore di onde quadre sfasate di $\pi/2$ tra loro. Gli integrati e Arduino sono alimentati con un alimentatore (tensione massima 5 V)

Nella seconda parte sono stati costruiti un multivibratore monostabile, mostrato in figura (9), ed un multivibratore astabile, mostrato in figura (13), utilizzando porte NAND.

Le componenti utilizzate sono $C_1 = 99 \pm 4$ nF, $C_2 = 99 \pm 4$ nF, $C_3 = 11.0 \pm 0.4$ nF, $R_1 = 472 \pm 4$ Ω , $R_2 = 985 \pm 8$ Ω , $R_3 = 993 \pm 8$ Ω ed un diodo 1N4148. Dopo aver esaminato le caratteristiche dei circuiti separati, abbiamo collegato i circuiti in serie.

Per misurare le componenti è stato utilizzato il tester digitale, per osservare i segnali l'oscilloscopio. Necessario anche un generatore di funzioni per il monostabile.

2 Circuiti logici

Abbiamo utilizzato le uscite sfasate di Arduino Y1 e Y2 come tensioni di ingresso, mandandole ai due ingressi di uno dei 4 NAND di uno dei due integrati. Gli ingressi sono mostrati in figura (3). Abbiamo allora osservato l'uscita, mostrata in figura (4), e costruito la tabella di verità in tabella (1), dove per 0 si è indicato uno stato basso e per 1 uno stato alto. La tabella risulta compatibile con quanto atteso.

Y1	Y2	OUT
0	0	1
1	0	1
1	1	0
0	1	1

Table 1: Tabella di verità osservata per il NAND in figura (4)

Abbiamo costruito un AND mandando l'uscita del primo NAND ad un ingresso di un NAND non ancora utilizzato (l'altro ingresso può essere lasciato flottante, perchè in tal modo è come avere un segnale sempre alto; allora facendo un AND del segnale in ingresso con quello flottante ottengo in risultato lo stesso ingresso ed il NAND si comporta così da NOT). In tal modo nego il NAND, ottenendo così un AND. L'uscita è mostrata in figura (5), la tabella di verità in tabella (2).

Ulteriore circuito esaminato è l'OR, costruito negando entrambi i segnali di ingresso con due NAND diversi, secondo il procedimento sopra descritto, e mandando le due uscite ai due ingressi di un altro NAND, di cui viene osservata l'uscita. In figura (6) ed in tabella (3) sono mostrati segnale di uscita e tabella di verità.

Y1	Y2	OUT
0	0	0
1	0	0
1	1	1
0	1	0

Table 2: Tabella di verità osservata per l'AND (figura (5))

Y1	Y2	OUT
0	0	0
1	0	1
1	1	1
0	1	1

Table 3: Tabella di verità osservata per l'OR (figura (6))

Lo XOR, che dà 1 in uscita se le entrate sono diverse, 0 se sono uguali, è stato ottenuto seguendo lo schema mostrato in figura (1); in figura (7) è mostrato il segnale di uscita, in tabella (4) la tabella di verità.

Y1	Y2	OUT
0	0	0
1	0	1
1	1	0
0	1	1

Table 4: Tabella di verità osservata per lo XOR (figura (7))

Si può infine costruire un circuito sommatore, ad un bit e due uscite (Σ ed R). L'uscita Σ (somma) è quella dello XOR. L'uscita R si ottiene negando (con la procedura usata anche per gli ltri circuiti) l'uscita della porta NAND che, nel circuito XOR, riceve in ingresso Y1 e Y2. L'uscita R equivale ad un AND. Per questo circuito servono entrambi gli integrati. Tabella e segnale in tabella (5) e figura (8).

Y1	Y2	Σ	R
0	0	0	0
1	0	1	0
1	1	0	1
0	1	1	0

Table 5: Tabella di verità osservata per il sommatore figura (8)

3 Multivibratore monostabile

Abbiamo costruito il circuito richiesto facendo uso delle componenti indicate in figura (9) utilizzando uno dei due integrati. Abbiamo inserito un circuito derivatore in ingresso, con componenti R_3 e C_3 , in modo da avere un segnale di ingresso che fosse riconosciuto come alto per un tempo più breve rispetto a quello ottenuto senza derivatore. Infatti, procedendo diversamente, risultava impossibile avere un impulso di ingresso IN-M più breve dell'uscita OUT-M ottemperando in contemporanea alle condizioni richieste (frequenza del segnale inviato dal generatore di funzioni di circa 5 kHz, duty cycle del 5%). Con il derivatore abbiamo invece potuto ottenere un segnale che obbediva alle condizioni richieste, con un impulso dell'ordine di $R_3C_3 = 10.9 \pm 0.4 \mu s$ ed un periodo dell'ordine dei 200 μs .

