



ADC

nella strumentazione di misura



Convertitori analogico/digitale

- Convertitori analogico/digitale a valore istantaneo (*spot*)
 - ✓ Parallelo o *flash*
 - ↳ diffusi negli oscilloscopi digitali
 - ✓ Ad approssimazioni successive
 - ↳ diffusi nei sistemi di acquisizione dati
- Convertitori analogico/digitale a integrazione
 - ✓ A doppia rampa
 - ✓ Multirampa
 - ↳ diffusi nei multimetri da banco



Convertitore parallelo (*flash converter*)



Convertitore parallelo o *flash converter* (spot)

Convertitore parallelo o flash

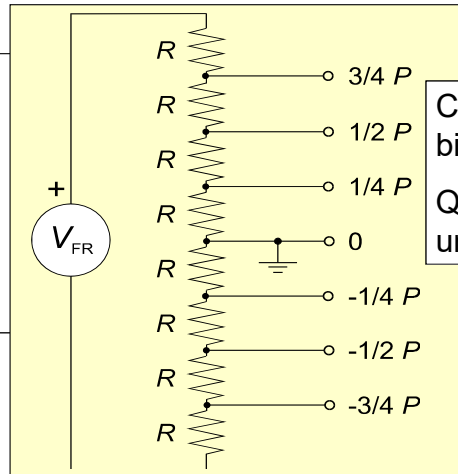
Il principio di funzionamento rispecchia il processo di quantizzazione.

I componenti principali sono:

- ✓ un partitore resistivo
- ✓ una schiera di comparatori di tensione
- ✓ una rete di codifica

Convertitore parallelo o *flash converter* (spot)

Il partitore resistivo genera le tensioni che separano gli stati discreti in cui è suddiviso il campo di misura

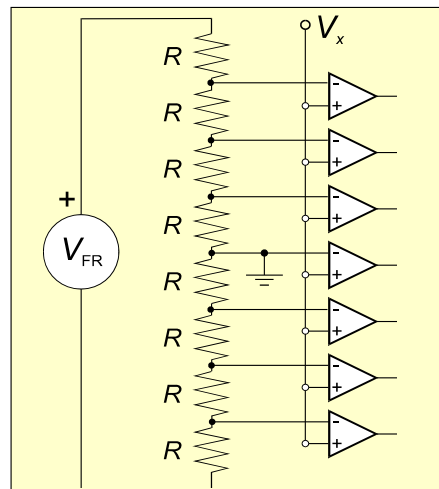


Campo di misura bipolare.

Quantizzazione uniforme.

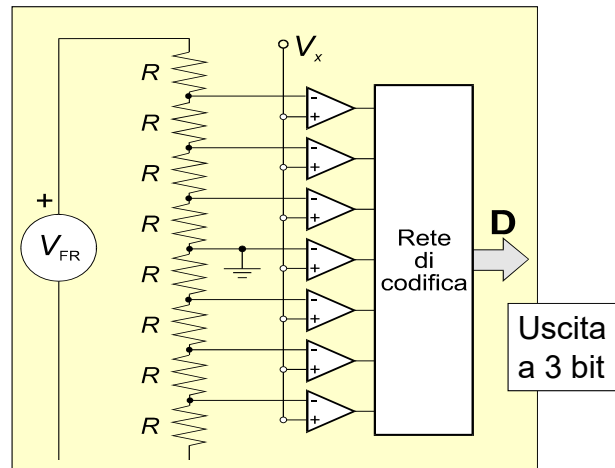
Convertitore parallelo o *flash converter* (spot)

I comparatori della schiera confrontano simultaneamente (in parallelo) la tensione in ingresso V_x con le tensioni che separano gli stati discreti



Convertitore parallelo o *flash converter* (spot)

La rete di codifica fornisce il codice numerico di uscita a partire dai valori (alti o bassi) delle uscite dei comparatori di tensione



Convertitore parallelo o *flash converter* (spot)

Pregio principale

- Alta velocità: tempo di conversione pari al tempo di un comparatore (+ tempo di codifica)
- ↳ Frequenze di campionamento oltre il GSa/s

Difetti

- Costoso (256 comparatori per 8 bit di risoluzione)
- Bassa impedenza di ingresso (256 ingressi in parallelo per 8 bit)



Convertitore ad approssimazioni successive



Convertitore ad approssimazioni successive (spot)

Convertitore ad approssimazioni successive

Il valore a cui convertire il campione del segnale analogico è ottenuto mediante una serie di approssimazioni successive, sempre più fini.

