

Esperienza 12: Flip-Flop e contatori

Gruppo BN

Lisa Bedini, Federico Belliardo, Marco Costa

13 aprile 2017

1 Scopo dell'esperienza

Lo scopo dell'esperienza è di montare e verificare il corretto funzionamento di 4 circuiti: Flip-Flop D-Latch, divisore di frequenza, shift register e generatore di sequenze pseudo-casuali.

2 Materiale a disposizione

- SN74LS00 Quad NAND gate
- SN74LS94 4-bit binary counter
- SN74LS74 Dual D-Latch
- SN74LS86 Quad XOR gate
- DIP switch
- 4 LED

I valori delle componenti sono state misurate con multimetro digitale (incertezza riportata sul manuale). Le differenze di potenziale sono state misurate tramite oscilloscopio, se non indicato diversamente, e come incertezza si è presa la sensibilità dei cursori più il 3% di calibrazione. Per misurare i tempi si è usato l'oscilloscopio e come relativa incertezza si è preso il massimo fra la sensibilità dei cursori e la semidispersione dei valori plausibili.

3 Flip-Flop D-Latch

Si è realizzato un circuito Flip-Flop di tipo D-Latch, come mostrato in figura 1, utilizzando le porte NAND di due integrati. L'ingresso D, che corrisponde al dato da memorizzare, è stato collegato all'impulsatore realizzato con Arduino Nano. L'Enable è collegato alla terra attraverso uno switch manuale. La tensione di lavoro durante tutta l'esperienza è stata fissata a: $V_{CC} = 4.85 \pm 0.03V$ (misurata tramite multimetro digitale, con incertezza presa dal manuale).

In figura 2 si vede come il segnale $Q(t)$ in uscita dal Flip-Flop segua l'ingresso quando enable è alto riproducendo la tabella 1.

EN	D	S	R	Q
1	1	0	1	1
1	0	1	0	0
0	1	1	1	Hold
0	0	1	1	Hold

Tabella 1: Tabella degli stati per un Flip-Flop NAND.

Commutando manualmente lo switch e impostando dunque $EN = 0$ il Flip-Flop rimane congelato nello stato in cui si trovava prima della commutazione. Affinché il valore che il Flip-Flop memorizza sia deterministico è necessario che la commutazione dello switch non avvenga durante gli hold-time e setup-time del Latch. Quando il bit di enable è disattivato entrambe le uscite dei NAND del primo livello sono a 1 pertanto il Latch è nello stato di hold.

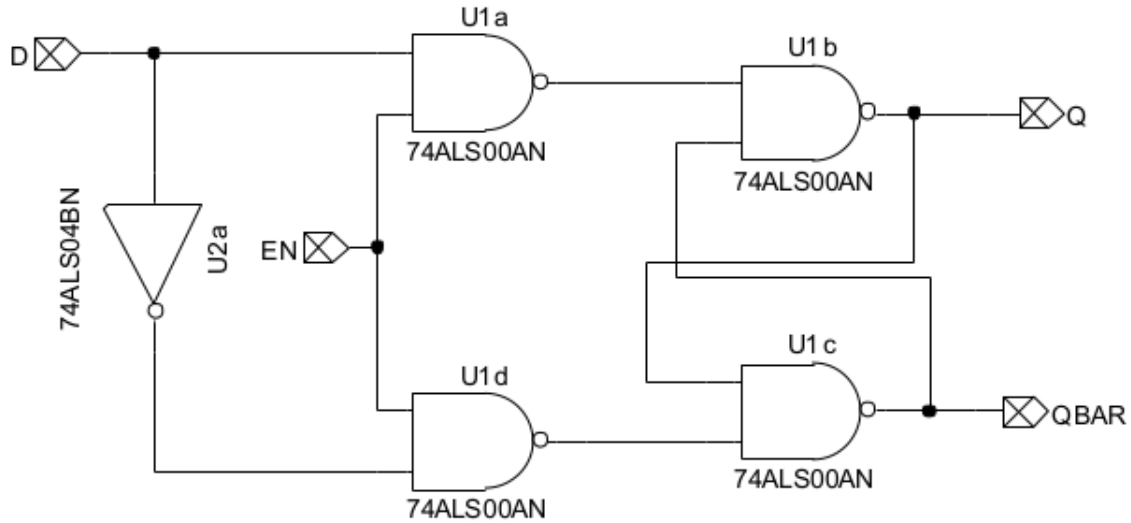


Figura 1: Circuito D-Latch NAND.