Il minimo dell'ingresso si collocava a $V_{min} = 0 \pm 40$ mV ed il massimo a $V_{max} = 5.0 \pm 0.2$ V, con errori di lettura e calibrazione. In figura (10) sono mostrati i segnali in IN-M ed OUT-M, mentre in figura (12) il segnale in VC. Abbiamo anche verificato che l'uscita del NAND3 fosse il negato di quella del NAND4.

Abbiamo ricercato il valore di VC per cui la tensione in uscita del NAND-3 commutava, passando da 0 a 1. Esso corrisponde a $VC = 1.56 \pm 0.06$ V. Raggiunta questa soglia, in VC è interrotto un ciclo di carica; il segnale diviene negativo e ricomincia un ciclo di scarica.

Il segnale in ingresso può essere quindi interpretato come un trigger: nel momento in cui da basso passa ad alto, l'uscita del NAND2 assume valore 1, in uscita OUT-M si ha un valore alto ed ha inizio la carica del condensatore. Quando VC raggiunge la soglia la NAND3 commuta, di conseguenza l'uscita diventa nulla e l'uscita della NAND2 diviene bassa determinando una scarica del condensatore.

Se la pendenza dell'esponenziale che descrive il processo di scarica cambia, la soglia così trovata di VC verrà raggiunta ad un tempo diverso e di conseguenza la durata dell'impulso in uscita, che dipende dal tempo impiegato da VC a raggiungere la tensione di soglia, varierà. In particolare, se il tempo caratteristico aumenta, ovvero aumenta R_1C_1 , aumenta anche la durata dell'impulso in uscita e viceversa. Abbiamo inoltre osservato il comportamento del circuito in assenza di diodo; l'unica differenza è una piccola variazione del minimo, negativo, di VC. Il diodo ha infatti la funzione di impedire che vengano raggiunte tensioni molto negative.

Abbiamo verificato che la durata dell'impulso in uscita non dipende dal segnale in ingresso. Abbiamo infine misurato il tempo di durata del segnale alto in uscita variando la resistenza R_1 ; le misure sono riportate in tabella (6). Abbiamo svolto un fit lineare a due parametri, considerando sia gli errori sulle

R [Ω]	t [μs]	Δt [μs]
456	38.4	0.4
472	44	2
560	49.2	0.4
675	62	1
985	99	1
1173	122	1

Table 6: Durata dell'impulso t in uscita in funzione della resistenza R, con errore di lettura (errori sulla resistenza dovuti al tester digitale)

x che quelli sulle y, del periodo in funzione della resistenza ed abbiamo ottenuto $m = 114 \pm 2 \mu s/\Omega$, $q = -14 \pm 1 \mu s$, $cov = -0.97$, $\chi^2 = 6$ con 4 gradi di libertà, con probabilità dello 0.18% di ottenerlo

maggiore. L'andamento lineare, come evidenziato anche dall'andamento non sistematico dei residui (figura (11)), sembra così compatibile con i dati.

4 Multivibratore Astabile

E' stato montato il circuito in figura (13) ed è stata misurata la forma d'onda in uscita che risultava essere quadra come mostrato in figura (14). Ne è stato misurato il periodo $T = 189 \pm 1 \mu s$ e duty cycle del $65 \pm 1\%$.

