

Esperienza 12: Flip-Flop e contatori

Gruppo BN

Federico Belliardo, Lisa Bedini, Marco Costa

April 12, 2017

1 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 e l'Enable è collegato alla terra attraverso uno switch manuale. La tensione di lavoro durante tutta l'esperienza è stata fissata a: $V_{CC} = 4.85 \pm 0.03V$.

In figura 3 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

Table 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. Perché 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.

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 dell'uscita del flip-flop rispetto all'ingresso (uscita del pulsatore). Le misure sono riportate nella tabella 2 sia per l'uscita Q che per l'uscita \bar{Q} .

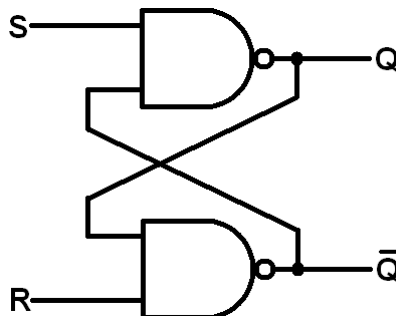


Figure 1: R-S NAND Latch.

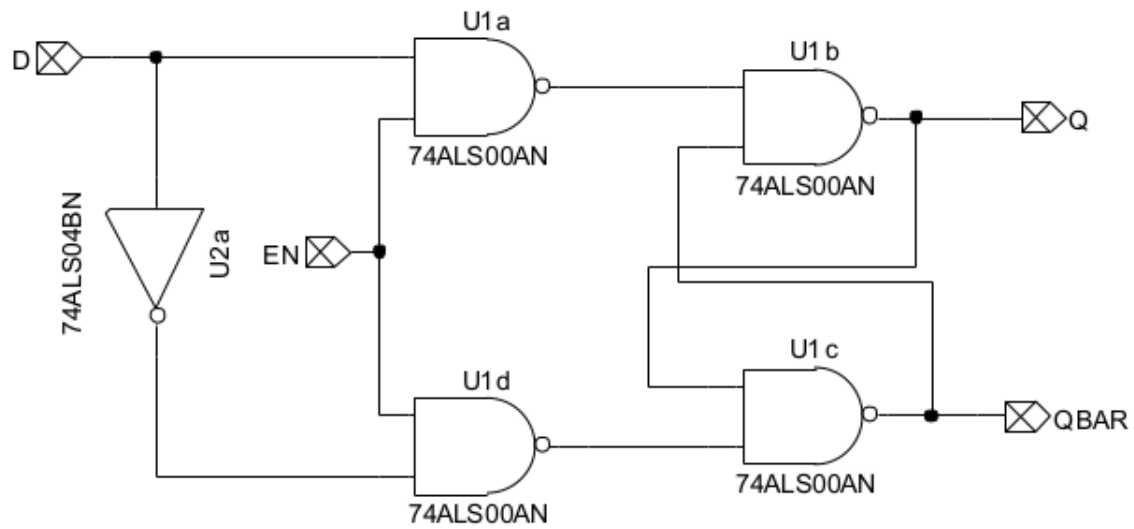


Figure 2: Circuito D-Latch NAND.