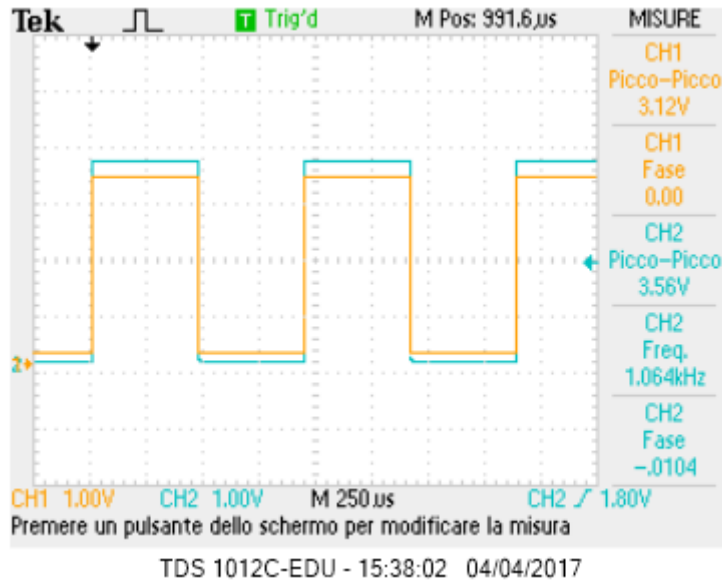


Figura 2: Segnali D e Q quando enable è alto.

Essendo il Latch costruito con delle porte NAND ho una situazione di instabilità quando gli ingressi delle porte sul secondo livello sono entrambe a 0. Questo può succedere solo se gli ingressi di tutte le porte sul primo livello sono 1. Il NOT tra i due ingressi evita questa situazione.

L'enable è attivo alto. Cioè quando $enable = 0$ ho permanenza dello stato, infatti gli ingressi al secondo livello dei NAND sono sicuramente a 1, mentre posso avere evoluzione dello stato se il bit $enable = 1$.

Quando l'ingresso enable è lasciato flottante il NAND forza la tensione a 5V quindi il valore logico è $enable = 1$ e l'uscita insegue l'ingresso, lo switch collega l'enable alla tensione di terra, dunque se chiudo l'interruttore l'enable viene forzato al valore logico basso e il Flip-Flop entra nello stato *hold*.

Si sono misurati i tempi di ritardo sulla salita e discesa delle uscite del Flip-Flop rispetto all'ingresso (uscita del pulsatore). I tempi sono stati presi misurando la differenza di tempo fra i punti t_{HL} per le discese oppure t_{LH} per le salite dei due segnali con potenziale pari a metà delle rispettive V_{PP} . Le misure sono riportate nella tabella 2 sia per l'uscita Q che per l'uscita \bar{Q} .

•	t_{LH} (ns)	t_{HL} (ns)
Q	36 ± 2	34 ± 4
\bar{Q}	36 ± 2	36 ± 2

Tabella 2: Misure dei tempi di ritardo in salita e discesa per il Flip-Flop.

Tutti e quattro i tempi sono risultati compatibili tra di loro.

Di seguito sono riportate le immagini delle misure dei tempi di ritardo sull'oscilloscopio per l'uscita Q solamente:

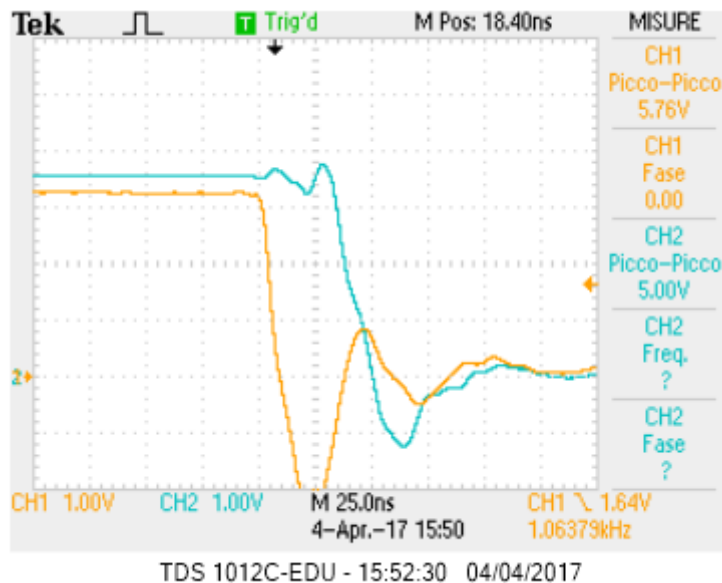


Figura 3: Tempo di ritardo t_{HL} rispetto a D (CH1) per l'uscita Q (CH2).