E' stata visualizzato all'oscilloscopio l'ingresso del primo NAND (figura (14)) da cui si possono notare due andamenti caratteristici della carica e scarica del condensatore. L'andamento decrescente dell'ingresso corrispondente all'uscita alta, rappresenta la carica del condensatore quando l'ingresso della NAND 7 è alto, la sua uscita bassa e l'ingresso di NAND 5 è alto. La carica del condensatore ¹ determina un abbassamento del segnale all'ingresso di NAND 5. In questa maniera tale ingresso commuta verso lo stato basso e gli stati precedenti relativi a tutte le porte sono invertiti. Al momento della commutazione, essendo l'uscita della NAND 6 a zero e il condensatore ancora carico, allora V_{C2} risulta negativo. Da questo momento inizia a fluire corrente in verso opposto al precedente determinando inizialmente la scarica del condensatore e poi una carica di segno opposto a quella iniziale. Nel momento in cui il condensatore raggiunge un certo valore di carica sufficiente a superare V_{IH} della NAND 5 allora si ha una commutazione di tutti gli stati e inizia una nuova oscillazione del segnale.²

E' stata cambiata la resistenza R_2 e si sono misurati i corrispettivi periodi delle onde quadre in uscita. I risultati sono in tabella (7) e sono anche riportati in figura (15). Si può notare l'andamento lineare del periodo in funzione della resistenza. E' stato realizzato un fit lineare al modello $y=mx+q$ ottenendo: $m=180 \pm 3 \text{ ns}/\Omega$; $q=13 \pm 2 \mu s$; $\chi^2/\text{ndof}=0.8/4$.

R [Ω]	T [μs]	ΔT [μs]
456	94.4	0.4
560	114	1
675	135	1
985	189	1
1173	222	1
1507	284	1

Table 7: Periodo T in uscita in funzione della resistenza R_2 , con errore di lettura (errori sulle resistenze dovuti al tester digitale)

5 Generatore di onda quadra

Sono stati utilizzati i due circuiti astabile e monostabile, montati in precedenza, per realizzare un generatore di onda quadra: figura (16). Il circuito è ottenuto semplicemente ponendo il segnale in uscita al multivibratore astabile all'ingresso di un passa-alto. L'uscita di quest'ultimo è stata immessa all'ingresso del multivibratore monostabile.

Assumendo un funzionamento ideale, in uscita OUT-A si ha un'onda quadra con periodo dipendente da R_2 come analizzato in precedenza per l'astabile. Il derivatore trasforma quest'onda in due impulsi: uno positivo e un altro negativo all'uscita IN-M. Il circuito monostabile è sensibile solamente all'impulso positivo che è quindi visto come trigger. All'uscita OUT-M si osserva dunque un'onda quadra il cui fronte massimo è triggerato dal segnale in IN-M ed ha una durata che dipende solamente da R_1 e non dal trigger. Il periodo, invece, dato che il monostabile è azionato dall'impulso positivo in IN-M, dipende quindi solamente dalla frequenza dell'astabile e quindi solo da R_2 .

¹La corrente fluisce dall'ingresso della NAND 7 verso la sua uscita passando per condensatore e resistenza.

²Per carica e scarica del condensatore ci si è riferiti ad una particolare convenzione sul segno delle correnti, per cui il condensatore è carico se sono presenti cariche positive sulla faccia connessa all'ingresso della NAND7.

E' stato verificato ciò effettuando misure di periodo e duty cycle al variare delle resistenze R_1 ed R_2 riportate in tabella (8). Si può notare dai dati che, per quasi tutti i valori di resistenze, effettivamente R_2 influisce solo sul periodo, e R_1 solo sulla durata del fronte massimo in uscita OUT-M e quindi sul duty cycle.

Inoltre, come atteso, per quasi tutte le resistenze, i valori di periodo e di durata del fronte alto sono compatibili rispettivamente con quelli misurati in precedenza con le stesse resistenze per i singoli circuiti astabile e monostabile separatamente.

Per alcuni valori di resistenze ($R_1, R_2 \sim 1k/\Omega$) si osserva che i valori misurati per periodo e durata del fronte in uscita, si discostano da quelli misurati separatamente per i circuiti astabile e monostabile. Inoltre per le stesse resistenze non è verificata la dipendenza della durata del fronte massimo solo da R_1 e del periodo da R_2 . Ciò è attribuito al fatto che in realtà i circuiti non si comportano in modo ideale in quanto, non essendo le impedenze in ingresso e uscita dei singoli ideali, ciascuno di essi è influenzato dalla presenza degli altri. Quindi sia il monostabile che l'astabile non si comportano esattamente come analizzato nelle sezioni precedenti.

