

Laboratorio di Segnali e sistemi — Canale III

Circuiti logici: ADC

Pacchiarotti Dario, Speranza Andrea, Umassi Michele

December 6, 2018

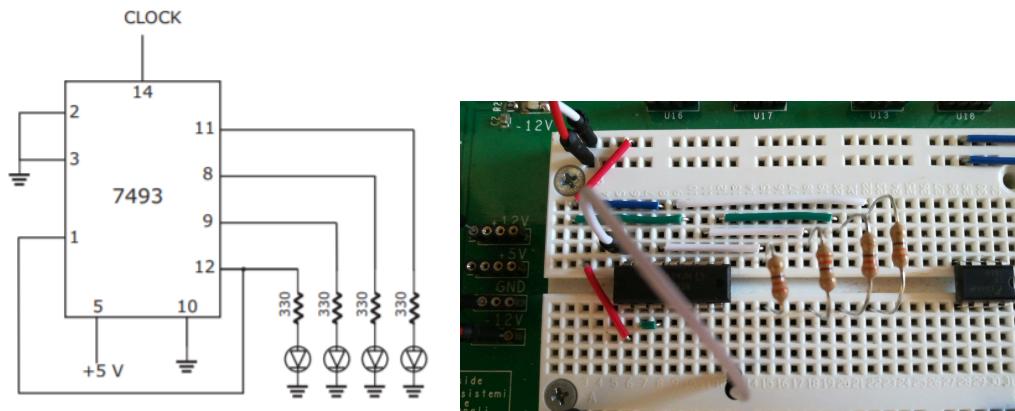
1 Introduzione

Dobbiamo costruire un convertitore analogico-digitale a 4 bit. Questo circuito, quando fornito di diversi valori di tensione continua V_x , ha come output un numero binario a (4 bit, tra 0 e 15 in decimale). I valori di V_x spaziano tra 0 ed il potenziale in uscita dal sommatore quando raggiungiamo il numero 15 (1111): $0 \pm 0.01 \text{ V} \leq V_x \leq 8.16 \pm 0.01 \text{ V}$. Sarà giustificata nel paragrafo 1.2.

Realizziamo il circuito un blocco alla volta, verificandone i corretti funzionamenti.

2 Contatore a 4 bit

Per montare il contatore utilizziamo l'integrato 7493 montato come in figura.



Inviamo all'ingresso CLOCK (piedino 14) un segnale d'onda quadra con ampiezza 5V alla frequenza di $\sim 1\text{Hz}$. Osserviamo la sequenza di accensione dei LED in binario da 1 a 15 (rovesciati, per costruzione) (1000, 0100, 1010, ..., 1110, 1111). Per questa verifica gli ingressi 2 e 3 dell'integrato sono rimasti connessi a massa, in quanto resettare il contatore non avrebbe fatto nessuna differenza. Più avanti implementeremo un modo per alternare il set-reset comodamente tra GND ed i 5V di alimentazione del 7493.

Riportiamo dei valori numerici con i corrispondenti led accesi. ||NB: ribadiamo che per tutta l'esperienza, i led andranno letti da sinistra a destra (1 corrisponde ad 1000, mentre 0001 è 8)||

