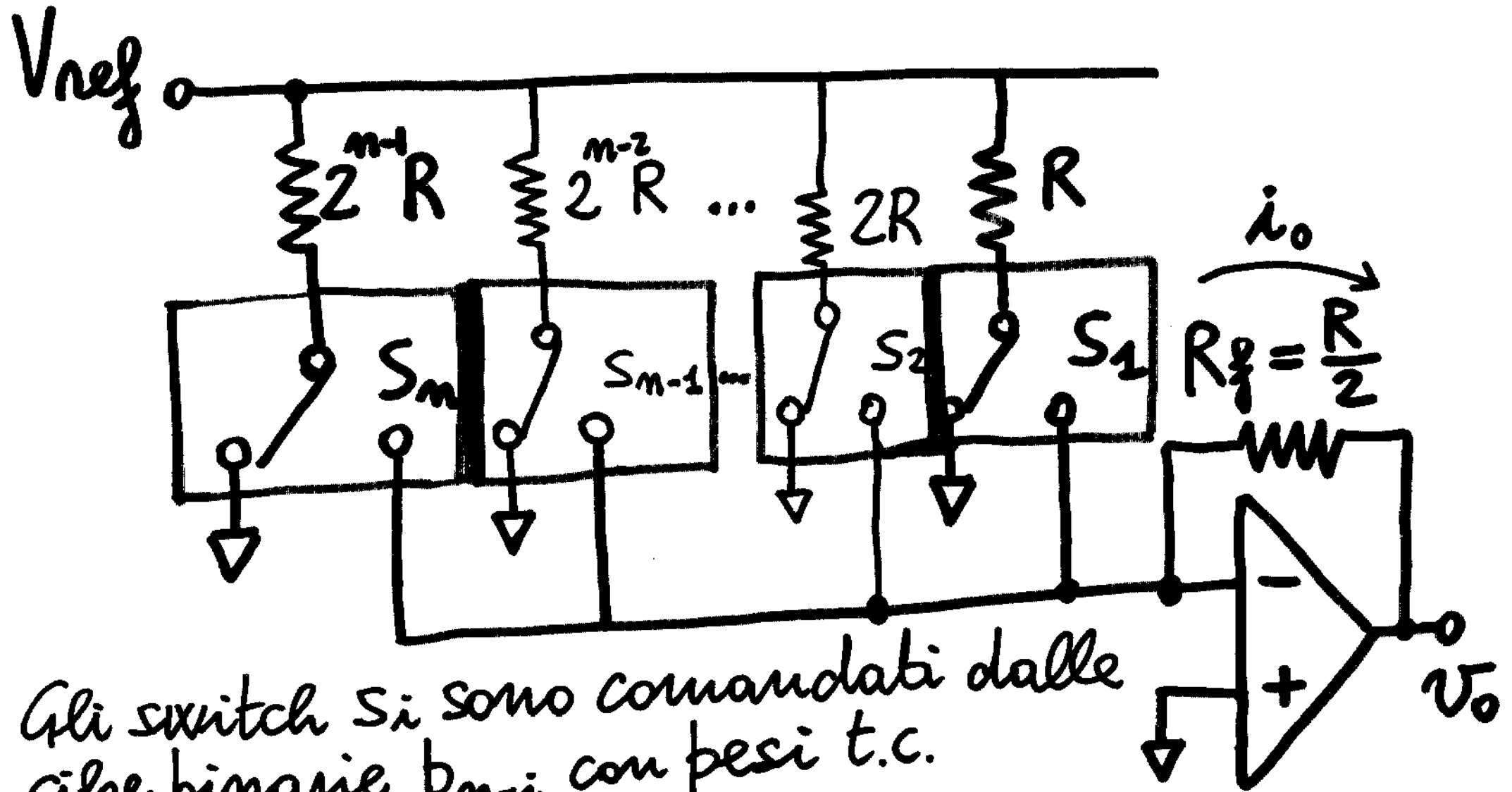


LEZ. 13 e 14

CONVERTITORE D/A A RETE DI R.