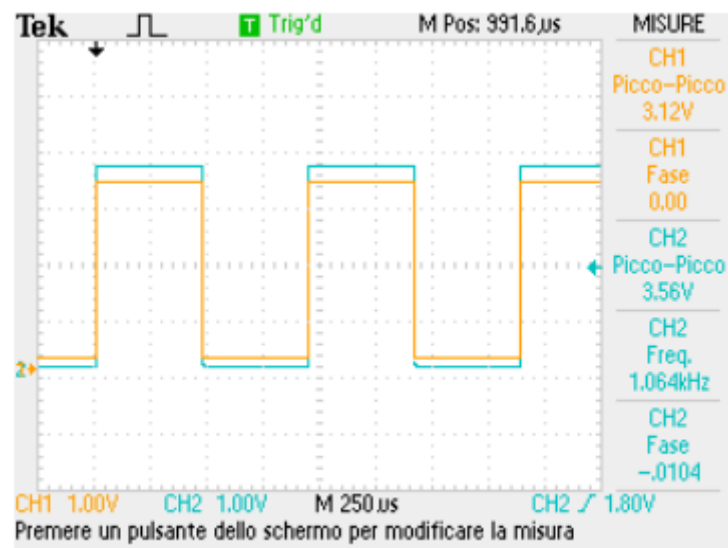


Figure 3: Circuito D-Latch NAND.

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

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

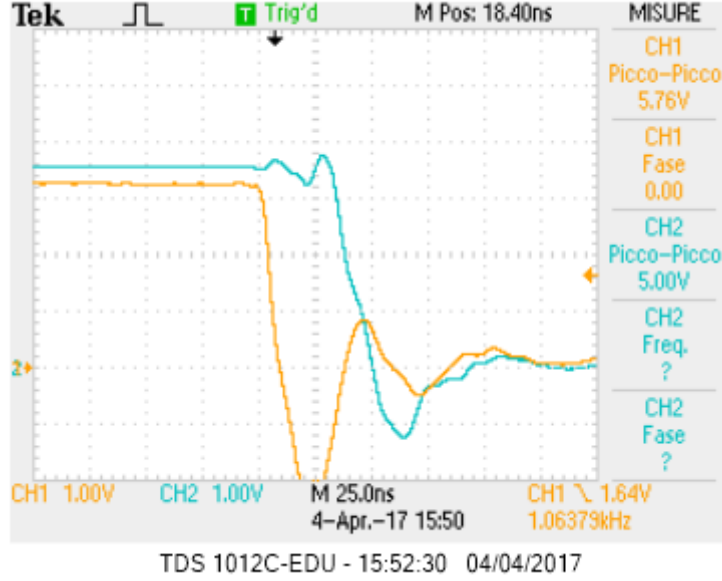


Figure 4: Misura del tempo t_{HL} per l'uscita Q .

Tutti e quattro i tempi sono risultati compatibili tra di loro. IL tempo tipico di commutazione di una porta NAND è tra i 9ns e i 15ns. I valori misurati di circa 36ns sono perfettamente compatibili con il tempo di commutazione di 4 porte NAND ($9 \cdot 4 = 36$ ns).

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

2 Divisori di frequenza

Si è realizzato un contatore a 4 bit come in figura 6 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 ognuno dei 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 $K = 1$ dunque con K flottante questo è sempre uguale a 1, se uno degli ingressi del NAND è forzato a 0 la sua uscita sarà sempre 1 e sono quindi nella richiesta 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 $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{8}$, $\frac{1}{16}$ 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 1 Hz (generato con Arduino) 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 (sempre con Arduino) un segnale di frequenza $f_0 = 61 \pm 1$ kHz e periodo $T = 16.40 \pm 0.02 \mu s$, 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.

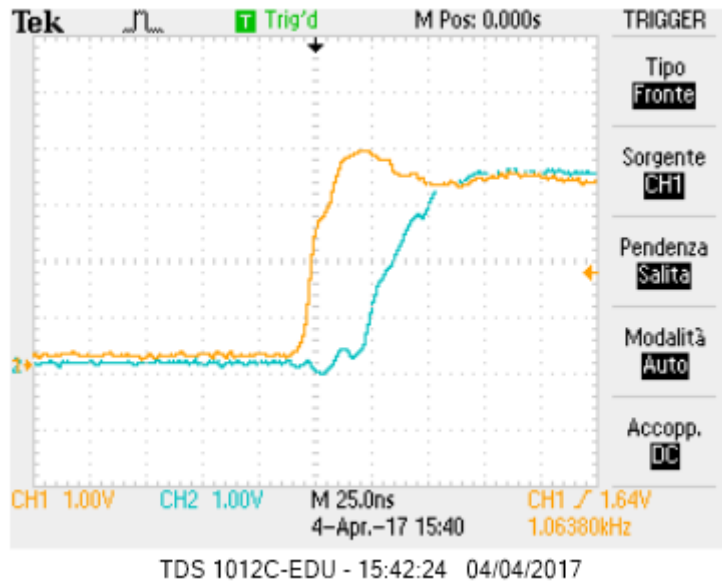


Figure 5: Misura del tempo t_{LH} per l'uscita Q .