Inoltre si è potuto osservare un altro aspetto che conferma che il comportamento del generatore di onda quadra non è perfettamente ideale (lo sarebbe se ciascun componente avesse impedenza in ingresso infinita e in uscita nulla). Infatti ci si aspetterebbe che il circuito passa alto fornisca due impulsi e si stabilizzi ad un valore nullo successivamente. In realtà si osserva che il valore asintotico del potenziale presenta un offset. Questo è stato attribuito al fatto che il monostabile presenta un'impedenza in ingresso non sufficientemente elevata per il valore di resistenza R_3 . In effetti quanto più la resistenza R_3 è grande tanto più l'offset aumenta (tabella (9)), in accordo con il fatto che lasciando IN-M flottante l'ingresso della NAND1 assuma il valore alto. Per valore di resistenza $R_3 \sim 1k\Omega$ l'offset è sufficientemente elevato da non permettere alla NAND2 di riconoscere come valore in ingresso come basso in assenza di impulsi. Quindi essa, nell'intervallo tra due impulsi, permane in regime di transizione. Cambiando R_3 con valori più bassi si osserva che le porte raggiungono i loro regimi ideali (alto, basso). In ogni caso per le resistenze utilizzate, all'uscita OUT-M non si osservano significative deformazioni della forma d'onda quadra, nonostante i regimi non ideali delle porte.

Infine, tenendo conto delle misure effettuate in precedenza per i singoli circuiti, si sono scelte le resistenze $R_1 = 385 \pm 4$ ed $R_2 = 456 \pm 4$ in modo tale da ottenere un periodo $T = 95 \pm 1 \mu s$ ed un duty cycle di $33 \pm 1 \%$.

$R_1 [\Omega]$	$R_2 [\Omega]$	$t [\mu s]$	$T [\mu s]$
385 ± 4	456 ± 4	31 ± 1	95 ± 1
456 ± 4	560 ± 5	35.6 ± 0.4	113 ± 1
456 ± 4	985 ± 9	37.6 ± 0.4	191 ± 1
675 ± 6	985 ± 9	58.8 ± 0.4	189 ± 1
985 ± 9	456 ± 4	67.2 ± 0.4	94 ± 1
985 ± 9	1173 ± 10	91 ± 1	223 ± 1

Table 8: t rappresenta il tempo per cui il segnale è alto mentre T è il periodo dell'onda quadra in uscita.

$R_3 [\Omega]$	Offset [mV]
993 ± 8	$760 \pm 20 \pm 4$
385 ± 4	348 ± 20
95 ± 1	104 ± 8

Table 9: offset al variare della resistenza R_3

6 Conclusioni

E' stato analizzato il funzionamento della porta nand utilizzata per la costruzione di circuiti composti. Il comportamento è in accordo con quello atteso. Sono stati inoltre osservati alcuni comportamenti non ideali del funzionamento del generatore di onda quadra.

7 Grafici ed immagini

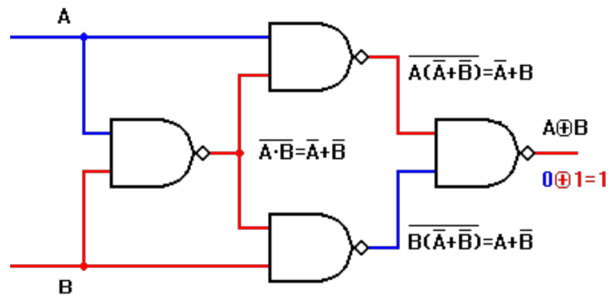


Figure 1: Circuito XOR

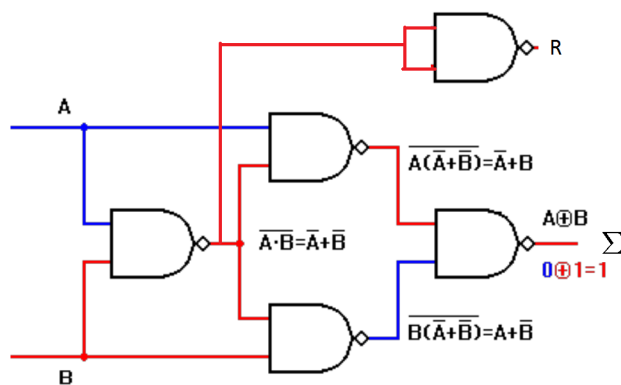


Figure 2: Circuito sommatore

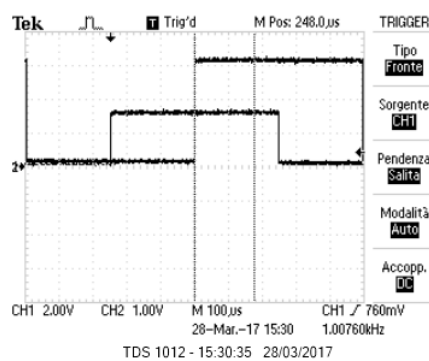


Figure 3: Segnali in ingresso; entrambi hanno valore alto di $\sim 3.2V$. il segnale visualizzato con la scala di CH1 è Y1, mentre quello in CH2 è Y2.