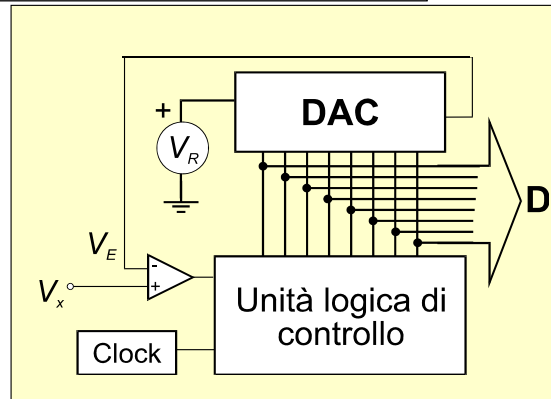
I componenti principali sono:

- ✓ un convertitore digitale/analogico
- ✓ un comparatore di tensione
- ✓ un'unità logica di controllo

Convertitore ad approssimazioni successive (spot)

Il campione da convertire è confrontato con l'uscita di un convertitore Digitale/Analogico (DAC)

La conversione termina quando
 $V_X \approx V_E$
a meno
dell'incertezza di
quantizzazione



Convertitore ad approssimazioni successive (spot)

Tecnica di approssimazione (caso unipolare)

- Passo 1: il DAC è impostato in modo da generare una tensione $V_E = P/2$
- Passi successivi: approssimazione di V_X con una procedura dicotomica dell'intervallo $(0, P/2)$
 - ↳ Ad ogni passo si incrementa o decrementa il codice del DAC di un valore pari a metà del passo precedente



Convertitore ad approssimazioni successive (spot)

Esempio: ADC a 4 bit unipolare, $P=16\text{ V}$, $V_X=11.2\text{ V}$

Passo	D	$V_E\text{ (V)}$	Confronto	Azione
1	1000	8	$V_X > V_E$	$+ \frac{1}{4} P$
2	1100	12	$V_X < V_E$	$- \frac{1}{8} P$
3	1010	10	$V_X > V_E$	$+ \frac{1}{16} P$
4	1011	11	$V_X = V_E$	FINE



Convertitore ad approssimazioni successive (spot)

Pregio principale

- Elevate risoluzioni a basso costo: sono richiesti un DAC, un comparatore ed un'unità di controllo

Difetti

- Velocità minore del convertitore *flash*
 - ↳ Tempo massimo di conversione = $N \cdot T_{\text{CLOCK}}$
(frequenza di campionamento fino a decine di MSa/s)
- È richiesto che V_X sia costante durante il tempo di conversione
 - ↳ È preceduto da un circuito di *Sample-&Hold*



Convertitore a doppia rampa



Convertitore a doppia rampa (a integrazione)

Convertitore a doppia rampa

Si tratta di un convertitore tensione/intervallo di tempo.

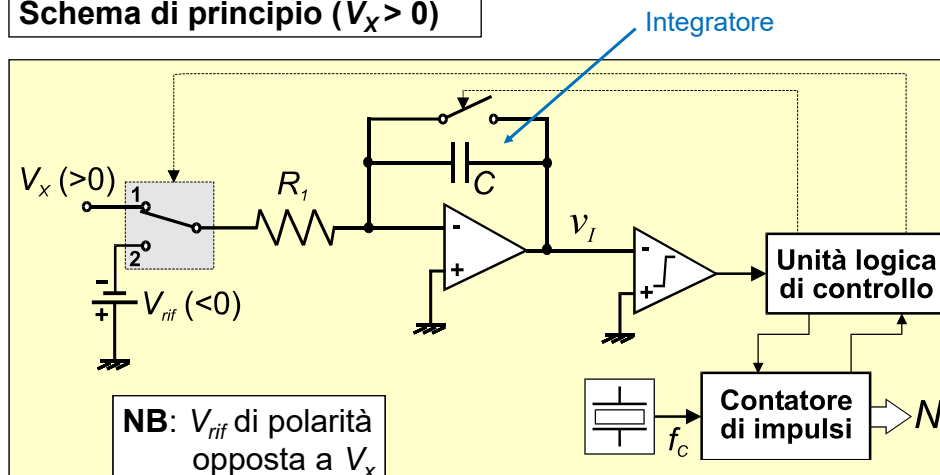
Due fasi di funzionamento:

- *Run-up*: carica di un condensatore tramite la tensione incognita V_x
- *Run-down*: scarica del condensatore tramite una tensione nota V_{rif}

Stima della tensione incognita a partire dal rapporto tra gli intervalli di tempo di *run-up* e di *run-down*.

