

Elettronica per studenti



Tema d_esame prova B.pdf
PDF

sei un elettronico esperto e devi risolvere per studenti, esemplifica in modo semplice calcoli dettagliati e chiari un passaggio alla volta

Di seguito svolgo i punti della prova, con passaggi semplici e calcoli esplicitati uno alla volta.

Tema d_esame prova B

1) Schema del sistema di sensing e funzione dei blocchi

Uno schema a blocchi tipico di un sistema di misura (sensing) è:

Grandezza fisica (misuranda) -> Sensore S -> Condizionamento c -> ADC -> Elaborazione digitale -> Uscita (display/log/controllo)

Funzione dei blocchi:

1. Misuranda

- È la grandezza reale da misurare (qui: distanza x).

2. Sensore S

- Converte la grandezza fisica in un segnale elettrico (tensione o corrente).
- Ha caratteristiche reali: offset, range, linearità, rumore, banda, ecc.

3. Condizionamento c

- Adatta il segnale del sensore a ciò che l'ADC "gradisce".
- Tipicamente fa: amplificazione, traslazione di livello (offset), filtraggio anti-rumore e anti-alias, buffer (impedenza), protezioni.

4. ADC (convertitore analogico-digitale)

- Campiona nel tempo e quantizza in ampiezza, producendo un numero digitale su B bit.

5. Elaborazione digitale

- Converte il codice ADC in unità fisiche (cm), compensa offset/gain, filtra digitalmente, diagnostica.

6. Uscita

- Visualizzazione, registrazione, trasmissione o retroazione di controllo.

2) Adattamento di impedenza (blocco di condizionamento): cos'è e perché è importante

Definizione operativa

- L'**adattamento di impedenza** nel condizionamento consiste nel "collegare correttamente" sorgente e carico per non alterare il segnale.
- In strumentazione (misure di tensione) l'obiettivo tipico è:
 - **Impedenza d'ingresso molto alta** verso il sensore (per non caricarlo).
 - **Impedenza d'uscita molto bassa** verso l'ADC (per pilotarlo bene, soprattutto se l'ADC ha sample&hold).

Problema principale che previene (il più importante)

- Previene l'**errore di misura per carico** (loading).
 - Se il sensore ha una resistenza interna R_s e l'ingresso successivo ha resistenza R_{in} non abbastanza grande, si crea un partitore.
 - Risultato: la tensione letta non è quella "vera" del sensore, ma una versione attenuata e dipendente dal carico.

Esempio minimo (solo per capire il meccanismo):

- Sensore come generatore V_s con resistenza interna R_s .
- Ingresso successivo con R_{in} .
- Tensione che arriva davvero al blocco successivo:

$$V_{in} = V_s \cdot \frac{R_{in}}{R_s + R_{in}}$$

Se R_{in} non è molto maggiore di R_s , allora $V_{in} \neq V_s$ e la misura è falsata.

3) Funzionamento del circuito T&H dell'ADC con esempio di segnali

Che cos'è

- Il **Track & Hold** (T&H), o Sample & Hold, serve a "congelare" il valore del segnale analogico mentre l'ADC sta convertendo, così la conversione avviene su un valore stabile.

Componenti tipici

- Un **interruttore analogico** (switch).
- Un **condensatore di hold** C_H .
- Un **buffer** (spesso un operazionale in follower) per non scaricare il condensatore verso l'ADC.

Fasi

1. Track (inseguimento)

- Lo switch è chiuso.

- Il condensatore C_H si carica e segue $v_{in}(t)$.
- Quindi $v_{hold}(t) \approx v_{in}(t)$.

2. Hold (mantenimento)

- Lo switch si apre.
- Il condensatore conserva (quasi) la tensione raggiunta all'istante di campionamento.
- $v_{hold}(t)$ resta circa costante per il tempo di conversione (con un piccolo "droop" dovuto a perdite reali).

Esempio di forme d'onda (concettuale)

- In ingresso: un segnale che varia continuamente (es. rampa o senoide).
- In uscita dal T&H: una "scaletta" a gradini, perché tra un campione e il successivo il valore resta fermo.