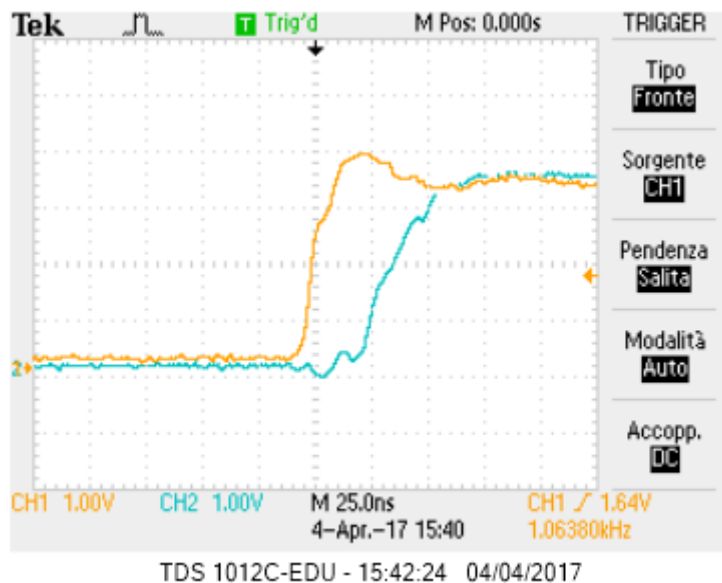


Figura 4: Tempo t_{LH} per l'uscita Q (CH2).

4 Divisori di frequenza

Si è realizzato un contatore a 4 bit come in figura 5 connettendo l'uscita Q del primo JK (FF1) al clock del secondo JK (FF2), i restanti JK sono già interconnessi all'interno del package. Si vogliono utilizzare tutti i JK in modalità Toggle, cioè in modo che oscillino tra lo stato 0 e 1 alla transizione basso-alto del clock (per costruzione). Per fare ciò è necessario che l'ingresso J di ogni Flip-Flop sia impostato a 1; questa configurazione è realizzata ponendo R_0 a terra e R_1 flottante (per il momento).

Infatti la configurazione toggle del JK si ottiene se $J = 1$ e $K = 1$. Se K è flottante questo assume sempre il valore logico 1, e se uno degli ingressi del NAND (R_0 nel nostro caso) è forzato a 0 la sua uscita sarà sempre 1.

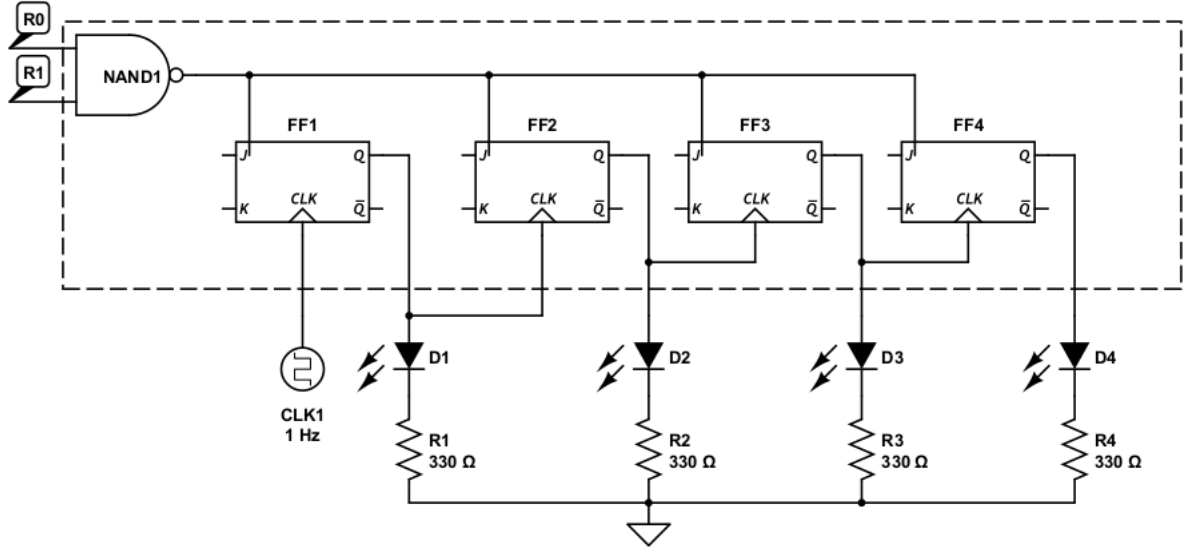


Figura 5: Contatore a 4 bit.

Con questa scelta quindi si soddisfano le condizioni richieste per i JK.