Convertitore a doppia rampa (a integrazione)

Schema di principio ($V_x > 0$)

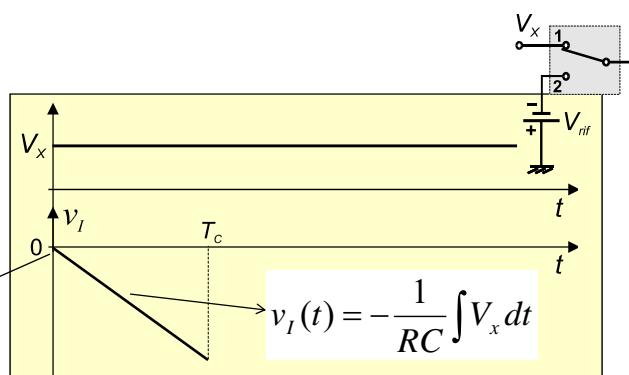


Convertitore a doppia rampa (a integrazione)

Fase di *run-up*

Funzionamento con tensione di ingresso costante

$v_I(0) = 0$
chiusura dell'interruttore in parallelo a C prima di ogni misurazione

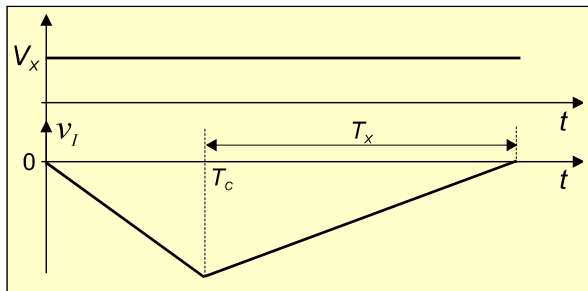


Si integra V_x per un tempo **fisso** T_c

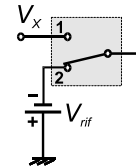
$$v_I(T_c) = -\frac{V_x}{RC} \cdot T_c$$

Convertitore a doppia rampa (a integrazione)

Fase di *run-down*



Si integra V_{rif} per un tempo T_X tale da raggiungere la condizione iniziale $v_I=0$

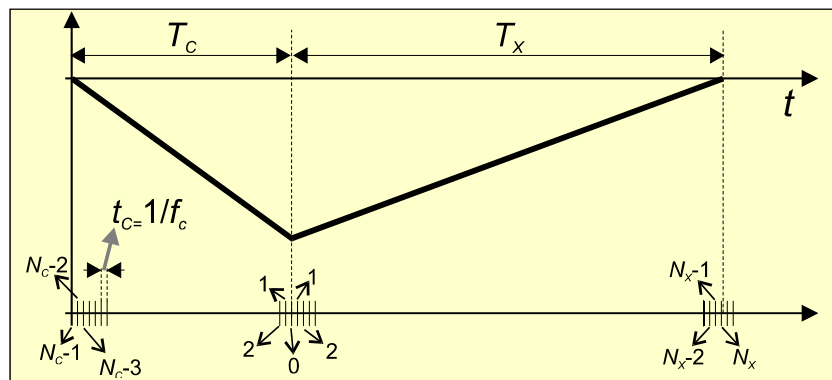


Per il bilancio delle cariche nelle fasi di *run-up* e *run-down* si ha:

$$v_I(T_C) = -\frac{1}{RC} \int_{T_X} V_{rif} dt; -\frac{V_X}{RC} \cdot T_C = -\frac{V_{rif}}{RC} \cdot T_X \Rightarrow V_X = V_{rif} \cdot \frac{T_X}{T_C}$$

Convertitore a doppia rampa (a integrazione)

Misurazione di T_C e T_X



Countdown sincrono di T_C
 $T_C = N_C \cdot t_C$

Conteggio asincrono di T_X
 $T_X = (N_X \pm 1) \cdot t_C$

Convertitore a doppia rampa (a integrazione)

$$V_X = V_{rif} \cdot \frac{T_X}{T_C} = V_{rif} \cdot \frac{N_X \cdot t_C}{N_C \cdot t_C} = V_{rif} \cdot \frac{N_X}{N_C}$$

valida se l'oscillatore locale è stabile durante la misurazione.