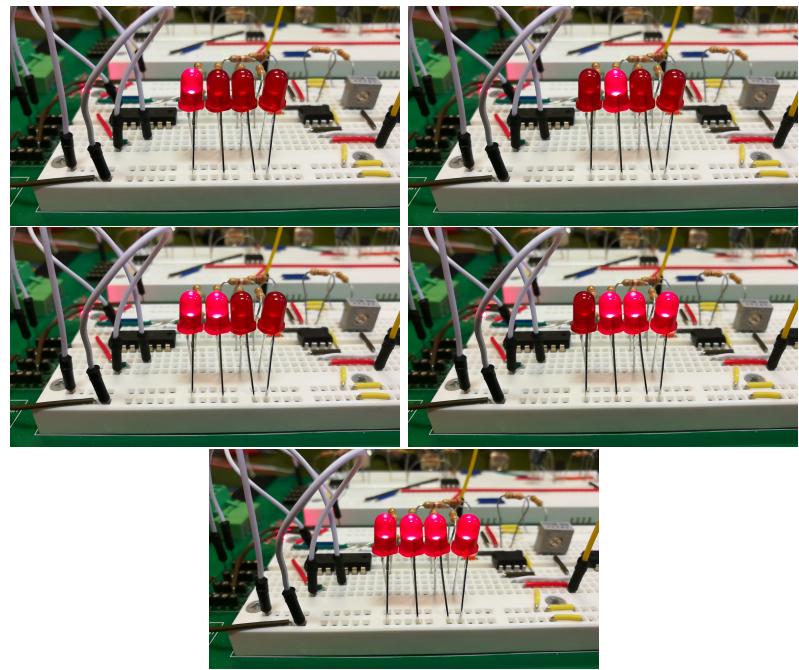
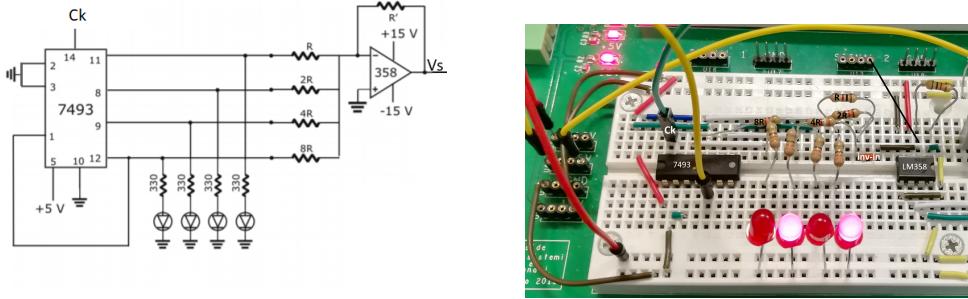


Figure 1: In ordine 1, 2, 3, 14, 15

3 Sommatore

Costruiamo il Sommatore invertente a pesiera riportato qui sotto. Aggiungeremo il comparatore più avanti.



Scegliamo i valori delle resistenze R' ed R tenendo conto del fatto che la tensione in uscita non può eccedere il valore di -15 V. Otteniamo il massimo valore dell'amplificazione solo quando tutte e quattro le uscite del contatore si trovano sull'uno logico. In questa situazione, si raggiunge il massimo valore di tensione $V_{max} = -\frac{8R'}{5R} * 15 \leq 15$ V. Deve così essere $R' \leq \frac{8}{5}R$. Prendiamo $R=0.997 \pm 0.001$ k Ω così da poter scegliere, tra i resistori disponibili in laboratorio, quelli vicini ai valori esatti dei multipli di R .

- $R' = \frac{8}{5}R = 1.469 \pm 0.001$ k Ω (vicino al valore suo esatto 1.595..)
- $R_1 = 1R = 0.997 \pm 0.001$ k Ω
- $R_2 = 2R = 2.181 \pm 0.001$ k Ω
- $R_3 = 4R = 3.830 \pm 0.001$ k Ω
- $R_4 = 8R = 8.130 \pm 0.001$ k Ω

Ciò che ci interessa osservare è la somma progressiva degli impulsi che aumentano il numero del contatore (da 0 a 15), ossia la quantità di tensione corrispondente ad un incremento.

La prima osservazione è fatta aumentando la frequenza del Clock (+1 per il contatore) fino a ~ 2 kHz, così da poter usare efficacemente il trigger dell'oscilloscopio. Questo è ciò che vediamo

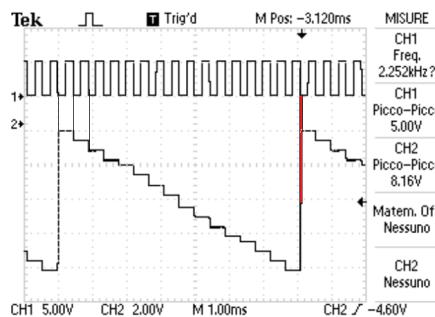


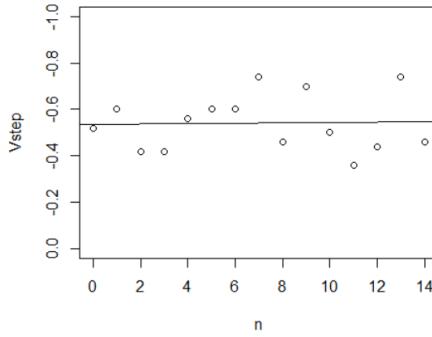
Figure 2: V_s (sommatore) in funzione del tempo

Ogni "battito" del Clock incrementa di 1 in contatore, ed il sommatore lo sovrappone a quello precedente, dandoci la scala di $n=f(V)$. Con la funzione measure, possiamo vedere che (in valore assoluto) l'1111 logico (15) corrisponde ad 8.16V, mentre 0000 (0), a ~ 0.4 V. E' interessante notare come il punto in cui cambia il valore della scala, coincide con la chiusura di un periodo di input, e l' n -simo gradino corrisponde all' n -simo battito.