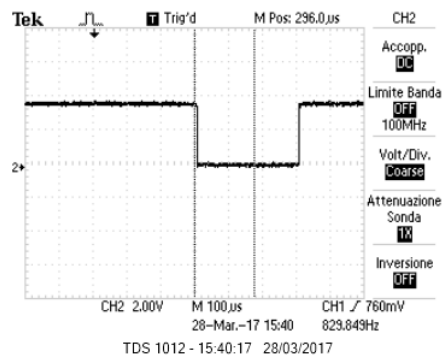


Figure 4: Uscita del circuito NAND

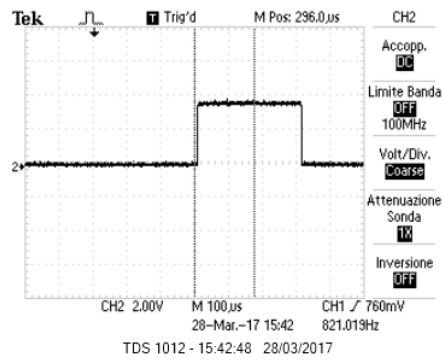


Figure 5: Uscite del circuito AND.

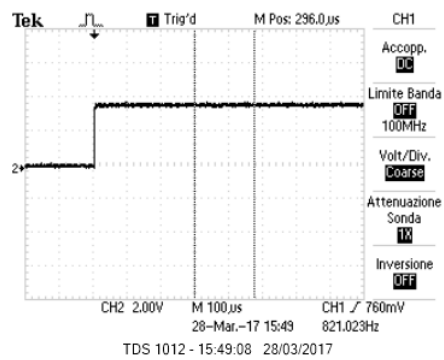


Figure 6: Uscita del circuito OR

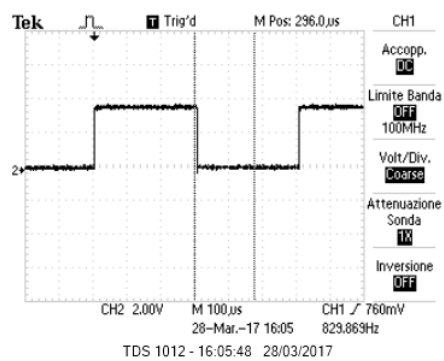


Figure 7: Uscita del circuito XOR

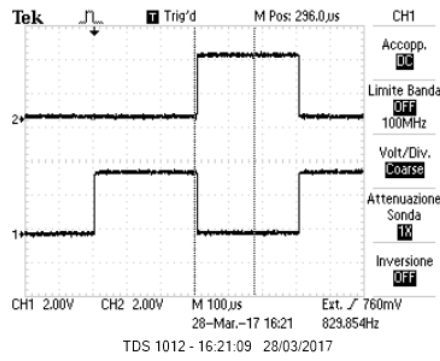


Figure 8: Uscite del circuito sommatore (quella superiore è il riporto, quella inferiore la somma)

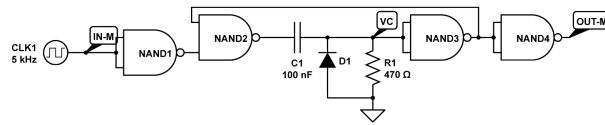


Figure 9: Circuito multivibratore monostabile

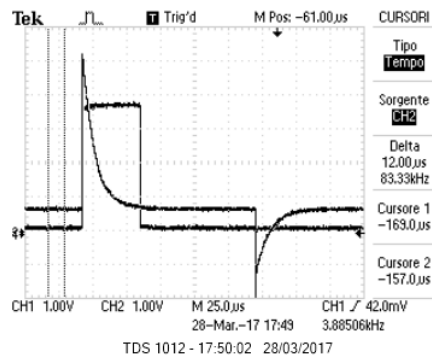


Figure 10: Ingresso IN-M del multivibratore monostabile (impulsi generati all'uscita del passa-alto), e uscita OUT-M (onda quadra)

