

## Quesito 4 – Progettazione del sistema di misura della posizione angolare dei vassoi

Si analizzi il sistema illustrato nella **Figura 5**, utilizzato per misurare la **posizione angolare** di ciascun vassoio, in rotazione attorno al punto D (vedi Figura 1).

Il sistema è composto dai seguenti elementi:

- **Sensore di posizione angolare S** con uscita analogica.
- **Blocco di condizionamento c1** (posto vicino al sensore).
- **Cavo di collegamento** tra c1 e un secondo blocco di condizionamento.
- **Blocco di condizionamento c2** (posto all'ingresso di un ADC).
- **Sistema di elaborazione digitale** dei campioni acquisiti (Processing).

Caratteristiche dei componenti:

- Il sensore S è lineare, con:
  - **Intervallo di ingresso:**  $[0^\circ, 180^\circ]$
  - **Offset**  $V_0 = -0,2 \text{ V}$
  - **Sensibilità:**  $4 \text{ mV/}^\circ$
- Il blocco c1 esegue un adattamento di scala:
  - **Offset**  $V_{10}$
  - **Guadagno**  $k_1$
- Il blocco c2 esegue un secondo adattamento di scala:
  - **Offset**  $V_{20}$
  - **Guadagno**  $k_2$
  - **Input range:**  $[0 \text{ V}, 4 \text{ V}]$

- L'ADC ha:
    - Intervallo di ingresso:  $[-8\text{ V}, +8\text{ V}]$
    - Risoluzione:  $B = 8\text{ bit}$
- 

**Richieste:**

1. Determinare l'intervallo di uscita del sensore  $S$ .
2. Determinare i valori ottimali di  $k_1$  e  $V_{10}$ .
3. Determinare i valori ottimali di  $k_2$  e  $V_{20}$ .
4. Determinare la risoluzione dell'ADC.
5. Determinare la risoluzione del sensore.
6. Scrivere la formula matematica che l'elaboratore (P) deve applicare ai campioni digitalizzati  $v_D$  per ottenere i corrispondenti valori angolari stimati  $x_D$ .
7. Disegnare un diagramma angolo-tempo relativo a una procedura di test/calibrazione in cui:
  - Il vassoio ruota da  $30^\circ$  a  $150^\circ$  e ritorna a  $30^\circ$  con velocità costante di  $\pm 40^\circ/\text{s}$ .
  - Si ferma per 1 s alle posizioni  $30^\circ$ ,  $90^\circ$  e  $150^\circ$ .
  - L'intera sequenza si ripete 3 volte.
8. Determinare il numero di campioni acquisiti durante un ciclo completo (andata e ritorno) considerando una frequenza di campionamento dell'ADC pari a 20 campioni al secondo (20 S/s).

## 1. Intervallo di uscita del sensore $S$

Il sensore è lineare con:

- Intervallo di ingresso:  $[0^\circ, 180^\circ]$
- Sensibilità:  $4 \text{ mV}/^\circ = 0,004 \text{ V}/^\circ$
- Offset:  $V_0 = -0,2 \text{ V}$

Formula dell'uscita:

$$V_{\text{out}} = V_0 + \text{sensibilità} \times \theta$$

Valori estremi:

- Per  $\theta = 0^\circ$ :  $V_{\text{out}} = -0,2 \text{ V}$
- Per  $\theta = 180^\circ$ :  $V_{\text{out}} = -0,2 + 0,004 \times 180 = -0,2 + 0,72 = 0,52 \text{ V}$

**Risultato:**

L'intervallo di uscita del sensore è  $[-0,2 \text{ V}, 0,52 \text{ V}]$

## 2. Valori ottimali di $k_1$ e $V_{10}$

Obiettivo: trasformare l'intervallo  $[-0,2, 0,52]$  V in  $[0, 4]$  V per l'ingresso del blocco  $c_2$ .

Trasformazione affine:

$$V_1 = k_1 \cdot V_S + V_{10}$$

Condizioni:

$$\begin{cases} V_S = -0,2 \rightarrow V_1 = 0 \\ V_S = 0,52 \rightarrow V_1 = 4 \end{cases}$$

Sistema:

$$\begin{cases} 0 = k_1 \cdot (-0,2) + V_{10} \\ 4 = k_1 \cdot 0,52 + V_{10} \end{cases}$$

Risoluzione:

- Dalla prima equazione:  $V_{10} = 0,2k_1$
- Sostituisco nella seconda:

$$4 = 0,52k_1 + 0,2k_1 = 0,72k_1 \Rightarrow k_1 = \frac{4}{0,72} = \frac{100}{18} \approx 5,56$$

$$V_{10} = 0,2 \cdot 5,56 \approx 1,11 \text{ V}$$

**Risultato:**

$$k_1 \approx 5,56, V_{10} \approx 1,11 \text{ V}$$

### 3. Valori ottimali di $k_2$ e $V_{20}$

Obiettivo: trasformare l'intervallo  $[0, 4] \text{ V}$  in  $[-8, 8] \text{ V}$ , range dell'ADC.

