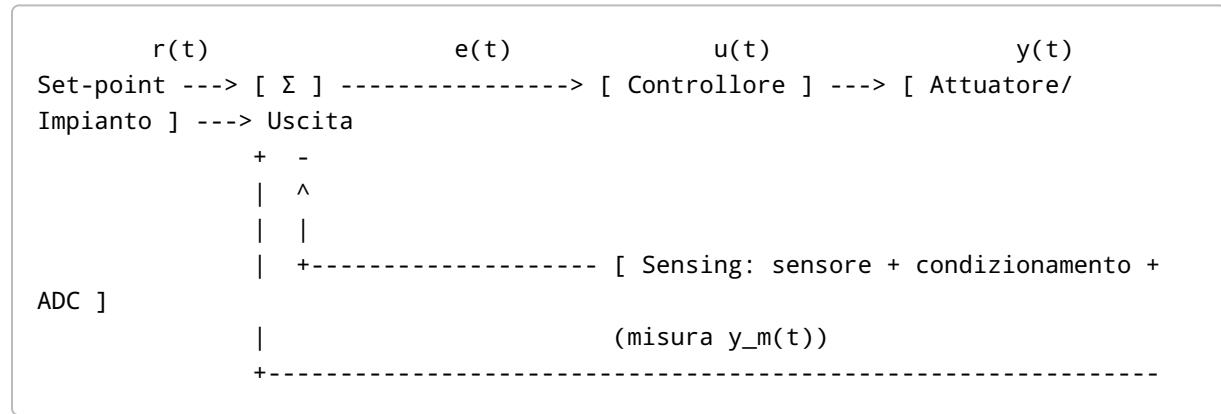


Soluzione guidata (ITS Meccatronico) – Prova A

Riferimento: filecrite turn0file0

1) Schema di un sistema di controllo retroazionato e ruolo del blocco di sensing

1.1 Schema a blocchi (feedback negativo)



- $r(t)$: riferimento (set-point)
- $y(t)$: uscita reale dell'impianto
- $y_m(t)$: uscita misurata (versione "osservata" di $y(t)$)
- $e(t) = r(t) - y_m(t)$: errore

1.2 Posizione e funzione del sensing

Il blocco di sensing si trova **nel ramo di retroazione** e ha lo scopo di: - misurare la grandezza d'uscita (o una grandezza correlata); - convertire la misura in un segnale utilizzabile dal controllore (spesso digitale).

Composizione tipica del sensing: - sensore (trasduttore) che trasforma la grandezza fisica in segnale elettrico; - condizionamento (amplificazione, offset, filtraggio, adattamento d'impedenza); - conversione A/D (campionamento e quantizzazione).

1.3 Importanza del sensing

Il sensing impatta direttamente: - **stabilità**: un errore di misura o un ritardo può ridurre il margine di fase e portare a instabilità; - **accuratezza**: offset, non linearità e rumore degradano la qualità della retroazione; - **banda passante complessiva**: un sensing lento "taglia" le dinamiche veloci, limitando le prestazioni; - **robustezza**: rumore elevato in feedback aumenta l'azione di controllo, con rischio di saturazioni.

2) Larghezza di banda del blocco di condizionamento: definizione e importanza (tempo di salita e rumore)

2.1 Definizione

Per un blocco di condizionamento (tipicamente un filtro/amplificatore) si definisce **larghezza di banda** l'intervallo di frequenze in cui il modulo della risposta in frequenza resta entro un certo limite rispetto al valore a bassa frequenza.

Caso tipico: filtro passa-basso del 1° ordine. - Frequenza di taglio (-3 dB): f_c - Banda utile (in prima approssimazione): $0 \rightarrow f_c$

2.2 Collegamento con la prontezza (tempo di salita)

Per un passa-basso del 1° ordine: - Costante di tempo: τ - Relazione: $f_c = 1 / (2\pi \tau)$ - Tempo di salita (10-90%): $t_r \approx 2.2 \tau$

Quindi: - **banda maggiore** (f_c più alta) $\rightarrow \tau$ più piccola \rightarrow **tempo di salita più breve** (sistema più pronto); - **banda minore** (f_c più bassa) $\rightarrow \tau$ più grande \rightarrow **tempo di salita più lungo** (sistema più lento).

2.3 Collegamento con la riduzione del rumore

Il rumore (specialmente ad alta frequenza) viene attenuato da un passa-basso: - riducendo la banda, si attenuano più componenti rumorose; - aumentando la banda, si lascia passare più rumore.

Trade-off tipico: - **banda alta**: migliore dinamica (misure "rapide") ma più rumore; - **banda bassa**: misura più "pulita" ma più lenta.

Regola pratica in acquisizione: - impostare la banda del condizionamento appena sopra la massima frequenza utile del segnale misurato, evitando di lasciare banda inutile che contiene solo rumore.