Poiché la transizione del valore di uscita Q di ognuno degli FF avviene con una frequenza dimezzata rispetto a quella del clock, le varie uscite $Q_i(t)$ oscillano con frequenze $\frac{1}{2}, \frac{1}{4}, \frac{1}{8}, \frac{1}{16}$ della frequenza di CLK1 in quanto l'uscita Q_i di un FF è il clock del successivo.

Ogni uscita Q_i è stata collegata a terra attraverso un LED e una resistenza (per limitare la corrente sul LED). Questo e l'accorgimento di impostare un clock per il FF1 di circa 1 Hz (generato con il generatore di funzioni) rende osservabili ad occhio le transizioni.

Interpretando il bit più a sinistra come bit meno significativo (1 per LED acceso e 0 per LED spento) si ottiene la rappresentazione fisica dei numeri da 0 a 15 in binario.

Si è inviato in ingresso un segnale di frequenza $f_0 = 61 \pm 1 \text{ kHz}$ e periodo $T = 16.40 \pm 0.02 \mu\text{s}$, si sono misurate le frequenze dei segnali Q_i e i tempi di ritardo per la salita e la discesa rispetto al clock, definiti come differenza temporale tra i punti in cui i due segnali raggiungono la metà del rispettivo valore massimo quando avvengono le transizioni.¹

Nelle figure successive si riportano le uscite Q_A, Q_B, Q_C, Q_D visualizzate insieme al clock in ingresso. Si può osservare dal frequenzimetro dell'oscilloscopio come le frequenze rispettano la serie geometrica descritta precedentemente.

•	$T(\mu\text{s})$	$f(\text{mboxkHz})$	$t_{HL} \text{ (ns)}$	$t_{LH} \text{ (ns)}$
Q_A	32.4 ± 0.03	30.8 ± 0.3	44 ± 2	43 ± 2
Q_B	65.2 ± 0.7	15.3 ± 0.2	55 ± 2	54 ± 2
Q_C	129 ± 1	7.75 ± 0.07	69 ± 2	66 ± 2
Q_D	258 ± 2	3.88 ± 0.03	83 ± 2	79 ± 2

Tabella 3: Misure di frequenza e tempi di propagazione per il divisore.

Di seguito sono riportate le immagini relative alle prese dei tempi di ritardo di A a scopo esemplificativo:

I tempi di ritardo misurati sono tempi di propagazione attraverso la rete dei Flip-Flop e dalle misure eseguite aumentano linearmente con il numero di porte del circuito. Gli errori sui tempi t_{HL} e t_{LH} sono dello stesso ordine di grandezza della differenza tra essi. Questo non ci permette di eseguire considerazioni significative sul parametro $t_{HL} - t_{LH}$.

Si vuole realizzare un contatore decadico sincrono, cioè attivare il reset quando il contatore raggiunge il valore 10. Per identificare il valore 10 sulle uscite Q_i si esegue un NAND tra le uscite Q_2 e Q_4 , che da un

¹Per le misure ci siamo aiutati con i cursori che ci mostravano contemporaneamente le coordinate temporali e il potenziale. Come incertezza si è presa la semidispersione dei tempi di ritardo in corrispondenza dei punti che avevano il potenziale richiesto entro l'errore dei cursori

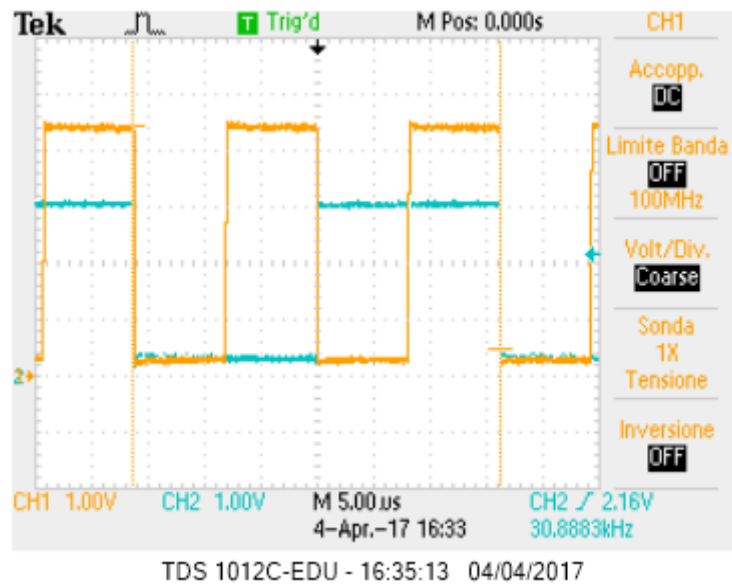


Figura 6: Segnale all'uscita Q_A con frequenza $f_0/2$.