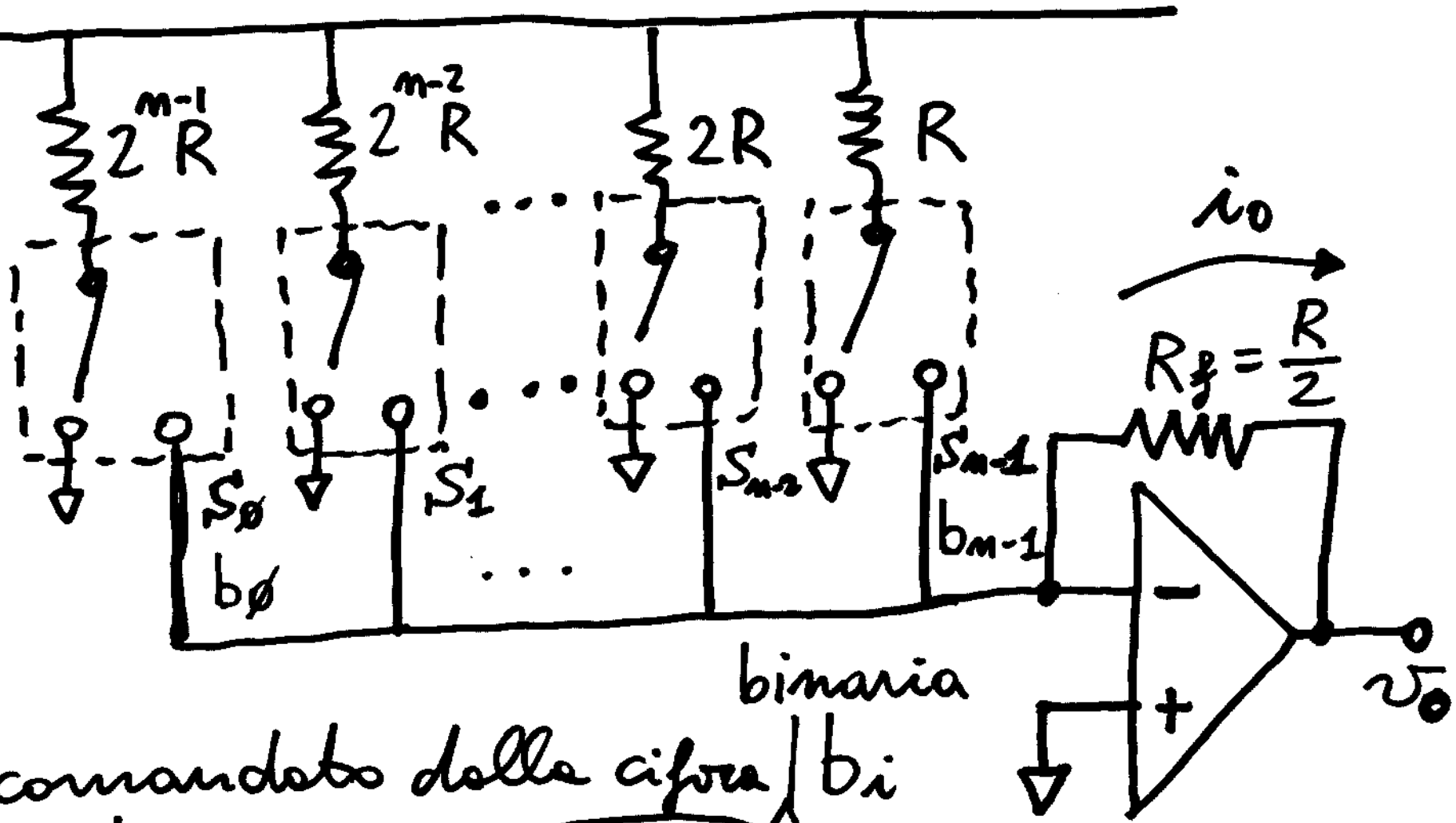


Gli switch S_i sono comandati dalle cifre binarie b_{m-i} con pesi t.c.

LSB = b_0 Least Significant Bit

MSB = b_{m-1} Most Significant Bit

Le correnti pesate sono $i_i = \frac{V_{ref}}{2^{n-1-i}R} = 2^i i_{min}$
 con $i_{min} = \frac{V_{ref}}{R}$ e $i = 0, 1, \dots, n-1$ (i bit)