Stima dell'incertezza attesa (modello deterministico):

$$\mathcal{E}_{V_X} = \mathcal{E}_{V_{rif}} + \frac{1}{N_X} + \mathcal{E}_{\text{Non_Id}}$$

Convertitore a doppia rampa (a integrazione)

Tempo di misurazione t_m

$$t_m = T_C + T_X = (N_C + N_X) \cdot t_C$$

- T_C è fisso (impostato dall'operatore)
- T_X dipende dalla tensione in misura V_X

Solitamente si sceglie $|V_{rif}| = |P|$ (P portata del convertitore)

↳ tempo di misurazione massimo quando si misura una tensione V_X pari a P

$$t_{mMAX} = 2 \cdot T_C = 2 \cdot N_C \cdot t_C$$



Convertitore a doppia rampa (a integrazione)

Risoluzione di misura δV_X

$$\delta V_X = V_{rif} \cdot \frac{1}{N_C}$$

corrispondente ad una unità di conteggio di N_X .

A partire dall'espressione di V_X , si ottiene:

$$\delta V_X = \frac{V_{rif}}{N_C} = \frac{V_X}{N_X} = \frac{P}{N_{X MAX}}$$

⇒ risoluzione del convertitore fissata dalla sua portata e dal numero massimo di conteggi di N_X



Convertitore a doppia rampa (a integrazione)

Relazione tra risoluzione e tempo di misurazione:

$$\delta V_X = \frac{P}{N_{X MAX}} = \frac{P}{N_C} = \frac{2 \cdot t_C \cdot P}{t_{m MAX}}$$

La risoluzione è inversamente proporzionale al tempo di misurazione

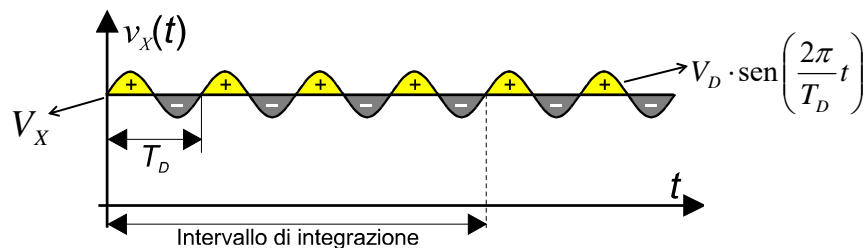
⇒ piccoli valori di risoluzione richiedono lunghi tempi di misurazione

Convertitore a doppia rampa (a integrazione)

Funzionamento in presenza di disturbi

I convertitori a integrazione forniscono un'indicazione proporzionale al valore medio del segnale di ingresso durante l'intervallo di integrazione (T_C nel convertitore a doppia rampa)

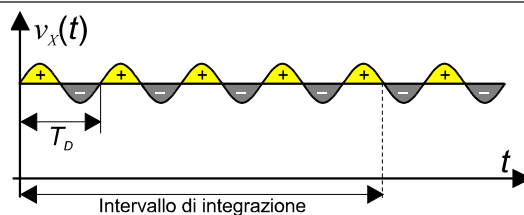
⇒ un disturbo alternato di periodo T_D sovrapposto alla tensione in misura non produce alcun effetto se $T_C = k T_D$



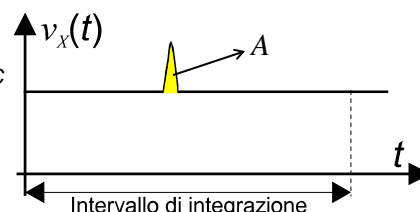
Convertitore a doppia rampa (a integrazione)

Funzionamento in presenza di disturbi

Un disturbo alternato di periodo T_D produce il massimo effetto se $T_C = (2k+1)T_D/2$



Un disturbo impulsivo di area A produce un effetto pari ad A/T_C





Convertitore a doppia rampa (a integrazione)

Reiezione dei disturbi alla frequenza di rete (50 Hz)

In questo caso $T_D = 20$ ms, per cui la reiezione del disturbo si ottiene con un intervallo di integrazione minimo pari a 20 ms (altre possibilità $T_C = 40$ ms, 60 ms, 80 ms, ...)