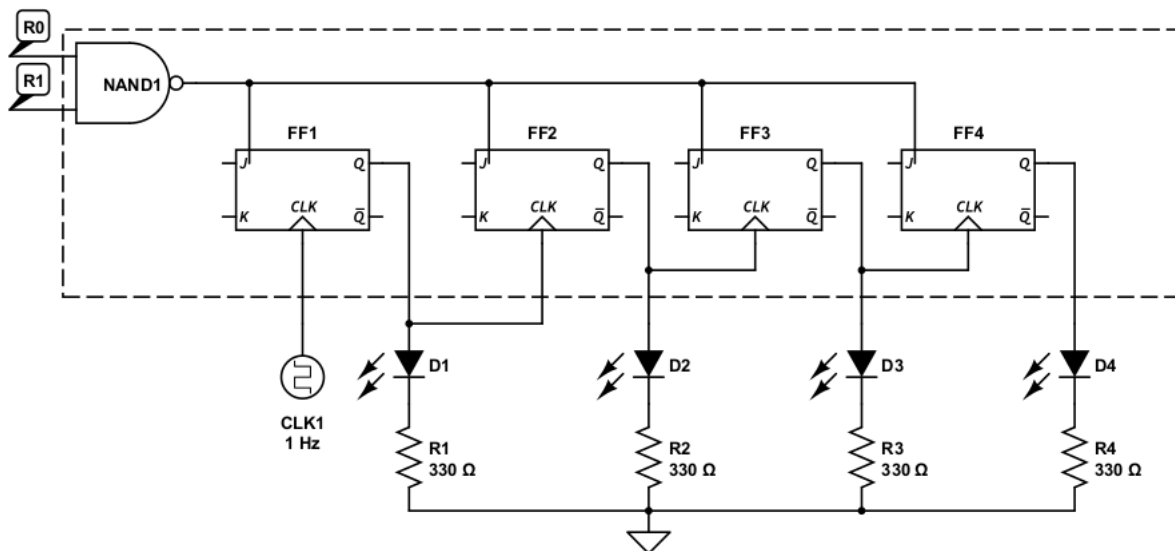


Figure 6: Contatore a 4 bit.

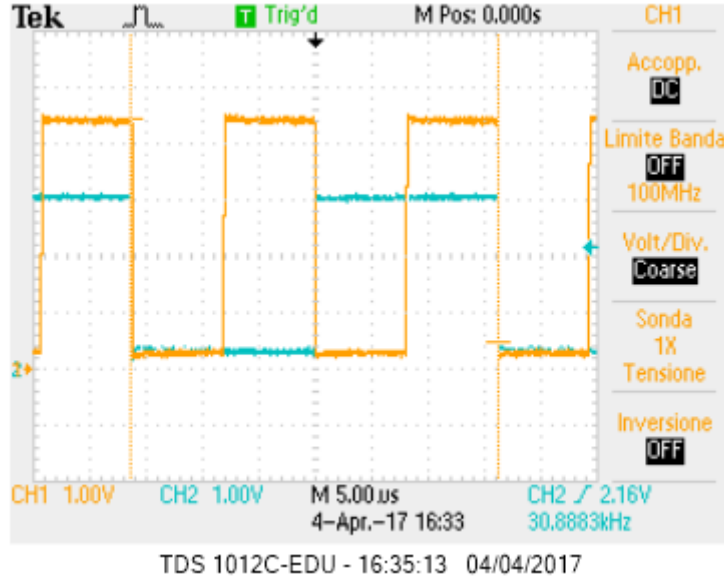


Figure 7: Segnale all'uscita Q_A con frequenza $f_0/2$.