3) Ruolo dell'ADC nel sensing: quantizzazione e risoluzione

3.1 Ruolo dell'ADC

L'ADC (Analog-to-Digital Converter) trasforma una tensione analogica $v(t)$ in un numero digitale (codice). Le operazioni fondamentali sono: - **campionamento** nel tempo (sampling) \rightarrow discreto nel tempo; - **quantizzazione** in ampiezza \rightarrow discreto nei livelli.

3.2 Quantizzazione

La quantizzazione assegna a ogni valore di ingresso un livello tra N livelli disponibili. - Ingresso continuo \rightarrow insieme di "gradini" discreti. - L'errore di quantizzazione e_q è tipicamente compreso in: - $e_q \in [-q/2, +q/2]$ dove q è il passo di quantizzazione (LSB).

3.3 Risoluzione

La risoluzione di un ADC ideale è il minimo incremento di tensione distinguibile, pari al passo: - $N = 2^B$ (numero livelli) - Se il range è $[V_{\min}, V_{\max}]$, allora: - $q = (V_{\max} - V_{\min}) / 2^B$

Nota pratica: in alcuni datasheet si usa $2^B - 1$ nel denominatore per l'ampiezza full-scale codificabile. In ambito didattico e per stime si usa spesso 2^B .

4) Sistema di misura: sensore S + condizionamento c + ADC (B=8, range ADC [0,10] V)

Dati: - Intervallo distanza: $x \in [-50, 150]$ cm - Sensore lineare con: - range di uscita: 400 mV (variazione totale sul range di x) - offset: -2.4 V - ADC: - input range: [0, 10] V - bit: B = 8

4.1 Trans-caratteristica del sensore S (grafico e formula)

Interpretazione coerente con i dati: - La variazione complessiva di uscita sul range di x è 0.4 V. - La distanza varia di 200 cm (da -50 a 150). - Pendenza: - $m = 0.4 \text{ V} / 200 \text{ cm} = 0.002 \text{ V/cm} = 2 \text{ mV/cm}$

Definiamo il vincolo sull'offset come valore a $x = 0$ cm: - $v_S(0) = -2.4 \text{ V}$

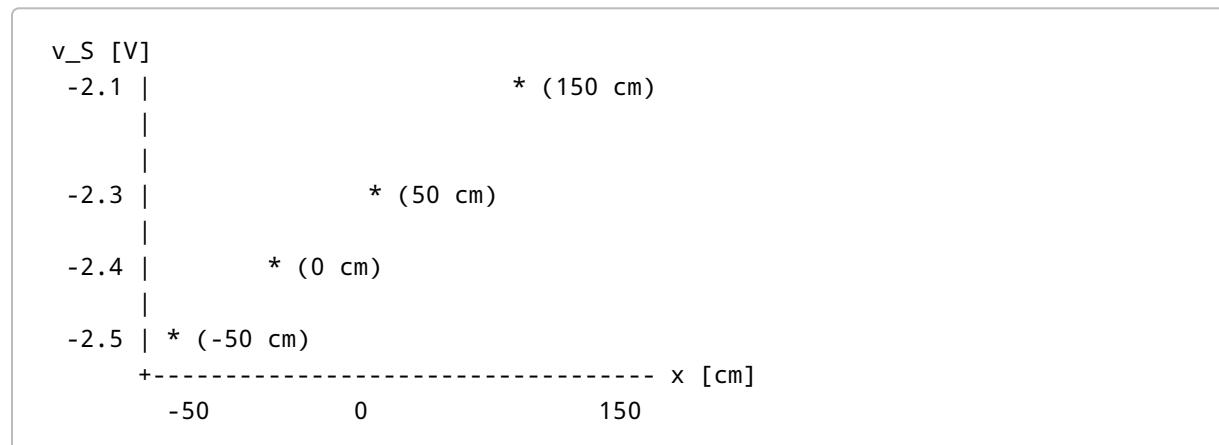
Allora la trans-caratteristica è: - $v_S(x) = m x + b$ - $b = -2.4 \text{ V}$ - $m = 0.002 \text{ V/cm}$

Quindi: - $v_S(x) = 0.002 \cdot x - 2.4 \text{ [V]}$, con x in cm.

Verifica ai bordi: - $x = -50 \text{ cm} \rightarrow v_S = 0.002 \cdot (-50) - 2.4 = -0.1 - 2.4 = -2.5 \text{ V}$ - $x = 150 \text{ cm} \rightarrow v_S = 0.002 \cdot 150 - 2.4 = 0.3 - 2.4 = -2.1 \text{ V}$

Il range in uscita del sensore è quindi $[-2.5, -2.1] \text{ V}$ (ampiezza 0.4 V), coerente.

