

Simteri di un circuito ADC

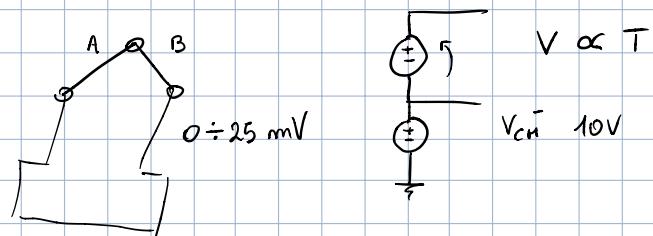
Obiettivo: misurare la temperatura $0^\circ\text{C} \leftrightarrow 450^\circ\text{C}$
con una risoluzione (distanza) = $0,5^\circ\text{C}$

Risoluzione: concetto legato alle variazioni

Accuratezza: valore assoluto

Precisione: dispersione dei valori sul numero di misurazioni

Usciamo la TERMOCOPIA come sensore, giunzione di due metalli che, per effetto Seebeck, si crea una DDP tra i metalli in funzione della temperatura.



$0 \div 25 \text{ mV}$ corrispondente all'intervallo $0 \div 450^\circ\text{C}$

i) Convertiamo l'intervallo

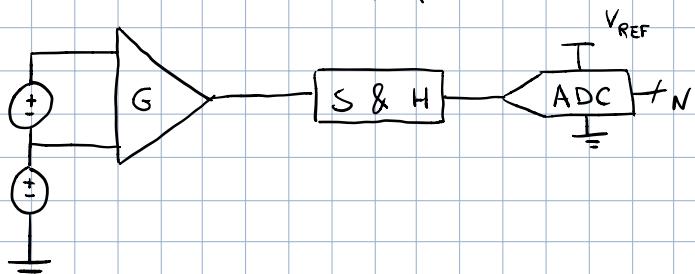
$$S = \frac{25 \text{ mV}}{450^\circ\text{C}} \Rightarrow \text{sensibilità, guadagno di } 55 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$$

$$\Delta T = 0,5^\circ\text{C}$$

$$\Delta V = \Delta T \cdot S = 27,5 \mu\text{V} \text{ di risoluzione}$$

Struttura della catena di acquisizione:

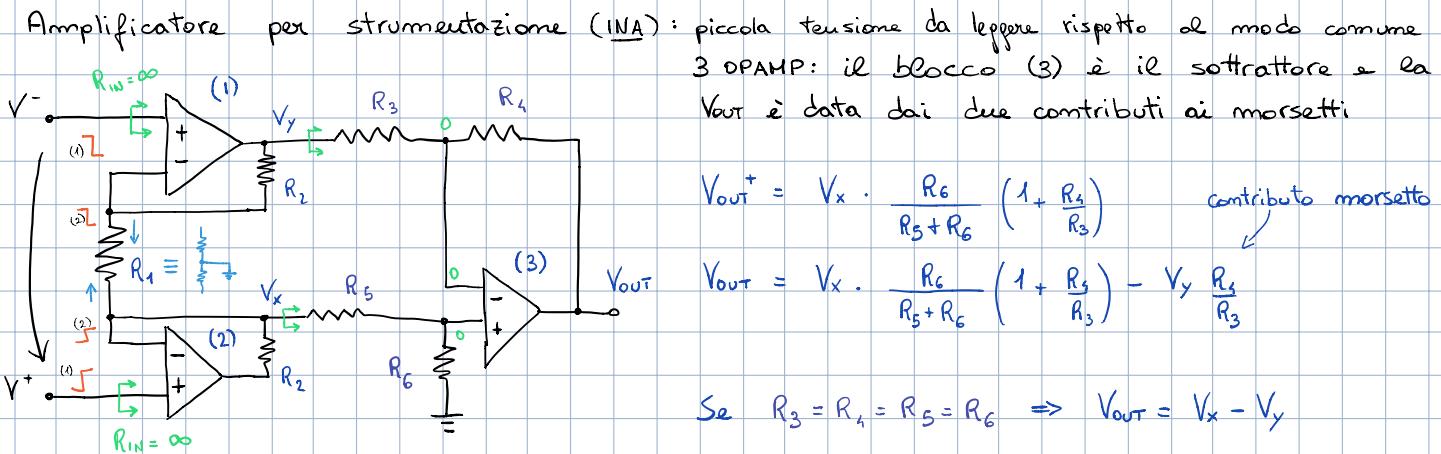
- con circuito di amplificazione



con mezzo grado di risoluzione avrò bisogno di un fondo scala
di $900^\circ\text{C} \Rightarrow N = \lceil \log_2(900) \rceil = 10 \text{ bit}$

10 bit potrei usare il FLASH ma non mi serve elevata velocità, scelgo il SAR (ma anche il tracking andrebbe bene)