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.

Il tempo di ritardo è definito come l'intervallo temporale tra i punti in cui i due segnali raggiungono le rispettive metà.

•	$T(\mu s)$	$f(kHz)$	t_{HL} (ns)	t_{LH} (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

Table 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 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. Infine \bar{Q} viene collegata al bit R_2 di reset e così si è realizzato il contatore decimale.

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.

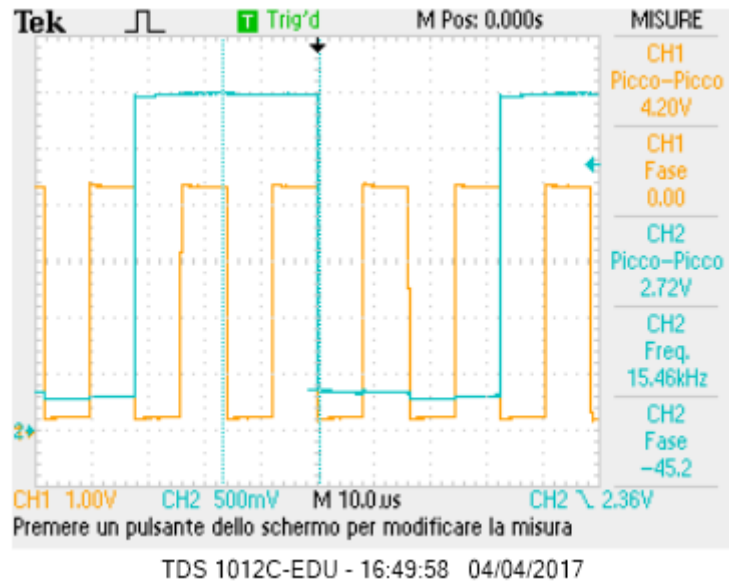


Figure 8: Segnale all'uscita Q_B con frequenza $f_0/4$.

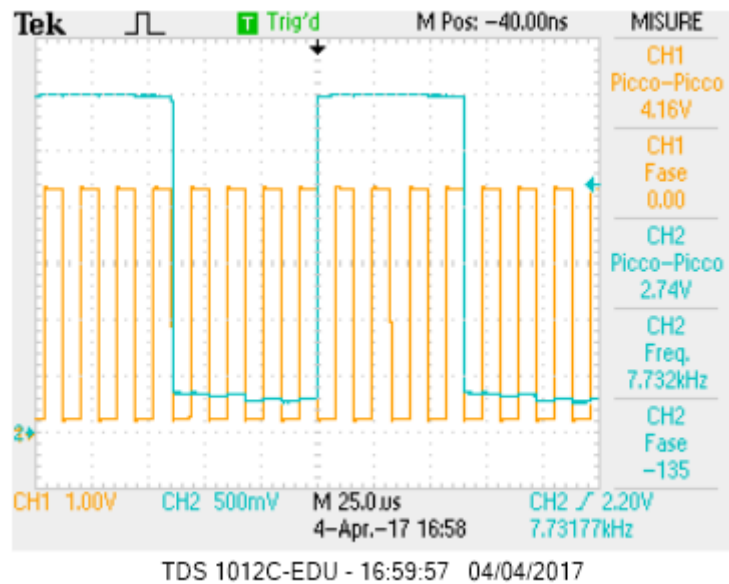


Figure 9: Segnale all'uscita Q_C con frequenza $f_0/8$.