S_i è comandato dalla cifra b_i

LSB = b_0

MSB = b_{n-1}

n bit

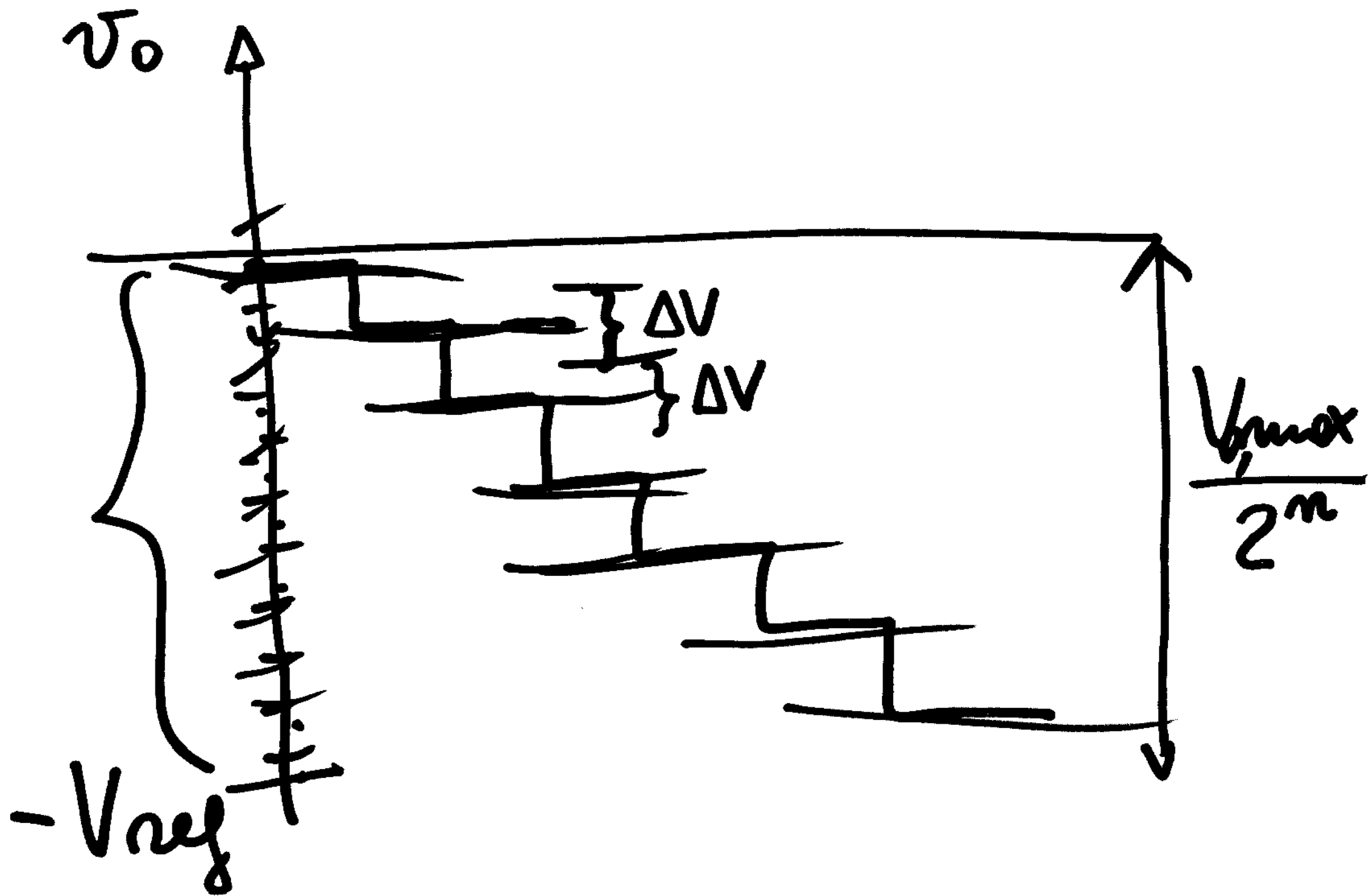
$$i_0 = \frac{V_{ref}}{R} \left(\frac{b_0 + 2b_1 + \dots + 2^{n-2}b_{n-2} + 2^{n-1}b_{n-1}}{2^{n-1}} \right)$$

$$V_0 = -R_f i_0 = -\frac{V_{ref}}{2^n} \left(\overset{\text{NUMERO BINARIO}}{b_0 + 2b_1 + \dots + 2^{n-1}b_{n-1}} \right)$$

\uparrow VALORE ANALOGICO $\uparrow \quad \uparrow \quad \dots \quad \uparrow$ VALORE NUMERICO

L'accuratezza del DAC dipende da V_{ref} , dalle R_i e dalla qualità degli switch

I valori di tensione analogica V_0 in uscita, provenendo da campioni digitali a n bit, hanno incertezza $\mu(V_0) = \frac{V_{0,max}/2^n}{\sqrt{12}}$