Facciamo il conto dell'ampiezza di ogni scalino, così da poter stimare una media di quanta tensione sia necessaria ad aggiungere un 1 ad n . Gli scalini sono molto simili tra di loro: il circuito funziona correttamente e l'integrato fa il suo dovere. Per una rossa stima di ΔV può essere data facendo $\frac{V_{max}}{15} = 0.544$.

N_{step}°	$\Delta V(N) \pm 0.02$ (V)
1	-0.46
2	-0.74
3	-0.44
4	-0.36
5	-0.50
6	-0.70
7	-0.46
8	-0.74
9	-0.60
10	-0.60
11	-0.56
12	-0.42
13	-0.42
14	-0.60
15	-0.52

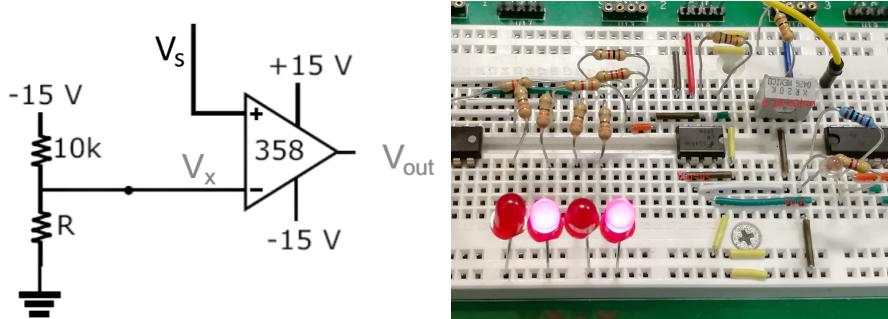
Possiamo fare una media di questi. Ricaviamo il valore assoluto di questi gradini $\overline{\Delta V(N)} = 0.541 \pm 0.120$ V (l'errore è la deviazione standard). Questo è estremamente vicino al valore atteso. Riportiamo i dati in tabella in funzione di N.



Il coefficiente angolare è -0.0005 ; fatto che ci rassicura, in quanto possiamo considerare questa differenza costante. Constatremo con più precisione ogni singola ampiezza di step.

4 DAC a 4 bit

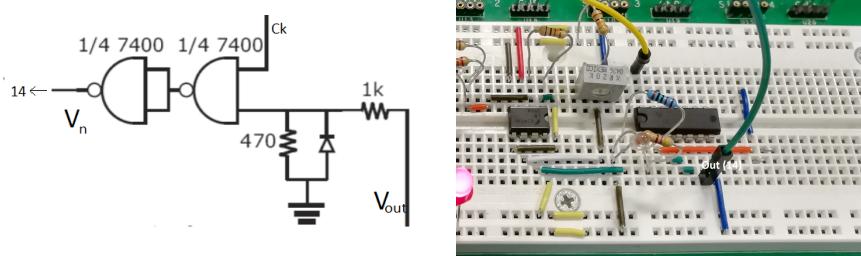
La terza componente da costruire è un DAC (convertitore digitale-analogico). Esso è schematizzato in figura, con accanto la sua realizzazione pratica su basetta.



Il componente grigio è un potenziometro. Questo è un oggetto in grado di variare (tramite intervento manuale: una vite) la sua resistenza interna. Quello scelto da noi va da ~ 0 a ~ 20 $k\Omega$, e fa un partitore di tensione con una reistenza da $10k\Omega$. Facendo ciò, possiamo variare la tensione di "STOP" che questo convertitore (che non è altro che un comparatore), utilizza come riferimento. In base ai valori di R_v (del potenziometro), questo potenziale V_x detterà a quale tensione avviene il salto da 0 ad 1. Il potenziale da comparare è quello in uscita dal sommatore. Ci aspettiamo dunque che l'uscita del DAC sia un segnale di 0 e 1, dove ognuna di queste due parti è proporzionale alla parte della scala considerata. Ad esempio, se $V_x = V_{max}/2$, il duty cycle del segnale è simmetrico. se $R_v = 20k\Omega$, V_x sarà $\frac{2}{3}V_{max}$, risultando in un duty cycle compreso da 1 per i suoi $2/3$.