Rappresentazione testuale semplificata:

- Ingresso $v_{in}(t)$: rampa crescente (continua)
- Uscita $v_{hold}(t)$: valori costanti a tratti

Istanti di campionamento: t_0, t_1, t_2, \dots

- v_{hold} a t_0 : prende il valore di $v_{in}(t_0)$ e lo mantiene fino a t_1
- v_{hold} a t_1 : prende $v_{in}(t_1)$ e lo mantiene fino a t_2
- ecc.

4) Sistema con sensore IR, condizionamento e ADC (B=7)

Dati:

- Sensore S:
 - **range di uscita:** 600 mV = 0,6 V (variazione totale)
 - **offset:** -4,8 V
 - **lineare**
 - misura x da 0 a 120 cm
- ADC:
 - input range: $[-12, +12]$ V (span totale 24 V)
 - numero di bit: $B = 7$

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

Passo 1: capire i due punti estremi

- A $x = 0$ cm:

- l'uscita vale l'offset

$$v_s(0) = -4,8 \text{ V}$$

- A $x = 120 \text{ cm}$:

- l'uscita aumenta di $0,6 \text{ V}$ rispetto all'offset

$$v_s(120) = -4,8 + 0,6 = -4,2 \text{ V}$$

Quindi il sensore produce tensioni da **-4,8 V a -4,2 V**.

Passo 2: calcolare la pendenza (sensibilità)

La variazione di tensione è:

$$\Delta v = (-4,2) - (-4,8) = 0,6 \text{ V}$$

La variazione di distanza è:

$$\Delta x = 120 - 0 = 120 \text{ cm}$$

Sensibilità:

$$k = \frac{\Delta v}{\Delta x} = \frac{0,6}{120} = 0,005 \text{ V/cm}$$

Passo 3: scrivere l'equazione della retta

Forma:

$$v_s(x) = v_s(0) + k \cdot x$$

Sostituisco:

$$v_s(x) = -4,8 + 0,005 x$$

(con x in cm e v_s in V)

"Disegno" concettuale

- Asse x: $0 \rightarrow 120 \text{ cm}$
- Asse y: $-4,8 \rightarrow -4,2 \text{ V}$
- Una retta crescente che parte da $(-4,8)$ e arriva a $(-4,2)$.

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

Obiettivo: usare **tutto** il range dell'ADC $[-12, +12] \text{ V}$ per massimizzare la risoluzione del sistema.

Il sensore varia solo di $0,6 \text{ V}$: è "piccolo" rispetto ai 24 V dell'ADC. Quindi serve:

- **Amplificare** di un fattore grande.
- **Traslare** il livello (offset) per centrare correttamente.

Passo 1: imporre la mappatura degli estremi

Vogliamo:

- quando $v_s = -4,8 \text{ V}$ ($x=0$) $\rightarrow v_{adc} = -12 \text{ V}$
- quando $v_s = -4,2 \text{ V}$ ($x=120$) $\rightarrow v_{adc} = +12 \text{ V}$

Assumo un condizionamento lineare:

$$v_{adc} = a v_s + b$$

Passo 2: ricavare a

$$a = \frac{v_{adc2} - v_{adc1}}{v_{s2} - v_{s1}} = \frac{(+12) - (-12)}{(-4,2) - (-4,8)} = \frac{24}{0,6} = 40$$

Passo 3: ricavare b

Uso il punto $v_s = -4,8 \Rightarrow v_{adc} = -12$:

$$-12 = 40 \cdot (-4,8) + b$$

$$-12 = -192 + b$$

$$b = 180$$

Risultato

$$v_{adc} = 40 v_s + 180$$

Forma equivalente spesso più "leggibile":

Osservo che il centro del range del sensore è $-4,5 \text{ V}$ (perché $-4,8$ e $-4,2$ stanno simmetrici).

Se sommo $4,5 \text{ V}$, ottengo un segnale centrato attorno a 0:

$$v_s + 4,5 \in [-0,3, +0,3]$$

Moltiplico per 40:

$$40 (v_s + 4,5) \in [-12, +12]$$

Quindi:

$$v_{adc} = 40 (v_s + 4,5)$$

che è identica a $40v_s + 180$.