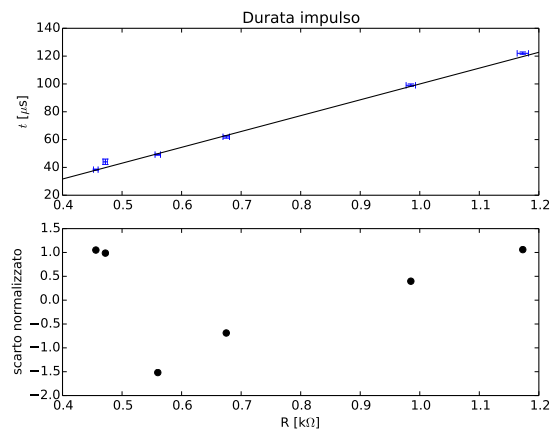


Figure 11: Durata impulso in uscita OUT-M del monostabile in funzione di R_1

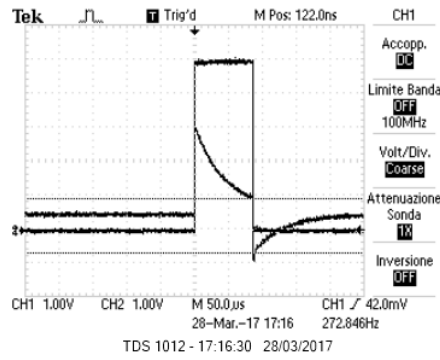


Figure 12: Uscita V_c del multivibratore monostabile e segnale in uscita OUT-M (l'onda quadra)

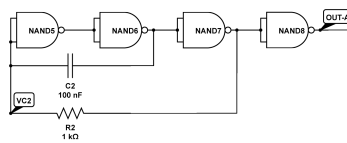


Figure 13: Circuito multivibratore astabile

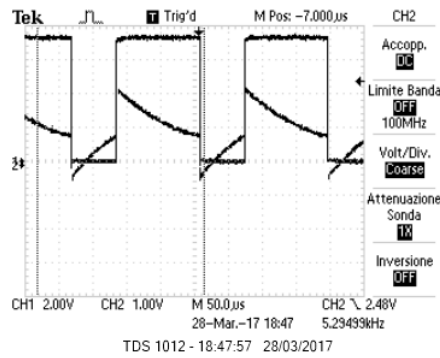


Figure 14: Circuito astabile, uscita OUT(onda quadra) e VC2

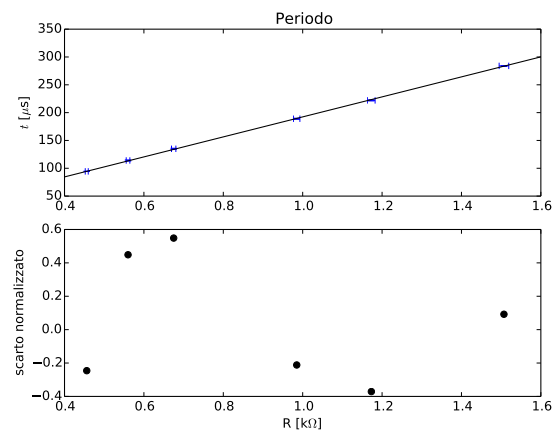


Figure 15: Durata periodo in uscita OUT-A dell'astabile in funzione di R_2

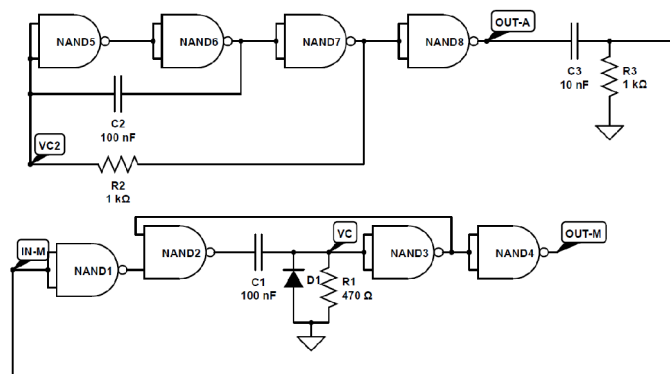


Figure 16: Generatore di onde quadre