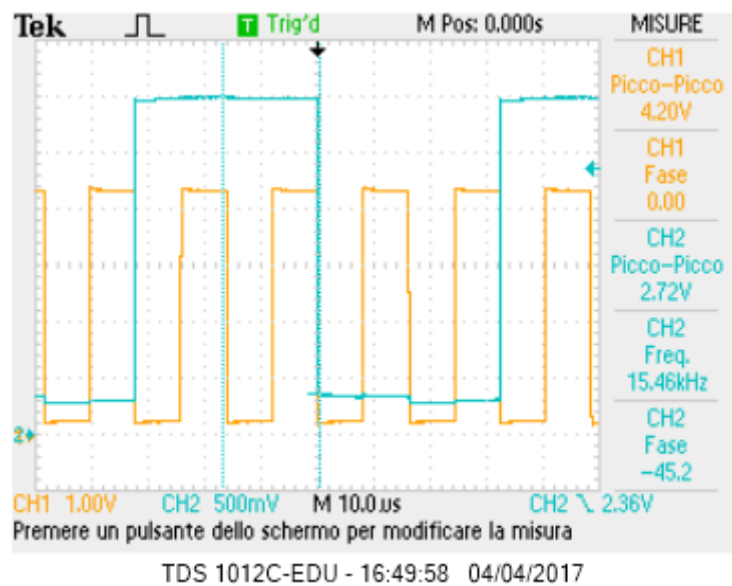


Figura 7: Segnale all'uscita Q_B con frequenza $f_0/4$.

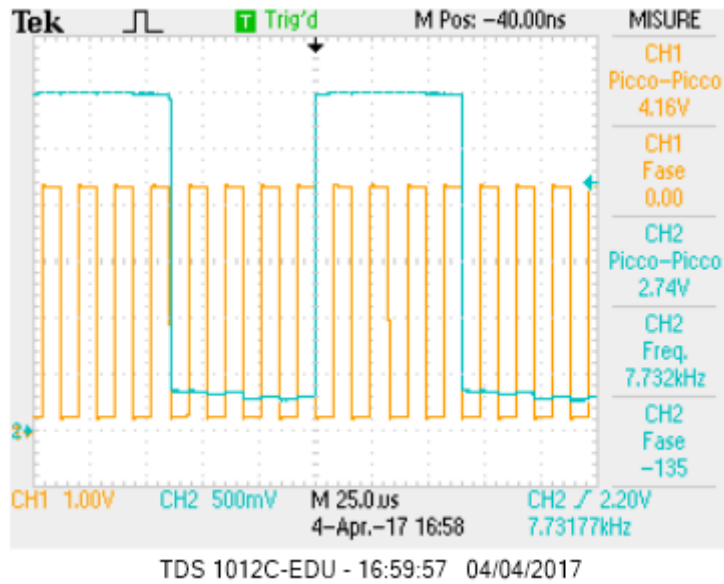


Figura 8: Segnale all'uscita Q_C con frequenza $f_0/8$.

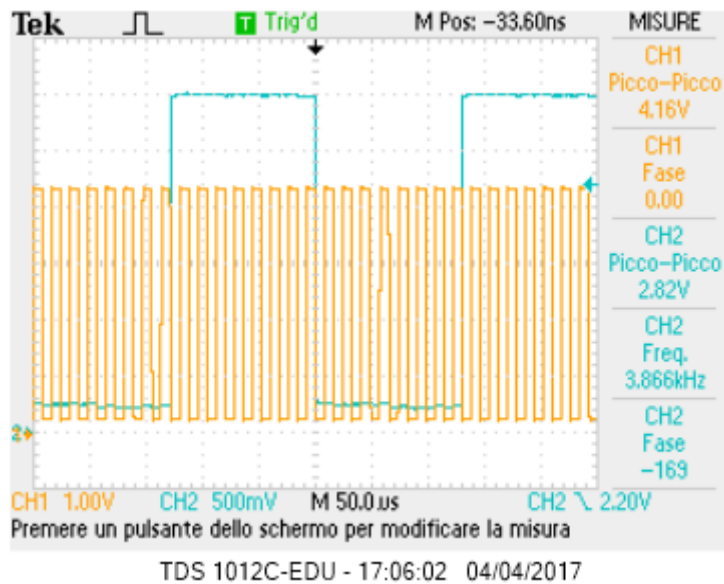


Figura 9: Segnale all'uscita Q_D con frequenza $f_0/16$.