Implementazione circuitale (concetto)

- Un operazionale che realizza:
 - somma di un riferimento DC ($+4,5 \text{ V}$) al segnale del sensore
 - amplificazione di guadagno 40
- Possibile soluzione pratica: sommatore + amplificatore (o amplificatore con offset tramite riferimento e rete resistiva). Il dettaglio circuitale dipende da alimentazioni disponibili e architettura scelta.

4.3) Risoluzione dell'ADC

Dati:

- Range ADC: $[-12, +12]$ V
- Span totale:

$$V_{FS} = 12 - (-12) = 24 \text{ V}$$

- Bit: $B = 7$
- Livelli:

$$2^B = 2^7 = 128$$

Passo: calcolo LSB

$$\Delta V_{adc} = \frac{V_{FS}}{2^B} = \frac{24}{128} = 0,1875 \text{ V}$$

Quindi:

$\Delta V_{adc} = 0,1875 \text{ V} = 187,5 \text{ mV}$

4.4) Valore di x stimato quando $v = 2 \text{ V}$ (tensione in ingresso ADC)

Interpreto $v = 2 \text{ V}$ come **tensione all'ingresso dell'ADC**, cioè $v_{adc} = 2 \text{ V}$.

Passo 1: invertire il condizionamento per trovare v_s

Da:

$$v_{adc} = 40 (v_s + 4,5)$$

Ricavo:

$$v_s + 4,5 = \frac{v_{adc}}{40}$$

$$v_s = \frac{v_{adc}}{40} - 4,5$$

Sostituisco $v_{adc} = 2 \text{ V}$:

$$v_s = \frac{2}{40} - 4,5 = 0,05 - 4,5 = -4,45 \text{ V}$$

Passo 2: invertire la caratteristica del sensore per trovare x

Sensore:

$$v_s(x) = -4,8 + 0,005x$$

Porto -4,8 dall'altra parte:

$$v_s + 4,8 = 0,005x$$

$$x = \frac{v_s + 4,8}{0,005}$$

Sostituisco $v_s = -4,45$ V:

$$x = \frac{-4,45 + 4,8}{0,005} = \frac{0,35}{0,005}$$

$$x = 70 \text{ cm}$$

Risultato:

$x \approx 70 \text{ cm}$

4.5) Risoluzione dell'intero sistema di acquisizione in funzione di Δx

Qui si intende: "a quanto corrisponde 1 LSB dell'ADC in centimetri di distanza".

Passo 1: 1 LSB dell'ADC

$$\Delta V_{adc} = 0,1875 \text{ V}$$

Passo 2: riportare questo passo all'uscita del sensore

Il condizionamento ha guadagno 40 sul segnale "utile".

Quindi la variazione equivalente sul sensore è:

$$\Delta V_s = \frac{\Delta V_{adc}}{40} = \frac{0,1875}{40} = 0,0046875 \text{ V}$$

cioè:

$$\Delta V_s = 4,6875 \text{ mV}$$

Passo 3: convertire ΔV_s in Δx usando la sensibilità del sensore

Sensibilità:

$$k = 0,005 \text{ V/cm}$$

Quindi:

$$\Delta x = \frac{\Delta V_s}{k} = \frac{0,0046875}{0,005} = 0,9375 \text{ cm}$$

Risultato:

$\Delta x \approx 0,94 \text{ cm} \approx 9,4 \text{ mm}$

Interpretazione pratica: con questa catena (sensore + condizionamento ottimizzato + ADC a 7 bit), un singolo "gradino" di quantizzazione corrisponde a circa 9,4 mm di distanza.

Se vuoi, nel prossimo messaggio posso anche:

- proporre uno schema circuitale realistico dell'offset +4,5 V e guadagno 40 con un operazionale (con scelta delle resistenze),
- indicare vincoli pratici (alimentazione op-amp, saturazione, rumore, filtri anti-alias) coerenti con un laboratorio ITS.

Sources