VOLTMETRI

DVM e DMM \Rightarrow display

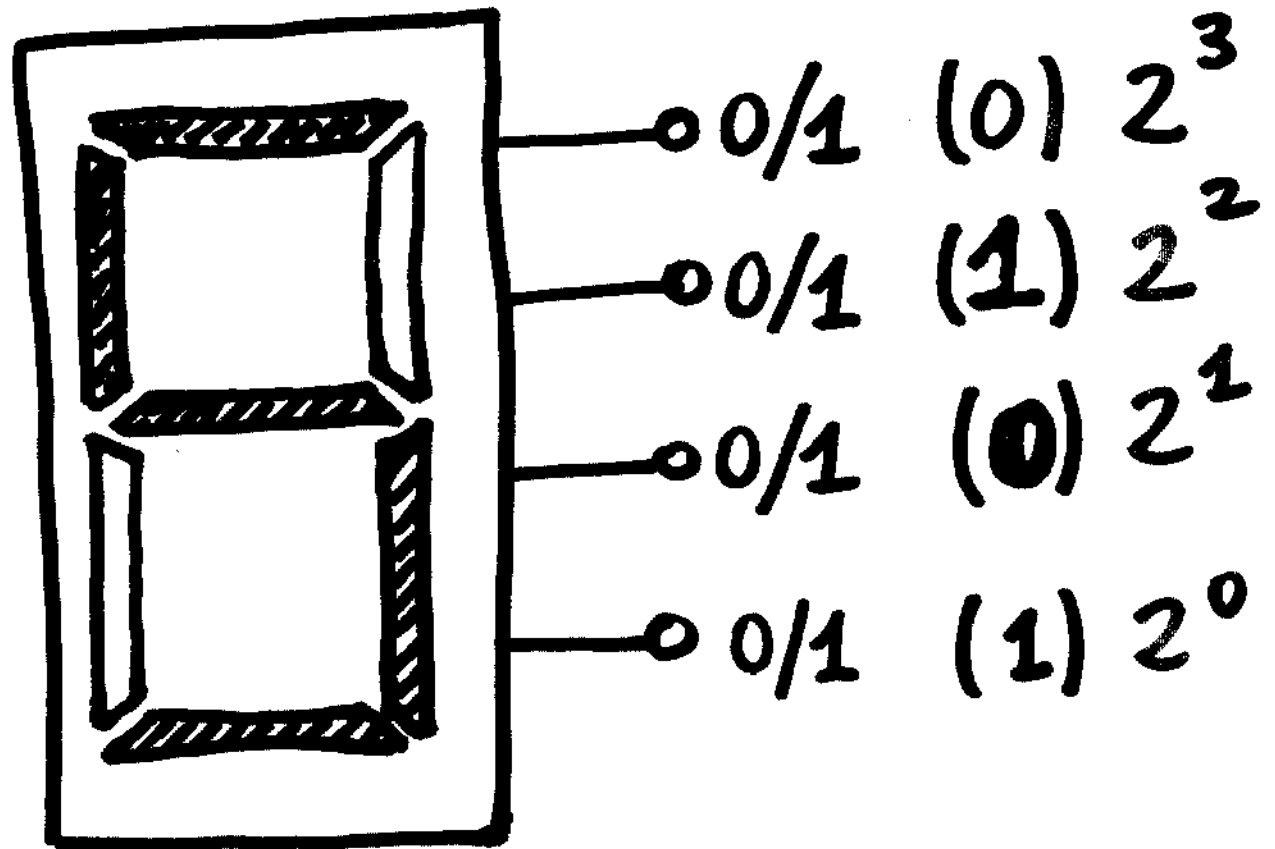
CARATTERISTICHE: numero di campi (range) di misura, numero di cifre/bit (num. livelli) \leadsto RISOLUZIONE, ACCURATEZZA, Velocità di lettura, reiezione al rumore di modo differenziale e al rumore di modo comune

USCITA DIGITALE

BCD (Binary Coded Decimal) a 4 linee

DISPLAY a 7 segmenti

uscita
digitale
pari
a 5



Voltmetri $\begin{cases} \text{DIFFERENZIALI} & V_x - KV_{ref} \approx 0 \\ \text{INTEGRATORI} & \text{mediano } V_x \end{cases}$

OP-AMP come COMPARATORE o INTEGRATORE

RISOLUZIONE $\begin{cases} \text{dimensionale } \Delta \\ \text{adimensionale } \delta \end{cases}$

$$\Delta = \frac{P}{N_{max}} = \frac{\text{portata}}{n^{\circ} \text{livelli}}$$

$$\delta = \frac{1}{N_{max}} \left[\begin{array}{l} \text{"parti per..."} \\ \text{e.g. } 1 \times 10^{-4} \\ \text{con } N_{max} = 10000 \end{array} \right] \left[\begin{array}{l} \delta = \log_{10}(N_{max}) \\ \text{"cifre" e.g. 5} \\ \text{con } N_{max} = 99999 \end{array} \right]$$

m cifre decimali

$$N = 10^m$$

m bit

$$N = 2^m$$

Prestazioni dei voltmetri

[letture/s] [1/accuracy level]