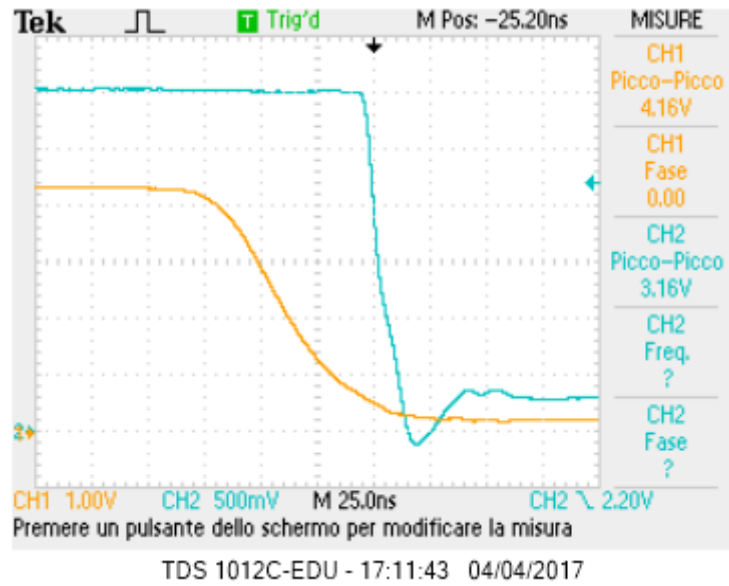


Figura 10: Misura del tempo t_{HL} per l'uscita Q_A .

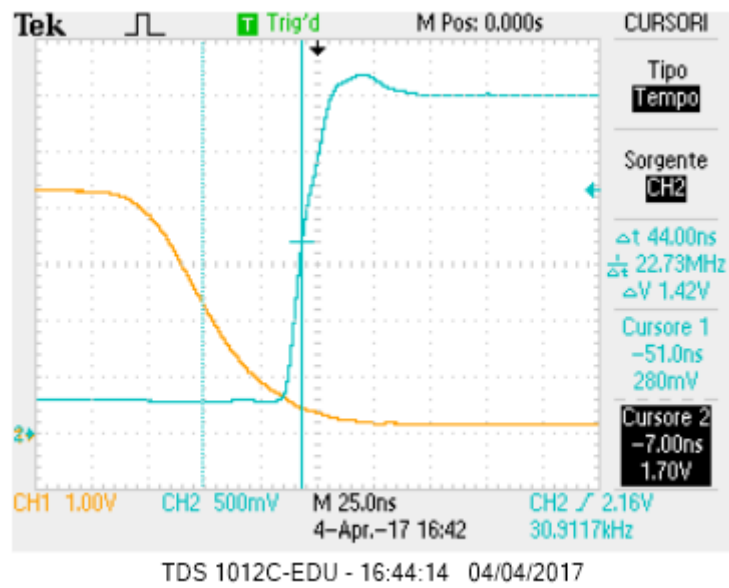


Figura 11: Misura del tempo t_{LH} per l'uscita Q_A .

segnale basso non appena i due bit sono attivati per la prima volta (cioè si raggiunge il 10).

Il reset dei JK si ottiene per $J = 0$ e $K = 1$, dunque K viene sempre lasciato flottante.

A questo punto sarebbe possibile fornire questo valore agli ingressi di reset del circuito, tuttavia per costruire un reset sincrono con il clock si utilizza un D-Latch al cui ingresso è collegata l'uscita del NAND.

Il bit di reset R_0 viene collagato a 1 attraverso una resistenza, il bit R_1 è collegato all'uscita negata del Latch in modalità enabled. In questo modo l'uscita \bar{Q} diventa 1 non appena si raggiunge 10 sincronamente con il clock.

Se non è ancora stato raggiunto il 10 vale $Q = 1$, $\bar{Q} = 0$ e dunque tutti i FF sono in modalità toggle ($J = 0$, NAND 1 = 1, $K = 1$) e il conteggio continua. Non appena $\bar{Q} = 1$, cioè ho raggiunto il 10, l'uscita degli FF viene impostata a 0, infatti $J = 1$, NAND 1 = 0, $K = 1$, che sappiamo corrispondere al settaggio di $Q = 0$.

Si verifica che collegando il D-Latch allo stesso clock del contatore alla fine del ciclo i quattro LED visualizzano per mezzo ciclo di clock il valore 10 e poi passano a visualizzare lo 0. Questo problema si può risolvere collegando il D-Latch al clock negato. Con questo accorgimento il numero 9 permane per il tempo corretto (come si può verificare all'oscilloscopio) per poi passare allo zero.