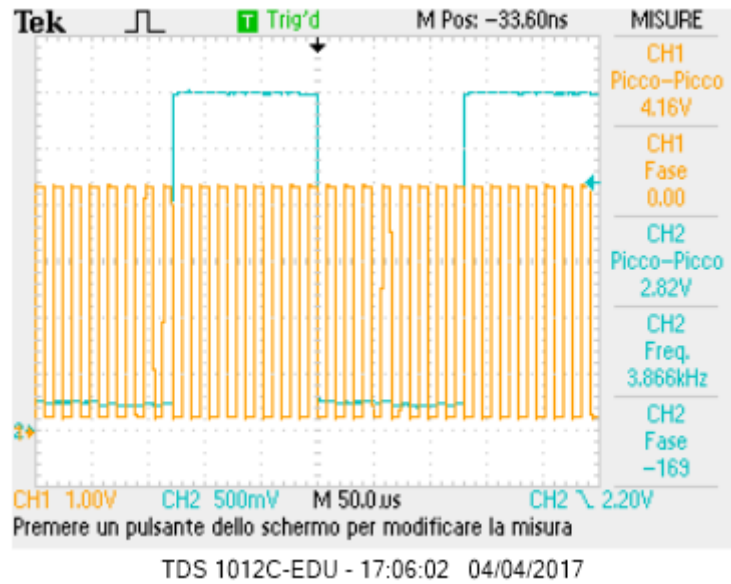


Figure 10: Segnale all'uscita Q_D con frequenza $f_0/16$.

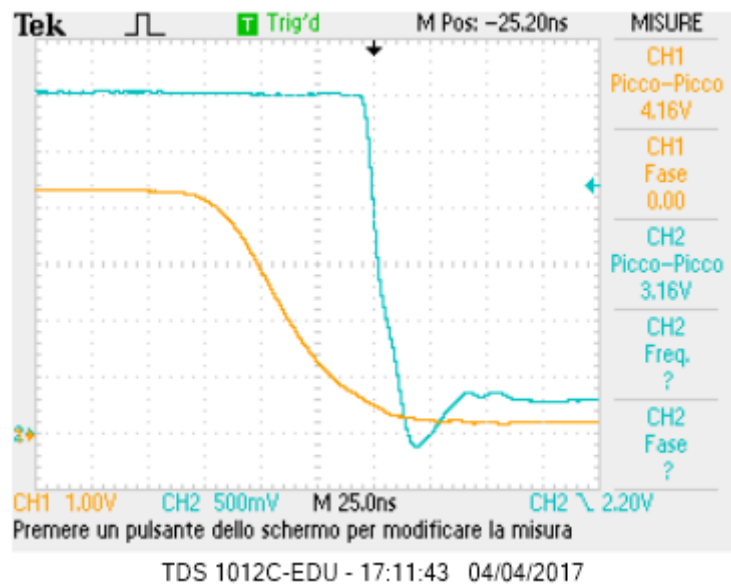


Figure 11: Misura del tempo t_{HL} per l'uscita Q_A .

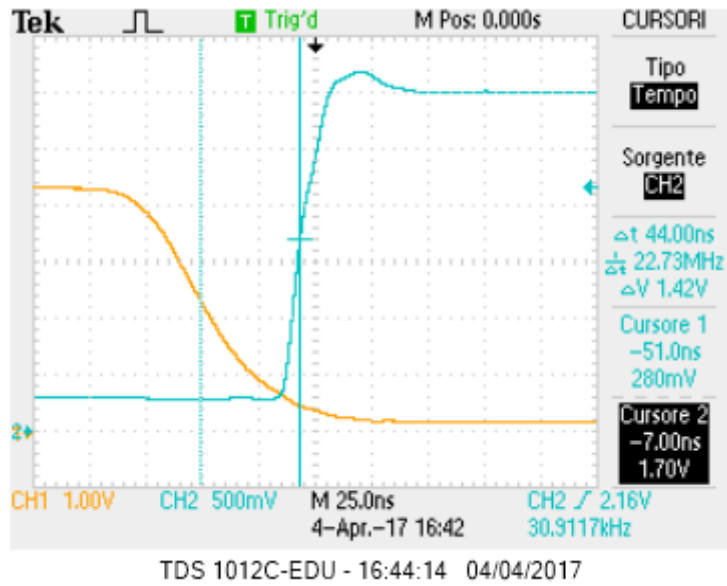


Figure 12: Misura del tempo t_{LH} per l'uscita Q_A .