Rappresentazione qualitativa:



4.2 Progetto del blocco di condizionamento c per ottimizzare l'ADC

Obiettivo: usare tutto il range [0,10] V dell'ADC per massimizzare la risoluzione effettiva sulla misura di x.

Range sensore: - $v_S, \min = -2.5 \text{ V}$ - $v_S, \max = -2.1 \text{ V}$

Progettiamo una trasformazione affine: - $v_{\text{ADC}} = a \cdot v_S + d$

Imponiamo: - $v_S = -2.5 \text{ V} \rightarrow v_{\text{ADC}} = 0 \text{ V}$ - $v_S = -2.1 \text{ V} \rightarrow v_{\text{ADC}} = 10 \text{ V}$

Sistema: - $0 = a(-2.5) + d$ - $10 = a(-2.1) + d$

Sottrazione: - $10 = a(-2.1 + 2.5) = a(0.4)$ - $a = 10 / 0.4 = 25$

Poi: - $0 = 25(-2.5) + d \Rightarrow d = 62.5$

Quindi: - **$v_{\text{ADC}} = 25 \cdot v_S + 62.5$**

Forma equivalente più "circuitale" (shift + gain): - $v_{\text{ADC}} = 25 \cdot (v_S + 2.5)$

perché: - $25(v_S + 2.5) = 25 v_S + 62.5$

Implementazione tipica (concettuale): - somma di offset (+2.5 V) tramite riferimento e stadio sommatore; - amplificazione con guadagno 25 (op-amp non invertente o stadio dedicato); - eventuale filtro passa-basso per limitare rumore e anti-aliasing.

Nota operativa: - è necessario che l'op-amp e l'alimentazione consentano l'escursione in uscita 0-10 V (rail-to-rail o alimentazioni adeguate) e che le tensioni di riferimento siano stabili.

4.3 Risoluzione dell'ADC

Per ADC ideale con range 0-10 V e B=8: - $N = 2^8 = 256$ livelli - $q = (10 - 0) / 256 = 10 / 256 \text{ V}$

Calcolo: - $10 / 256 = 0.0390625 \text{ V}$

Quindi: - **$q = 39.0625 \text{ mV per LSB}$**

4.4 Stima della distanza x corrispondente a $v_{\text{ADC}} = 2 \text{ V}$

Usiamo la catena: 1) invertiamo il condizionamento per risalire a v_S - $v_{\text{ADC}} = 25(v_S + 2.5) - v_S + 2.5 = v_{\text{ADC}} / 25 - v_S = (v_{\text{ADC}} / 25) - 2.5$

Con $v_{\text{ADC}} = 2 \text{ V}$: - $v_S = (2/25) - 2.5 = 0.08 - 2.5 = -2.42 \text{ V}$

2) invertiamo la trans-caratteristica del sensore - $v_S = 0.002x - 2.4$ - $0.002x = v_S + 2.4$ - $x = (v_S + 2.4) / 0.002$

Sostituzione: $-x = (-2.42 + 2.4) / 0.002 = (-0.02) / 0.002 = -10 \text{ cm}$

Risultato: **-x stimato = -10 cm**

4.5 Risoluzione complessiva in termini di Δx

Vogliamo il minimo incremento di distanza distinguibile dato un LSB dell'ADC.

Relazione tra x e v_{ADC} . Partiamo da: $-v_S(x) = 0.002x - 2.4$ - $v_{\text{ADC}} = 25(v_S + 2.5)$

Sostituendo v_S : $-v_{\text{ADC}}(x) = 25[(0.002x - 2.4) + 2.5]$ - $v_{\text{ADC}}(x) = 25(0.002x + 0.1)$ - $v_{\text{ADC}}(x) = 0.05x + 2.5$

Quindi la sensibilità complessiva è: $-dv_{\text{ADC}}/dx = 0.05 \text{ V/cm}$

Un LSB vale $q = 0.0390625 \text{ V}$. Allora: $-\Delta x = q / (dv_{\text{ADC}}/dx)$ - $\Delta x = 0.0390625 / 0.05 \text{ cm}$

Calcolo: $0.0390625 / 0.05 = 0.78125 \text{ cm}$

Risultato: **-risoluzione complessiva $\Delta x \approx 0.78125 \text{ cm (circa 7.8 mm)}$**

Interpretazione: - ogni incremento di 1 LSB dell'ADC corrisponde a circa 0.78 cm di variazione di distanza.

Esercizio di controllo rapido (per autovalutazione)

1) Se il range ADC fosse $[0, 5] \text{ V}$ con $B=8$, quale sarebbe Δx (con lo stesso condizionamento ridisegnato per usare tutto il range)? 2) Se si aumentasse B a 10 bit mantenendo $[0,10] \text{ V}$, quale sarebbe la nuova Δx ?

Suggerimento: rifare solo i passaggi 4.3 e 4.5.