Formula:

$$V_2 = k_2 \cdot V_1 + V_{20}$$

Condizioni:

$$\begin{cases} V_1 = 0 \rightarrow V_2 = -8 \\ V_1 = 4 \rightarrow V_2 = 8 \end{cases}$$

Sistema:

$$\begin{cases} -8 = 0 \cdot k_2 + V_{20} \rightarrow V_{20} = -8 \\ 8 = 4 \cdot k_2 - 8 \rightarrow 16 = 4k_2 \rightarrow k_2 = 4 \end{cases}$$

Risultato:

$$k_2 = 4, V_{20} = -8 \text{ V}$$

#### 4. Risoluzione dell'ADC

Risoluzione:

$$\text{Risoluzione} = \frac{\text{Intervallo}}{2^B} = \frac{16 \text{ V}}{256} = 0,0625 \text{ V} = 62,5 \text{ mV}$$

**Risultato:**

Risoluzione ADC: 62,5 mV

---

#### 5. Risoluzione del sensore

Sensibilità: 0,004 V/°

Ris. ADC: 0,0625 V

Corrisponde a:

$$\frac{0,0625}{0,004} = 15,625^\circ$$

Ma attenzione: questo è il passo equivalente all'**uscita diretta del sensore**, non a valle dei blocchi di condizionamento. Dato che l'intera catena è progettata per sfruttare tutta la gamma dell'ADC, la risoluzione angolare effettiva può essere ricavata da:

Intervallo angolare: 180°

Numero livelli ADC: 256

$$\text{Risoluzione angolare} = \frac{180}{256} \approx 0,703^\circ$$

**Risultato:**

Risoluzione del sensore (sistema completo): circa 0,703°

## 6. Formula per ottenere $x_D$ da $v_D$

Catena inversa:

- $v_D = V_2 = k_2 \cdot (k_1 V_S + V_{10}) + V_{20}$
- Invertire fino a  $\theta$

Ricaviamo:

1.  $V_S = \frac{v_D - V_{20}}{k_2} - V_{10}$  diviso  $k_1$

$$V_S = \frac{1}{k_1} \left( \frac{v_D - V_{20}}{k_2} - V_{10} \right)$$

2. Poi da  $V_S = -0,2 + 0,004 \cdot \theta$  si ottiene:

$$\theta = \frac{V_S + 0,2}{0,004}$$

Componendo:

$$x_D = \frac{1}{0,004} \left[ \frac{1}{k_1} \left( \frac{v_D - V_{20}}{k_2} - V_{10} \right) + 0,2 \right]$$

**Risultato:**

$$x_D = \frac{1}{0,004} \left[ \frac{1}{k_1} \left( \frac{v_D - V_{20}}{k_2} - V_{10} \right) + 0,2 \right]$$

---

## 7. Diagramma angolo-tempo del ciclo di test

Sequenza:

- Da  $30^\circ$  a  $150^\circ$  a  $40^\circ/\text{s}$  → durata:  $\frac{120^\circ}{40^\circ/\text{s}} = 3 \text{ s}$
- Da  $150^\circ$  a  $30^\circ$  → altri 3 s
- Fermate di 1 s a  $30^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $150^\circ$  (sia in andata che ritorno)
- Totale fasi statiche per andata: 3 s
- Totale fasi statiche per ritorno: 3 s
- Totale:  $3 + 3 + 3 + 3 = 12 \text{ s}$  per un ciclo

Tre cicli:  $3 \times 12 = 36 \text{ s}$

Il grafico è un'onda trapezoidale (avanti e indietro), con rampe lineari da  $30^\circ$  a  $150^\circ$  e fermate piatte ai punti chiave.

---

## 8. Numero di campioni acquisiti in un ciclo

Campionamento:  $R_S = 20 \text{ S/s}$

Un ciclo completo: 12 s

Campioni per ciclo:

$$N = R_S \cdot T = 20 \cdot 12 = 240$$

**Risultato:**

Numero di campioni per un percorso andata e ritorno: **240**