5 Adattatore di livello logico

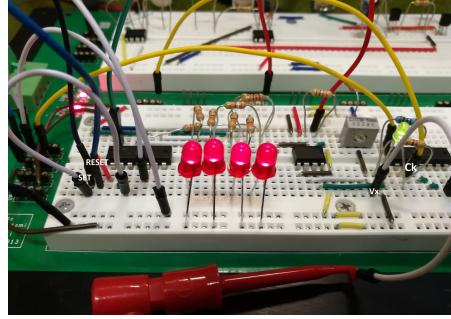
L'ultima parte è la costruzione di un adattatore di livello logico, ottenuto da due NAND (useremo il 7400). Schema e circuito come in figura.



Ora, invece di attaccare il clock direttamente al piedino 14 del 7493, lo attacchiamo ad un piede del NAND primario, ed alla connessione precedente (14), vi attacchiamo l'output del nuovo componente.

Una volta armatisi di cacciavite e pazienza, si procede a calibrare l'apparato. Il parametro che stiamo cercando è la tensione specifica, in funzione del numero iterato dal contatore necessaria perché esso possa essere generato. Questo è possibile in quanto, una volta raggiunto il numero

”giusto” della nostra scala, il contatore smette appunto di contare, ed i led che rimangono accesi indicano proprio il gradino sul quale ci troviamo (per velocizzare le iterazioni e la ”saturazione” del conteggio alziamo la frequenza di Ck all’ordine dei kHz). Tra una presa di tensione e l’altra, dobbiamo resettare il contatore per assicurarcene letture accurate e sensate tra di loro. Per far ciò, dovendo operativamente mettere a 5V e poi a massa i piedini 2 e 3 del primo integrato, affianchiamo due file di pin con le suddette tensioni, per essere i più veloci possibili. Ci avvaliamo inoltre del Fluke 45 (multimetro digitale) per leggere V_x più facilmente, senza ricavarla dal partitore con il valore di R_v .

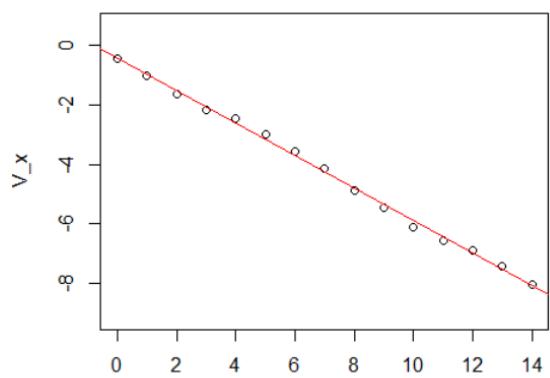


Partendo da 0, aumentiamo gradualmente quest’ultima, fino a vedere l’accensione del primo led. Iteriamo fino al numero 15. Sono trovati i seguenti V_x in funzione di N. (Riportati in valore assoluto)

N°_{step}	$ V_x \pm 0.01$ (V)
0	0.04
1	0.44
2	1.00
3	1.61
4	2.15
5	2.45
6	2.99
7	3.56
8	4.14
9	4.89
10	5.45
11	6.09
12	6.58
13	6.87
14	7.43
15	8.03

Come si può vedere, 15 ha una tensione di 8.03, valore compatibile quando comparato alla sua stima tramite l’uscita del sommatore.

Sulle ordinate del grafico mettiamo $-V_x$, in quanto stiamo lavorando con tensioni negative (gli op-amp sono invertenti).



Il grafico è, non sorprendentemente, lineare. Dato interessante di questa curva è il suo coefficiente angolare: questo vale $-0.546V/\text{step}$. Anche stavolta abbiamo trovato un valore compatibile. In corrispondenza del primo step, inoltre si sono contati $0.44V$, valore che avremmo potuto trovare come intercetta della nostra retta. Quest'ultima è infatti -0.43 .