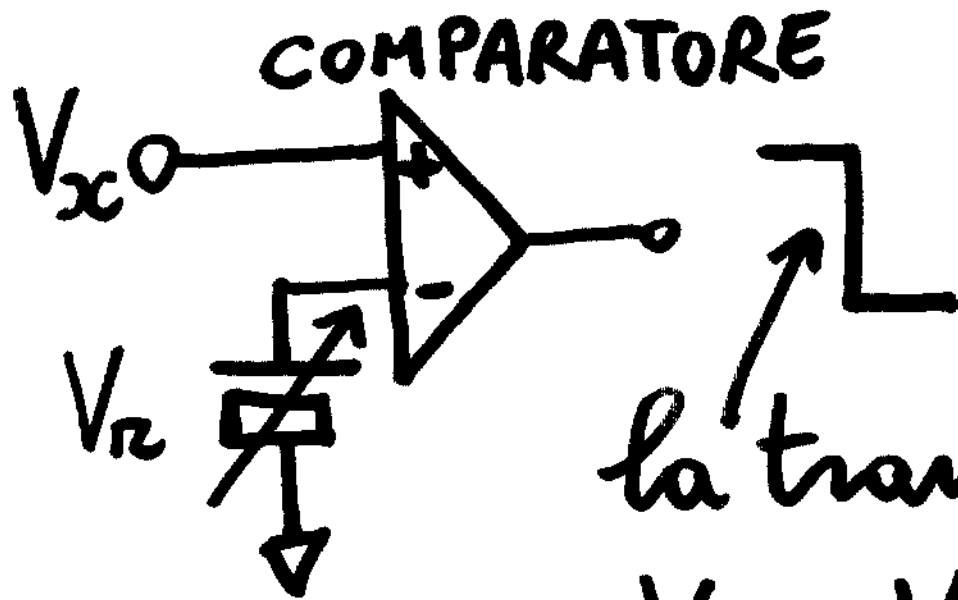
Velocità \times Accuratezza \sim costante

alta	—	bassa	(flash a 8 bit)
media	—	media	(approssimazioni successive 10-12 bit)
bassa	—	alta	(integratori a 16-18 bit)

VOLTMETRI DIFFERENZIALI

- Effettuano la misura di una tensione incognita V_x mediante il confronto con una tensione di riferimento V_r generata internamente allo strumento
- V_r è una tensione di riferimento **VARIABILE** e per generarla si ricorre al **RIFERIMENTO INTERNO** dello strumento che è una tensione V_0 di elevata precisione e stabilità

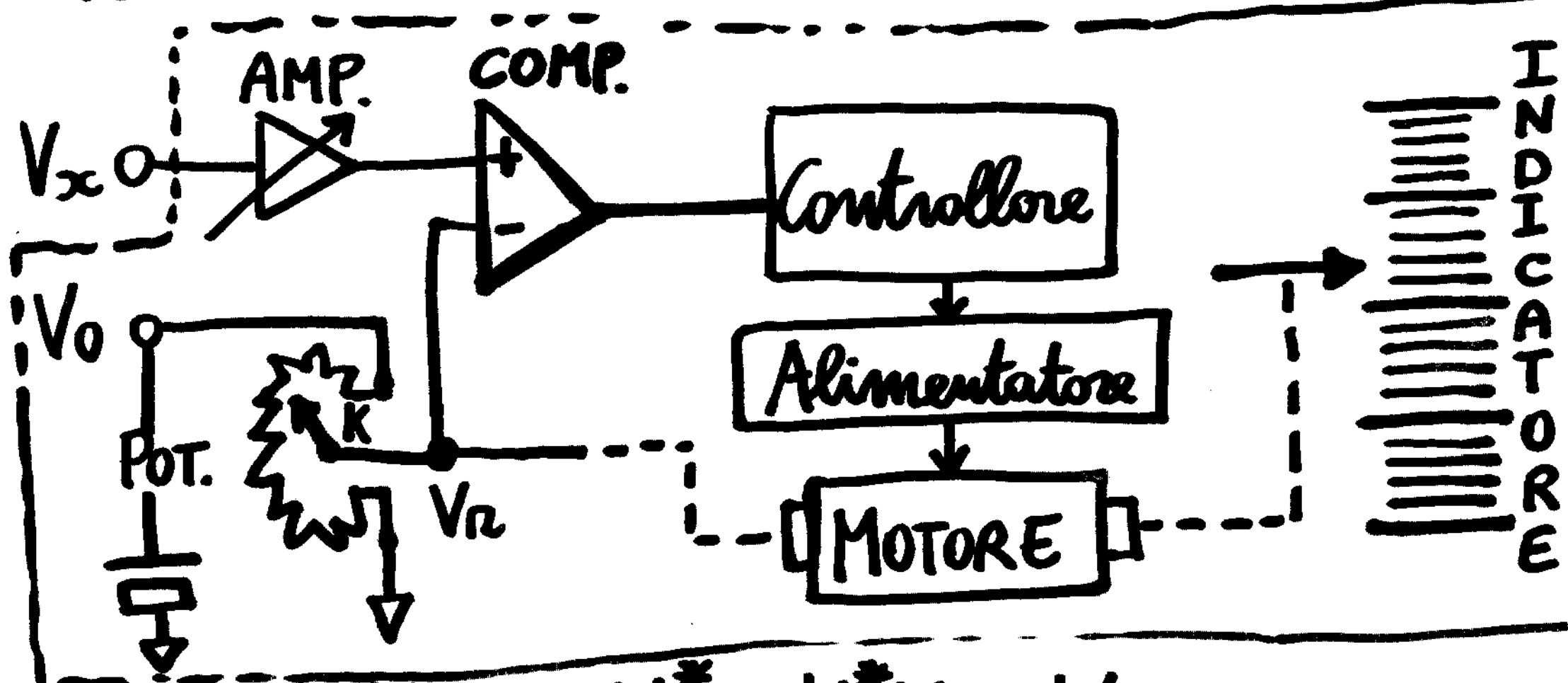
Schema di principio di un voltmetro differenziale



la transizione avviene per
 $V_n = V_n^* = V_x$

- V_n viene variata da $V_{x,min}$ a $V_{x,max}$ e si registra la V_n^* per cui l'uscita del comparatore scatta di livello
- V_n^* viene quindi inviata al display