2) Il guadagno dovrà leggere una tensione differenziale ed essere immune alle variazioni di CM



$$V_{out}^+ = V_x \cdot \frac{R_6}{R_5 + R_6} \left(1 + \frac{R_4}{R_3} \right) \quad \text{contributo morsetto } +$$

$$V_{out}^- = V_x \cdot \frac{R_6}{R_5 + R_6} \left(1 + \frac{R_4}{R_3} \right) - V_y \frac{R_5}{R_3}$$

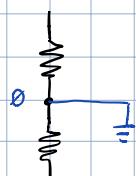
$$\text{Se } R_3 = R_4 = R_5 = R_6 \Rightarrow V_{out} = V_x - V_y$$

Perché aggiungo anche (1) e (2)? Il guadagno posso ottenerlo modificando le R del sottrattore ma li inserisco per la resistenza all'impresso: un OPAMP che fa da lettore di tensione deve presentare una R_{in} più alta possibile; V_y e V_x non vedono $R_{in} = \infty$ ma i due stadi (1) e (2) sì e, visto che ho 2 OPAMP, posso far guadagnare il segnale.

Immaginiamo che il segnale differenziale sia la somma di 2 generatori verso massa, ciascuno dei quali è la somma di V_{ch} (costante) e un termine differenziale ($V_{diff}/2$ e $-V_{diff}/2$) — questo permette di studiare meglio l'INA col PSE.

Dall'uscita, tramite R_2 , torna al - e alza la tensione dell'invertente: ai capi della R_1 si trova un morsetto che sole di $\frac{V_d}{2}$ e uno che scende di $\frac{V_d}{2}$ ⇒ per motivi di simmetria il baricentro della R_1 non si muove. Posso scriverla come serie di $R_{1/2}$ e $R_{1/2}$ e l'effetto è che la giunzione delle due è un modo che rimane a zero ⇒ terra virtuale

Possiamo calcolare il guadagno dagli ingressi a V_x e V_y



$$V_y = 1 + \frac{R_2}{R_{1/2}}, \quad V_x = 1 + \frac{R_2}{R_{1/2}}$$

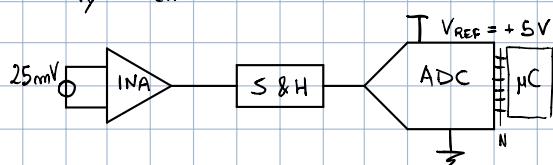
$$V_{out} = V_x - V_y = \frac{V_d}{2} \left(1 + \frac{R_2}{R_{1/2}} \right) - \left(-\frac{V_d}{2} \right) \left(1 + \frac{R_2}{R_{1/2}} \right) = \underbrace{V_d \left(1 + \frac{R_2}{R_{1/2}} \right)}_{G_{diff}}$$

Guardo uno stimolo di tensione $\frac{V_{ch}}{2}$ ai due morsetti e calcolo il guadagno di modo comune:

• si alzano + e - per retroazione ⇒ ai capi di R_1 la DDP è 0 ⇒ non passa corrente

$$V_x = V_{ch} \quad V_{out} = V_x - V_y = 0 \Rightarrow G_{ch} = 0$$

$$V_y = V_{ch}$$



Adesso dimensioniamo il guadagno dell'INA:

$$G = \frac{5V}{25mV} = 200 = \left(1 + \frac{R_2}{R_{1/2}} \right)$$

$$R_{1/2} = 1k\Omega$$

$$R_2 = 188k\Omega$$

V_{out} sarà somma di $V_{diff} \cdot G_{diff}$ e $G_{ch} \cdot V_{ch}$, nel caso ideale $G_{ch} = 0$, nel reale è diverso da zero e il CMRR = $\frac{G_{diff}}{G_{ch}}$ è una proprietà dell'INA; calcoliamo quanto ci serve di CMRR:

$$V_{out} = G_d \cdot V_d + G_{ch} \cdot V_{ch} = G_{diff} \left(V_{diff} + \frac{G_{ch} \cdot V_{ch}}{G_{diff}} \right) = G_{diff} \left(V_{diff} + \frac{1}{CMRR} V_{ch} \right)$$

Minima variazione di tensione α
 $\alpha = \frac{25\mu V}{27.5\mu V}$ con $\alpha < 1$ per non avere un errore di um LSB

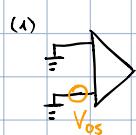
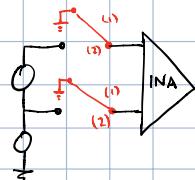
$$\text{Prendiamo come riferimento la risoluzione in tensione } 27.5\mu V \Rightarrow \text{CMRR} = \frac{10V}{25\mu V} = 4 \cdot 10^5 \text{ (112 dB)}$$

• OFFSET (che impatta sull'accuratezza)

— Ascoltare —

Nel caso reale anche se $V_{diff} = 0$, $V_{out} \neq 0V$. Quel è l'OFFSET accettabile? Il V_{os} si confronta direttamente col V_{diff} e deve essere $V_{os} \ll 27,5 \mu V$. Non esiste un'INA con V_{os} così basso ma di $\sim 1 mV$ ed esistono tecniche per ridurlo. La più semplice è quella di doppia misura: prima misuro solo V_{os} e poi lo sottraggo da V_{out} .