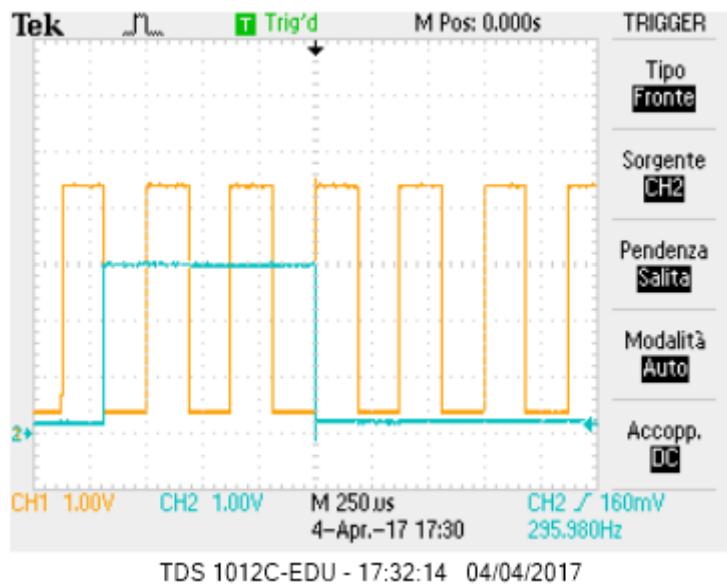


Figure 13: Segnale Q_D e clock nel caso in cui FF e contatore abbiano stesso clock.

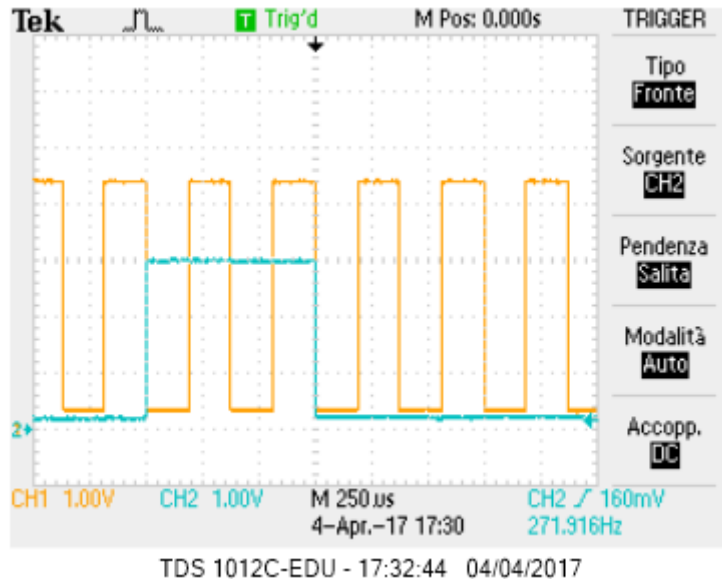


Figure 14: Segnale Q_D e clock nel caso in cui FF e contatore abbiano clock invertiti.

Le due figure 13 e 14 mostrano l'uscita Q_D nel caso di collegamento sbagliato o giusto del clock (secondo quanto detto precedentemente). Si può vedere che 13 mostra come Q_D rimanga acceso per mezzo ciclo di clock 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 alita del clock.

3 Shift register con D-Latch

Abbiamo montato lo shift register come indicato in figura 15, 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 ovunque necessario, in particolare ai clear per tenderli al valore alto. Una maggior stabilità del sistema si poteva ottenere anche collegando il preset al valore alto della tensione attraverso una resistenza durante la routine.