VOLTMETRO POTENZIOMETRICO



- $V_R = K V_0$ e $V_R^* = K^* V_0 = V_x$

- La risoluzione di misura dipende dalla risoluzione del divisore potenziometrico (passo del motore)

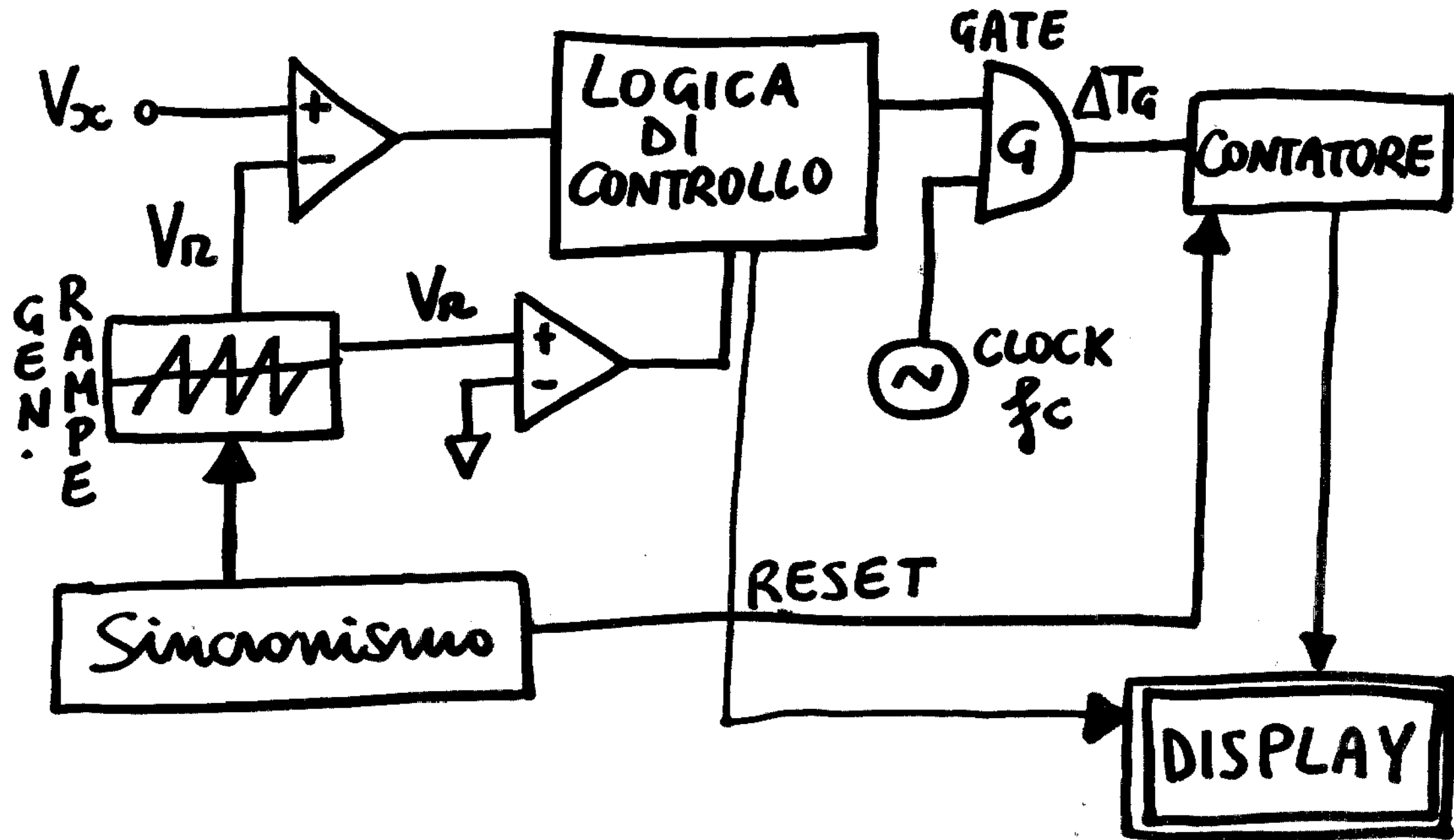
- La sensibilità di misura viene aumentata grazie all'amplificazione in ingresso (AMP.). Questo consente di rivelare segnali V_x deboli con una maggiore insensibilità al rumore del comparatore (COMP.).
- Caratteristiche generali