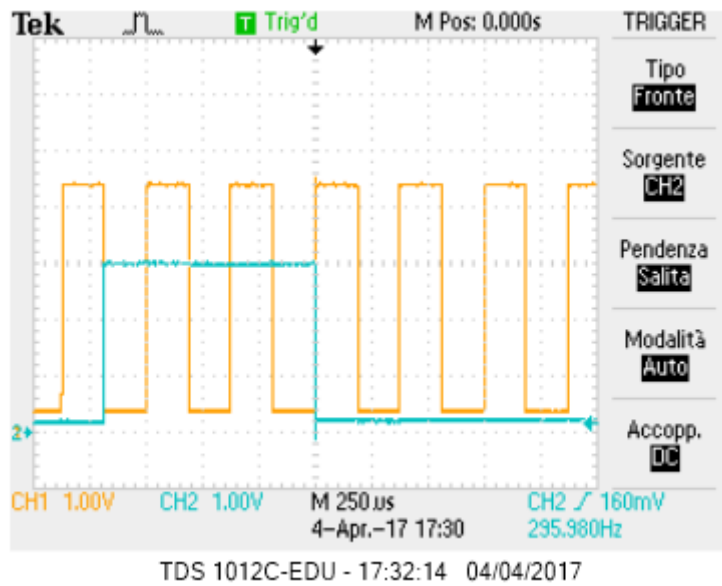


Figura 12: Segnale Q_D e clock nel caso in cui FF e contatore abbiano stesso clock.

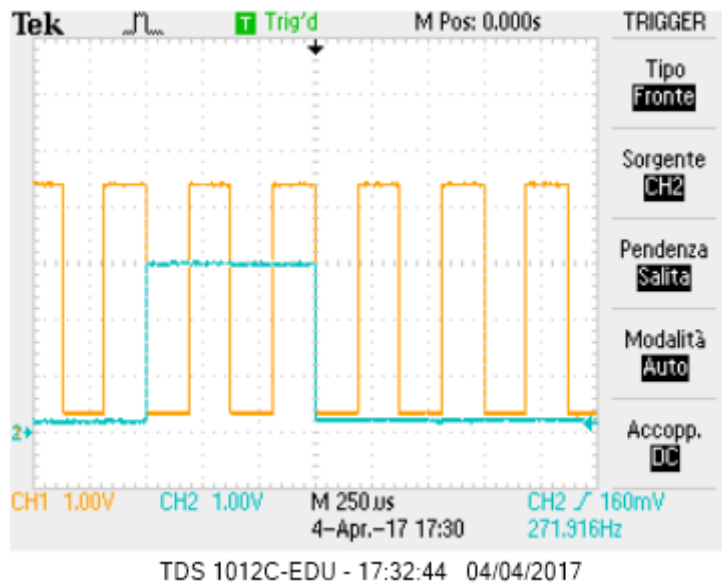


Figura 13: Segnale Q_D e clock nel caso in cui FF e contatore abbiano clock invertiti.

Le due figure 12 e 13 mostrano l'uscita Q_D nel caso di collegamento sbagliato o giusto del clock (secondo quanto detto precedentemente). Si può vedere che 12 mostra come Q_D rimanga acceso per mezzo ciclo di clock

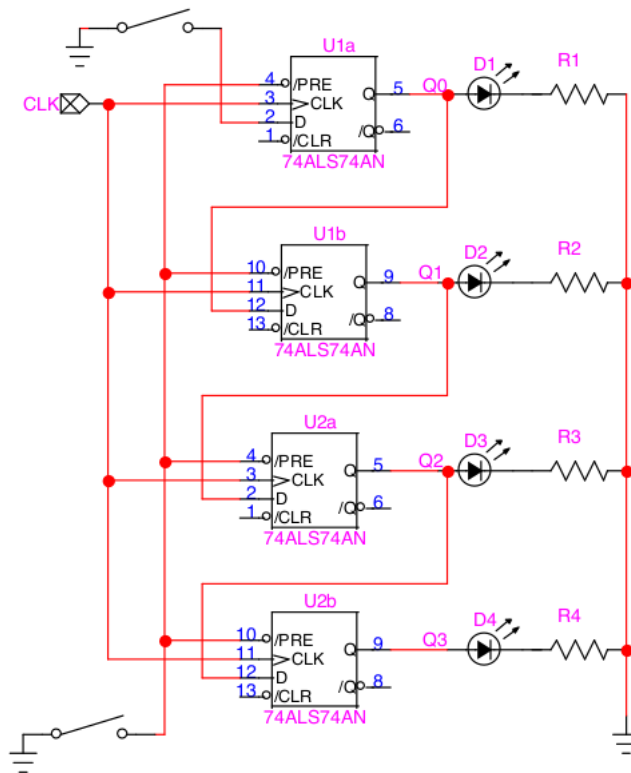


Figura 14: Shift register.

più del dovuto questo causa il comportamento indesiderato descritto precedentemente.