↳ Nella maggior parte degli strumenti numerici basati su convertitori a integrazione, l'intervallo di integrazione è impostabile come numero di periodi della tensione di rete (o **NPLC: Number of Power Line Cycle**)

ESEMPIO: NPLC = 10, $f = 50$ Hz

$$\hookrightarrow T_C = 10 \cdot 1/f = 10 \cdot 20 \text{ ms} = 200 \text{ ms}$$



Convertitore a doppia rampa (a integrazione)

Riduzione del tempo di misurazione

La reiezione dei disturbi alla frequenza di rete impone il minimo intervallo di integrazione: $T_C = 20$ ms (NPLC = 1).

La reiezione dei disturbi impulsivi è tanto maggiore quanto più elevato è l'intervallo di integrazione: ad esempio $T_C = 200$ ms (NPLC = 10)

↳ Se $V_X = P$, il tempo di misurazione vale 400 ms!

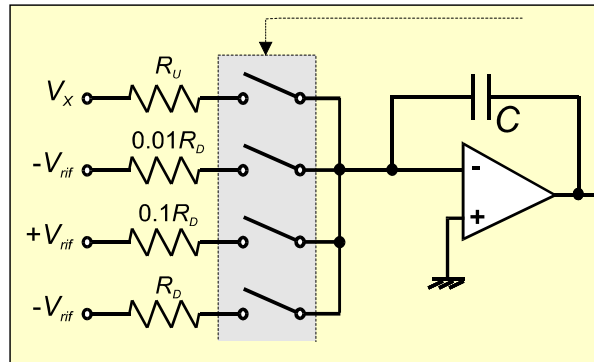
Il tempo di misurazione può essere ridotto agendo sull'intervallo di *run-down*

↳ la reiezione ai disturbi rimane inalterata

Convertitore multi-rampa (*multislope*)

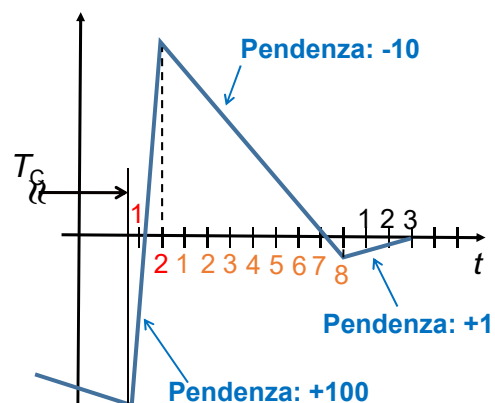
Versione evoluta del convertitore a doppia rampa:

- Fase di *run-up*: non cambia
- Fase di *run-down*: sequenza di rampe di scarica a pendenza decrescente



Convertitore multi-rampa (*multislope*)

Fase di run-down

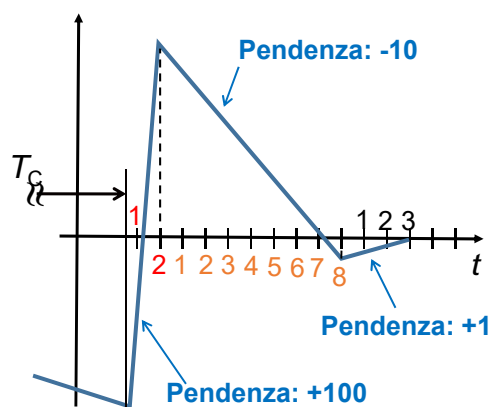


$$N_x = ?$$



Convertitore multi-rampa (*multislope*)

Fase di run-down



$$N_1 = 2 \rightarrow 2 \times 100 = 200$$

$$N_2 = 8 \rightarrow 8 \times (-10) = -80$$

$$N_3 = 3 \rightarrow 3 \times 1 = 3$$

$$N_x = 123$$

Conteggio effettuato in un
tempo pari a $13 \cdot t_c$