☹️ risoluzione → bassa (3 cifre)

☹️ velocità → bassa (pochissime letture/s)

😊 costo → molto contenuto (~10 €)

VOLTMETRO A RAMPA ANALOGICA

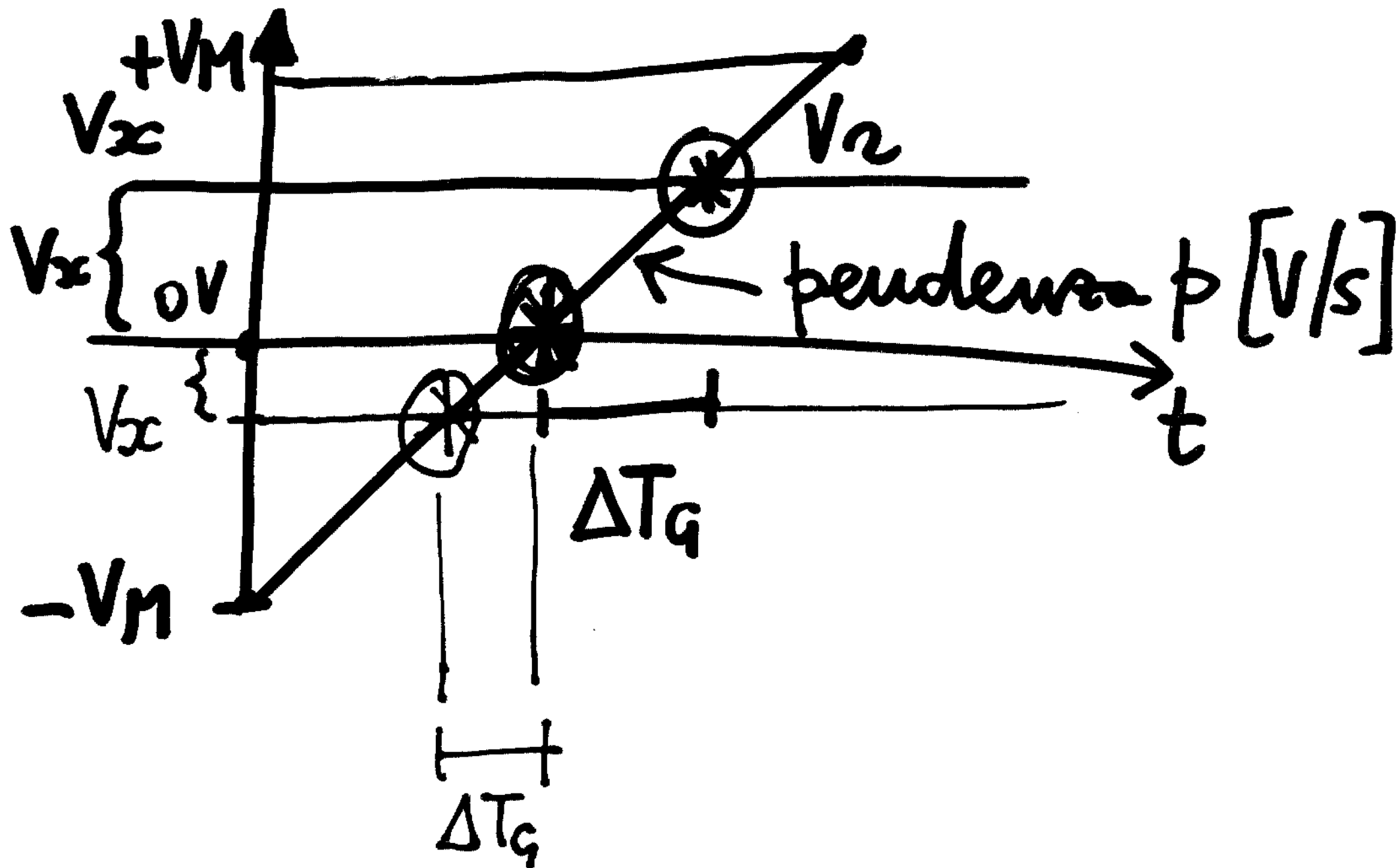


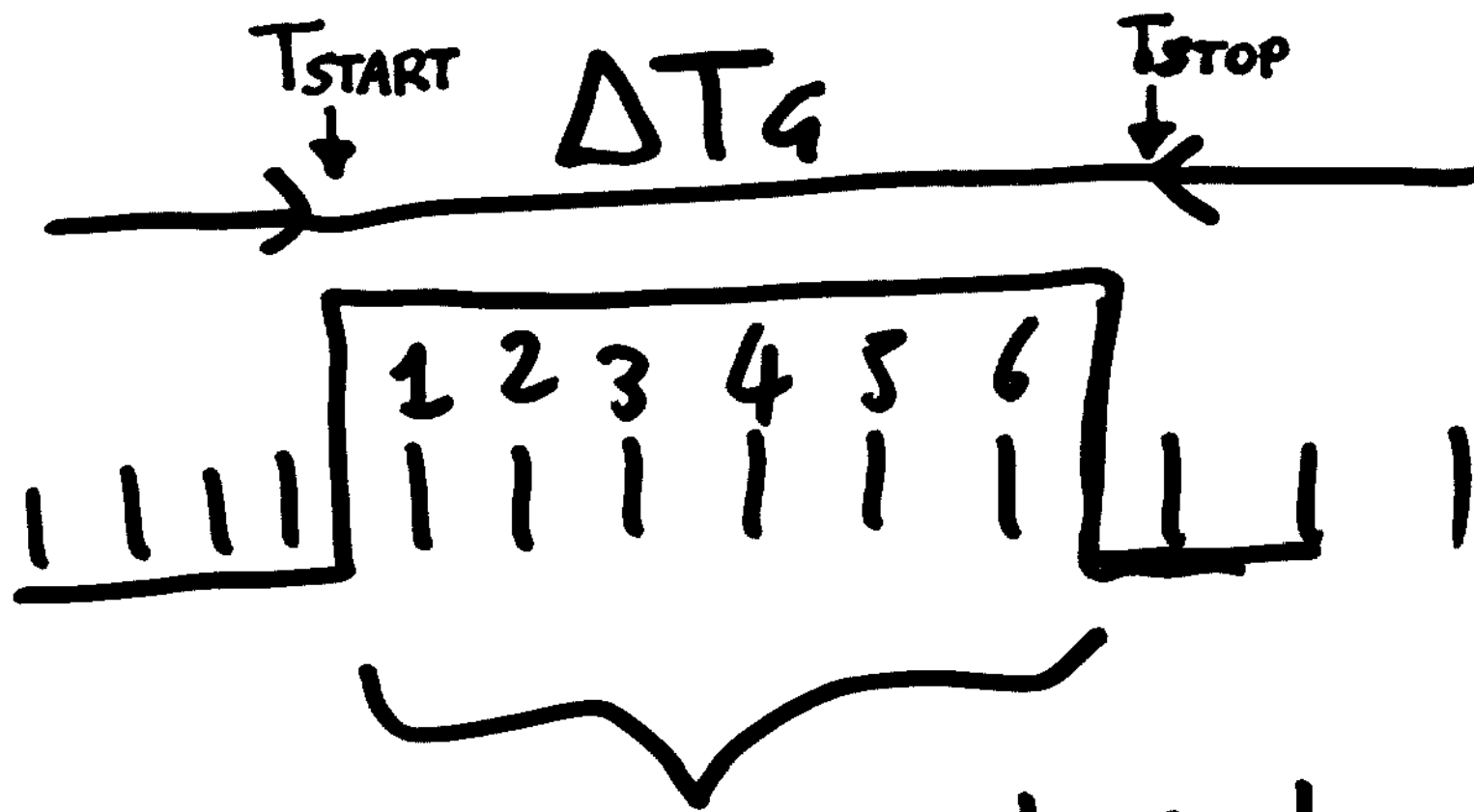
- Si ricava

$$|V_x| = V_M \frac{\overbrace{N_c T_c}^{\Delta T_c}}{T_{rampa}/2}$$

il segno di V_x si deduce da quale comparatore scatta prima

- Accuratezza: dipende dalla linearità della rampa, dalla stabilità del clock (f_c), e da rumore e derivate dei comparatori





$$T_{STOP} - T_{START} = \Delta T_g \propto |V_{\infty}|$$

$\overbrace{\quad\quad\quad}^{T_c}$
 $\Delta T_g = N_c T_c$
 misure per conteggio

ERRORE ± 1 CONTEGGIO

- Per una lettura con risoluzione $\pi = \frac{1}{N}$, dove N è il massimo numero di conteggi, deve essere $f_c = N f_{rampa} * 2$

- La rampa analogica varia linearmente da $-V_M$ a $+V_M$ con periodo $T_{rampa} = \frac{1}{f_{rampa}}$

$$\Delta T_G = N_c T_c = \left| \frac{V_x}{p} \right|$$

dove p è la pendenza della rampa analogica $[V/s]$ ossia $p = \frac{2V_M}{T_{rampa}}$

$$\eta = \sigma = \frac{1}{N} = \left(\frac{T_{\text{rampa}}/2}{T_c} \right)^{-1} = \left(\frac{f_c}{2f_{\text{rampa}}} \right)^{-1}$$