



## *Ministero dell'Istruzione dell'Università e della Ricerca*

### **M320 - ESAME DI STATO DI ISTITUTO TECNICO INDUSTRIALE**

#### CORSO DI ORDINAMENTO

#### **Indirizzo: ELETTRONICA E TELECOMUNICAZIONI**

#### **Tema di: ELETTRONICA**

**(Testo valevole per i corsi di ordinamento e per i corsi del progetto sperimentale "Sirio")**

In un sistema automatizzato di riempimento e pesatura vengono impiegati due trasduttori. Il primo è un trasduttore ad ultrasuoni ed è impiegato per rilevare la posizione di un recipiente in cui deve essere versata una quantità prefissata di materiale. Il secondo è una cella di carico ed ha il compito di misurare il peso totale del contenitore con il materiale affinché venga riempito con la quantità predefinita.

Il trasduttore di posizione ha un'uscita in corrente 4-10 mA:

- alla distanza minima di 60 mm eroga 4 mA
- alla distanza massima 500 mm eroga 10 mA

Il trasduttore di forza è di tipo a ponte resistivo e possiede un'uscita di tipo differenziale. Alimentando il ponte con una tensione di 10 V e applicando la forza massima pari a 30 N si ottiene una tensione differenziale di 0,36 V.

Occorre valutare la posizione del recipiente con un errore massimo di 5 mm e misurare la forza peso con un errore massimo di 0,05 N.

I segnali provenienti dai due trasduttori devono essere condizionati e convertiti in segnali numerici per essere inviati ad un personal computer che gestisce l'impianto.

Il candidato, fatte le ipotesi aggiuntive ritenute idonee:

1. Disegni uno schema a blocchi del sistema di acquisizione, spiegando le varie parti.
2. Dimensiona i circuiti di condizionamento dei segnali provenienti dai due trasduttori.
3. Scelga la frequenza di campionamento.
4. Indichi la risoluzione ed il tipo di convertitore analogico-digitale impiegato.
5. Proponga il tipo di strumentazione più idonea per collaudare il funzionamento dei circuiti di condizionamento.

---

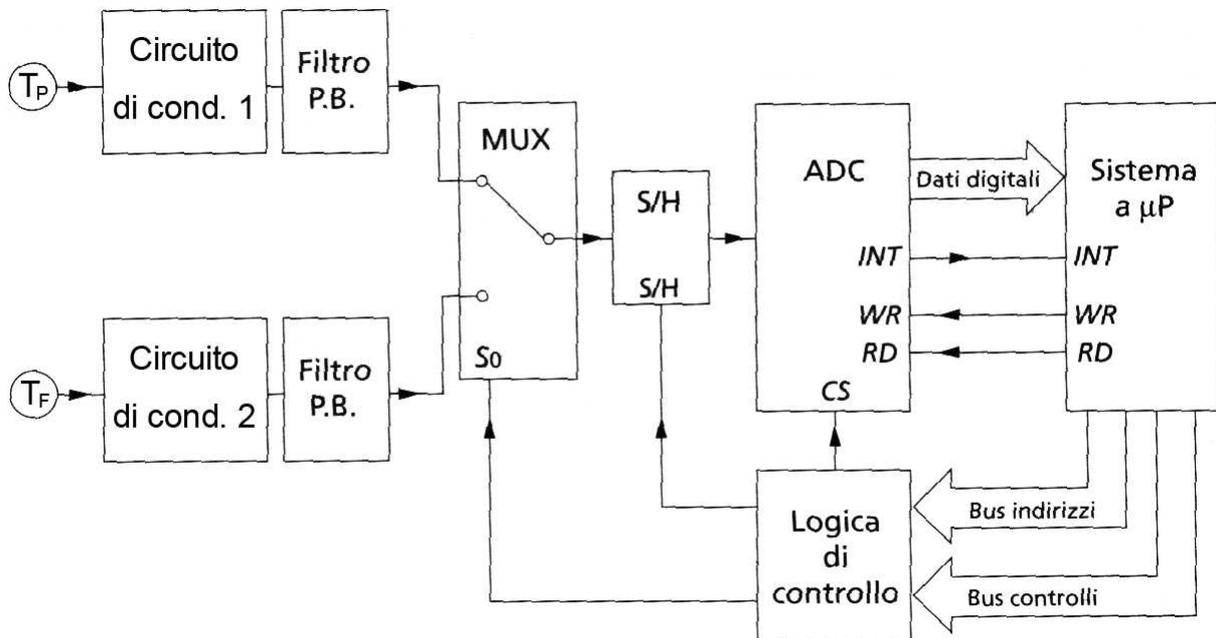
Durata massima della prova: 6 ore.