Interporre un deviatore tra INA e sensore:



In (1) misuro solo V_{os} e in fase (2) vi collego V_{diff} , poi sottrarrò V_{os} da V_{out} . L'unico svantaggio è che metà del tempo di campionamento la dedicherò alla misura dell'offset.

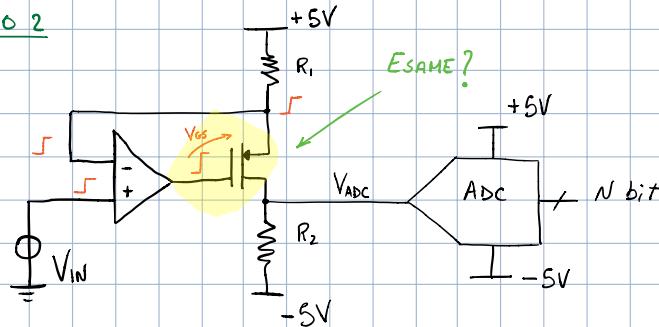
Nel contesto di misure molto veloci è un problema, ma poiché qui la misura varia in molto tempo è accettabile dedicare qualche μs alla misura dell'OFFSET. I dati dell'OFFSET al giorno d'oggi vengono memorizzati in un microcontrollore che poi si occupa di sottrarre.

CONSIDERAZIONI SULL'ALIMENTAZIONE

Immaginiamo che la corrente all'INA sia di 20mA e all'ADC di 20mA, come alimento il sensore? Posso alimentarlo con un pannello solare?

La $P_{Diss,Tot} = (20 \text{ mA} + 20 \text{ mA}) \cdot 5V = 200 \text{ mW}$, la radiazione solare è $\sim 1 \text{ kW/m}^2$ e l'efficienza del pannello solare è, solitamente, $\eta_{ps} \approx 10\%$. \Rightarrow potenza solare 100 W/m^2 . Vogliamo un'area di $\frac{0,2 \text{ W}}{100 \text{ W/m}^2}$ cioè $0,002 \text{ m}^2 \Rightarrow$ un quadrato di 5,4 cm di pannello solare

ESERCIZIO 2



$$k = 1 \text{ mA/V}^2 \quad V_T = 0,5 \text{ V}$$

$$R_1 = 500 \Omega \quad R_2 = 1 \text{ k}\Omega$$

$$V_{IN} = 2 \div 4 \text{ V}$$

$$\text{ADC: } - f_{CK} = 50 \text{ MHz}$$

- SAR

$$- C_{IN} = 100 \text{ pF}$$

Il circuito è particolare perché c'è un transistor nello

retroazione: usiamo le solite considerazioni per gli OPAMP facendo attenzione al rumore d'audata

a) N bit per una risoluzione di 1mV sulla V_{IN} : qual è il guadagno sull'ADC?

con un Gloop infinito, il modo - requirà il + e $G_{ID} = \frac{V_{ADC}}{V_{IN}}$

$$I = \frac{5V - V_{IN}}{R_1}$$

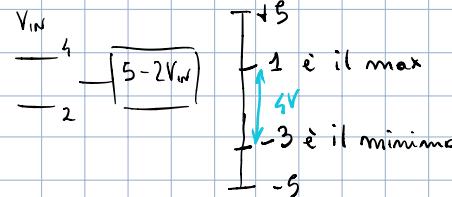
$$V_{ADC} = -5V + R_2 I = -5V + R_2 \left(\frac{5V - V_{IN}}{R_1} \right)$$

$$V_{ADC} = -5V + 10V - 2V_{IN} = +5V - 2V_{IN}$$

Trasferimento sull'ADC:

→ amplificato ×2 e traslato di +5V

Segnale → guadagno 2
Corrente → costante +5



Il guadagno mom è ottimizzato perché mom sfrutta tutto il fondoscala.

N bit: $\Delta V = 1 \text{ mV}$ viene amplificato di 2

$$\Rightarrow \text{LSB}_{\text{ADC}} = 2 \cdot \text{LSB}_{V_{\text{IN}}} = 2 \cdot 1 \text{ mV} = \frac{\text{FSR}}{2^N} = \frac{10 \text{ V}}{2^N}$$

$$N = \left\lceil \log_2 \left(\frac{10 \text{ V}}{2 \text{ mV}} \right) \right\rceil = 13 \text{ bit}$$