4 Generatore di numeri casuali

Si è realizzato il circuito in figura 16 e inviando un clock a bassa frequenza si osservata (e riportata in seguito) 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.

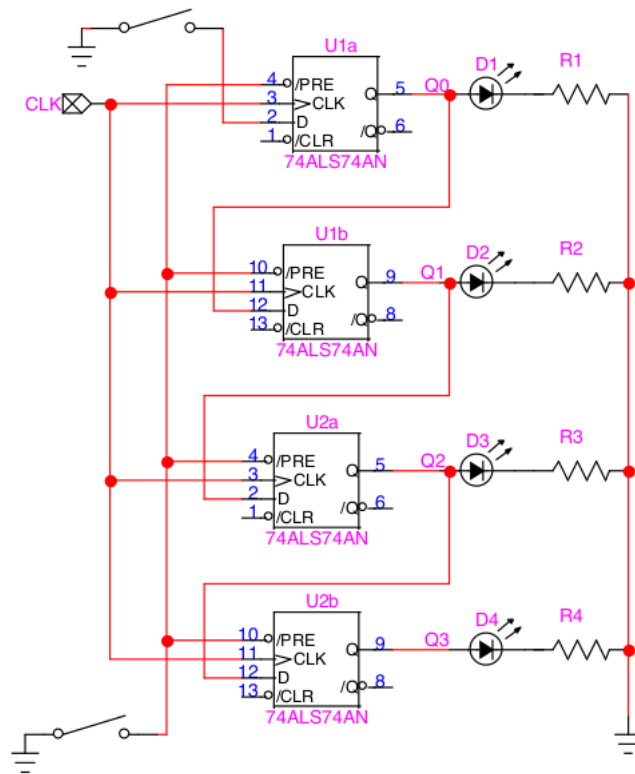


Figure 15: Shift register.

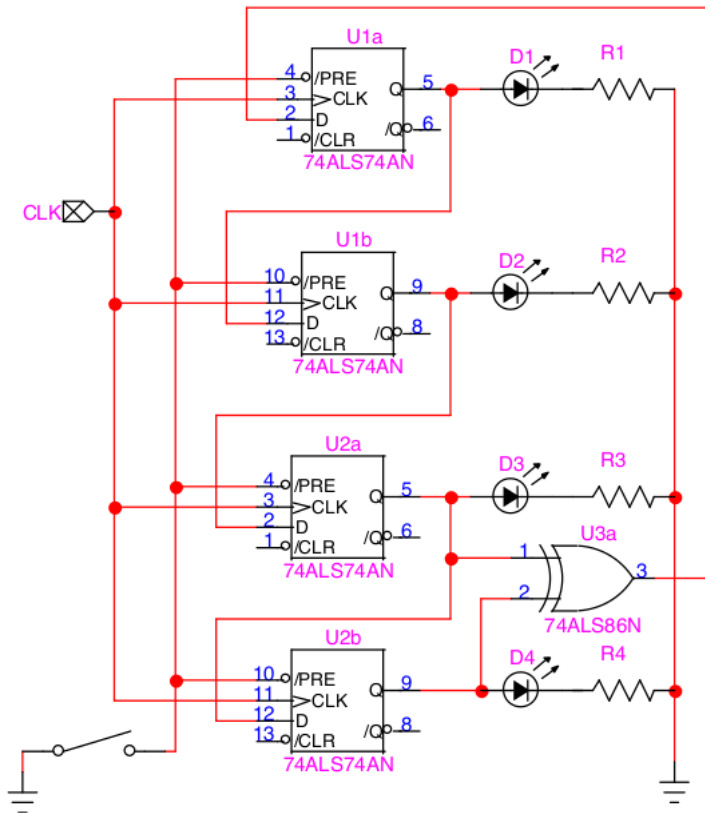


Figure 16: Generatore di numeri pseudo-casuali.

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

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

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

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