È consentito l'uso di manuali tecnici e di calcolatrici non programmabili.

Non è consentito lasciare l'Istituto prima che siano trascorse 3 ore dalla dettatura del tema.

## PROPOSTA DI SOLUZIONE

1) Lo schema a blocchi del sistema di acquisizione dati a 2 canali può essere schematizzato come segue:



**Figura 1: Schema a blocchi dell'intero sistema.**

**T<sub>P</sub>**: trasduttore di posizione;

**T<sub>F</sub>**: trasduttore di forza;

**Circuito di condizionamento 1**: deve adattare l'uscita del trasduttore di posizione per renderla utilizzabile dal convertitore ADC, sarà costituito da un convertitore I/V e da un amplificatore differenziale;

**Circuito di condizionamento 2**: deve adattare l'uscita del trasduttore di forza per renderla utilizzabile dal convertitore ADC, sarà costituito da un amplificatore differenziale;

**Filtri P.B.**: Sono dei filtri passa basso utilizzati per eliminare il fenomeno dell'aliasing causato dal successivo campionamento;

**MUX**: Multiplexer a due ingressi, utilizzato per selezionare il canale;

**S/H**: Sample & Hold (campionatore con tenuta) utilizzato per campionare il segnale condizionato e mantenerlo disponibile per l'intera durata della conversione successiva;

**ADC**: Convertitore Analogico-Digitale utilizzato per convertire in digitale il dato acquisito, in modo che sia leggibile dal microprocessore;

**Sistema a µP**: è il personal computer che gestisce l'impianto;

**Logica di controllo**: circuito solitamente presente nell'interfaccia del personal computer, utilizzato per la sincronizzazione delle operazioni di acquisizione dei dati.

2) Il trasduttore di posizione fornisce in uscita una corrente che non può essere utilizzata direttamente dall'ADC che invece, richiede un ingresso in tensione. Il primo stadio del circuito di condizionamento, quindi, sarà un convertitore I-V. La tensione in uscita da tale convertitore,

deve essere adattata alla dinamica d'ingresso del convertitore ADC che supponiamo essere 0 - 5V. Lo schema generale del primo circuito di condizionamento sarà il seguente:

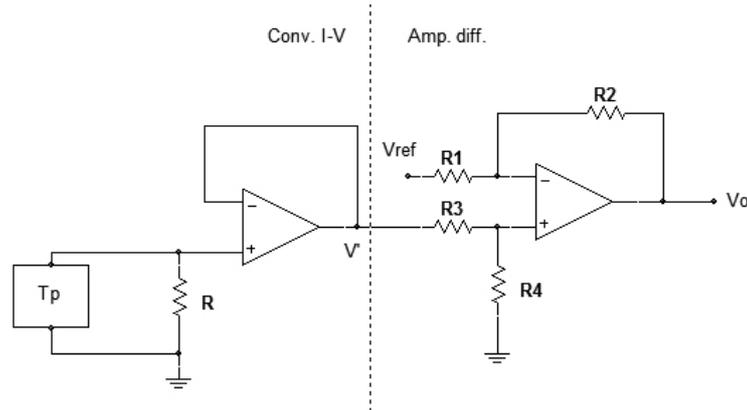


Figura 2: Circuito di condizionamento del trasduttore di posizione.

Scegliendo per  $R = 1 \text{ k}\Omega$  si ottengono i valori limite per  $V'$ :

$$V'_{\min} = I_{\min} \cdot R = 4 \cdot 10^{-3} \cdot 10^3 = 4 \text{ V}$$

$$V'_{\max} = I_{\max} \cdot R = 10 \cdot 10^{-3} \cdot 10^3 = 10 \text{ V}$$

Impostiamo  $V_{\text{ref}} = 4 \text{ V}$  in modo che in corrispondenza del minimo si abbia uscita nulla e andiamo a dimensionare i parametri del differenziale in modo che in corrispondenza del valore massimo dell'ingresso si abbia una uscita di 5 V.

Ponendo  $R_2=R_4$  e  $R_1=R_3$ , si ha che l'uscita del differenziale è:

$$V_o = \frac{R_2}{R_1} (V' - V_{\text{ref}})$$

$$\text{Sostituendo i valori massimi si ha: } V_{o_{\text{MAX}}} = \frac{R_2}{R_1} (V'_{\text{MAX}} - V_{\text{ref}}) \Rightarrow 5 = \frac{R_2}{R_1} (10 - 4) \Rightarrow \frac{R_2}{R_1} = \frac{5}{6}$$

È possibile scegliere  $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$  e  $R_2 = 820 \Omega$ .