Ciò è dovuto al fatto che il contatore e il Flip-Flop sono sensibili rispettivamente al fronte di discesa e di salita del clock.

5 Shift register con D-Latch

Abbiamo montato lo shift register come indicato in figura 14. Si possono osservare gli stati dei vari Flip-Flop attraverso i diodi LED. Si è verificato che il pulsante di preset imposta tutte le uscite di Q al valore alto. Quando si collega l'ingresso D a terra chiudendo lo switch si vedono i LED spegnersi in sequenza sincronamente con il clock come atteso. Si è visto che per fare funzionare correttamente il circuito abbiamo avuto bisogno di inserire resistenze di pull-up di circa 1.5kΩ, in particolare ai clear per tenerli al valore alto. Una maggior stabilità del sistema si poteva ottenere anche collegando il preset al valore alto della tensione attraverso una resistenza durante il funzionamento del circuito.

6 Generatore di numeri casuali

Si è realizzato il circuito in figura 15 e inviando un clock a bassa frequenza si è osservata (e riportata in tabella 4) la sequenza generata, che come si vede è completa. Lo XOR è stato posto tra le uscite C e D e il risultato è stato mandato in input al primo D-Latch.

Si è provato ad inserire lo XOR anche tra le uscite Q_A e Q_D del contatore per poi rimandare l'uscita di questo all'ingresso del primo D-Latch. Il risultato è riportato di seguito e non è una sequenza completa.

7 Conclusioni

Il comportamento dei circuiti montati è in accordo con quanto atteso. Per il corretto funzionamento dello shift register e del generatore di sequenze pseudo-casuali è stato necessario utilizzare resistenza di pull-up per

1111	15
1011	11
0011	3
0010	2
0100	4
1000	8
0001	1
0110	6
1100	12
1001	9
0111	7
1010	10
0101	5
1110	14
1101	13

Tabella 4: Tabella di numeri generata da XOR tra Q_C e Q_D .

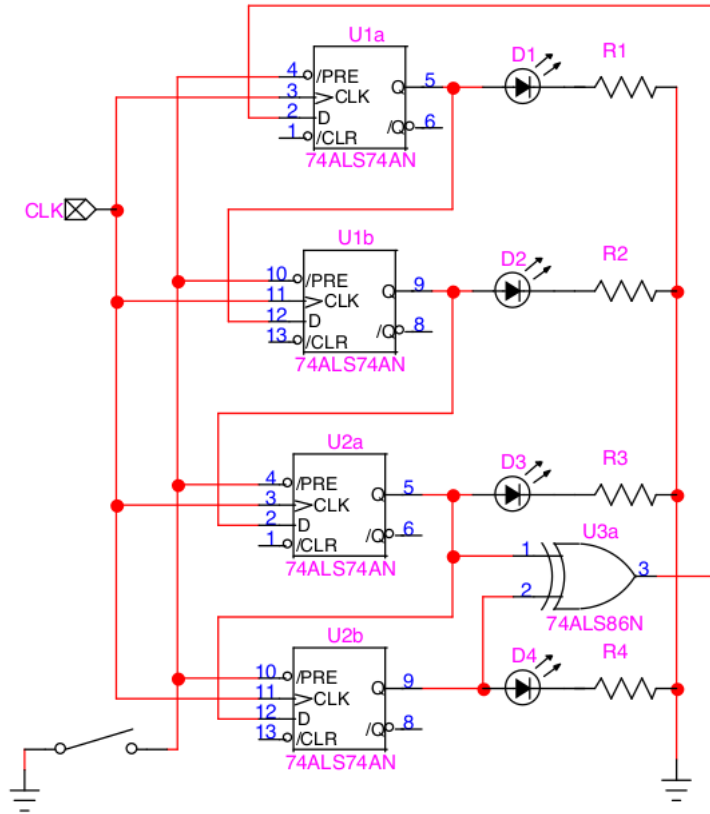


Figura 15: Generatore di numeri pseudo-casuali.

1111	15
1011	11
0111	7
1010	10
0001	1
0110	6
1100	12
1101	13

Tabella 5: Tabella di numeri generata da XOR tra Q_A e Q_D .

collegare ad a V_{CC} i clear. Per il generatore di sequenze abbiamo provato ad utilizzare lo XOR anche in altre configurazioni, ma non si sono ottenute sequenze complete.