Il secondo circuito di condizionamento deve solo adattare l'uscita del trasduttore alla dinamica d'ingresso del convertitore ADC, quindi è sufficiente usare un amplificatore differenziale come quello seguente:

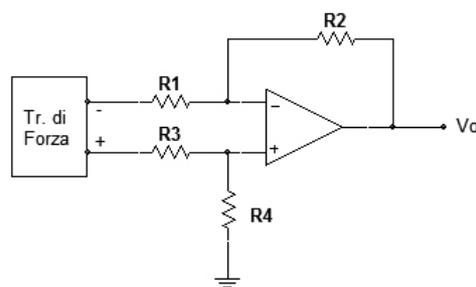


Figura 3: Circuito di condizionamento del trasduttore di forza.

Anche in questo caso poniamo  $R_2=R_4$  e  $R_1=R_3$ . In caso di ingresso nullo, anche l'uscita è nulla, mentre in caso di ingresso massimo  $V_{i_{\text{MAX}}} = 0,36 \text{ V}$  dobbiamo imporre l'uscita pari a 5 V. Si ha:

$$V_{o_{\text{MAX}}} = \frac{R_2}{R_1} V_{i_{\text{MAX}}} \Rightarrow 5 = \frac{R_2}{R_1} 0,36 \Rightarrow \frac{R_2}{R_1} = \frac{5}{0,36} = 13,8$$

È possibile scegliere  $R_1 = 1,8 \text{ k}\Omega$  e  $R_2 = 25 \text{ k}\Omega$ .

- 3) Ipotizziamo che il carrello si muova con velocità massima pari a 0,5 m/s (500 mm/s). Dovendo garantire un controllo della posizione con un errore massimo pari a 5 mm, dobbiamo prelevare almeno  $v_{\max}/\varepsilon = 500/5 = 100 \text{ Sa/s} = 100 \text{ Hz}$ , 100 campioni al secondo.

Allo stesso modo, ipotizzando che un contenitore venga riempito in un tempo di 3 secondi (equivale a circa 1 kg di materiale al secondo), si ha una variazione di forza pari a:

$$v_F = \frac{(F_{MAX} - F_{MIN})}{\Delta t} = \frac{30N}{3\text{sec}} = 10N / s$$

Dovendo garantire un controllo della quantità del materiale con un errore massimo pari a 0,05 N, dobbiamo prelevare almeno  $v_F/\varepsilon = 10/0,05 = 200 \text{ Sa/s} = 200 \text{ Hz}$ , 200 campioni al secondo.

Il segnale che richiede la frequenza di campionamento superiore è il secondo, quindi lavoreremo con  $f_{\text{sample}} = 200 \text{ Sa/s}$ . Dovendo acquisire i segnali da due canali diversi, la frequenza necessaria alla scheda per acquisire i 2 segnali simultaneamente sarà di  $2 \times 200 \text{ Sa/s} = 400 \text{ Sa/s} = 400 \text{ Hz}$ .

In conclusione, con le ipotesi fatte in precedenza, la frequenza di campionamento deve essere pari a  $f_c = 400 \text{ Hz}$ .

- 4) Fissiamo l'errore massimo pari a  $\pm 1 \cdot \text{LSB}$  e applichiamo la definizione di errore di quantizzazione  $\varepsilon = \frac{V_{FS}}{2^N}$ , dove  $V_{FS}$  è il valore di fondo scala,  $N$  è il numero di bit del convertitore e  $\varepsilon$  indica l'errore di quantizzazione assoluto.

Per rispettare l'errore massimo che ci è stato fornito deve essere:  $2^N \geq \frac{V_{FS}}{\varepsilon}$ .

Primo canale:  $2^N \geq \frac{500\text{mm}}{5\text{mm}} = 100 \Rightarrow N \geq 7$  ;

Secondo canale:  $2^N \geq \frac{30N}{0,05N} = 600 \Rightarrow N \geq 10$  .

Scegliamo un ADC con una risoluzione di  $N = 10$  bit.

Considerando i tempi di conversione non troppo piccoli ed una risoluzione non troppo elevata, un buon compromesso è costituito dalla scelta di un convertitore SAR (ad approssimazioni successive). Un convertitore commerciale adatto ai nostri scopi potrebbe essere l'AD571.

- 5) Per il collaudo dei circuiti di condizionamento abbiamo bisogno di un multimetro digitale per le misure di tensione e corrente, di uno o più alimentatori DC, ed eventualmente un generatore di funzioni, per simulare i segnali d'ingresso provenienti dai trasduttori.