

Cognome e nome: _____

(stampatello)

Matricola e firma _____

*(firma leggibile)***Esercizi svolti (almeno parzialmente): 1 2 3 4 (4 + 3 + 2 + 2 + “22 LabVIEW” = 33p)***(crociettare)*

N.B. si consiglia di crociettare, qui sopra, gli esercizi almeno parzialmente svolti.

SOLUZIONI

(35 min)**Esercizio 1***(svolgere su questo foglio e sul retro)*

Siamo chiamati a verificare il corretto funzionamento di un forno da cucina. Il forno è riscaldato da una serpentina alimentata a bassa tensione alternata V_1 (tensione massima, 10 V di picco) alla frequenza di 10 kHz. Si hanno a disposizione due sensori di temperatura (V_2 , V_3) a termocoppia di tipo K (sensibilità $40 \mu\text{V} / ^\circ\text{C}$), uno per la temperatura del forno, l'altro da inserire nel cibo per controllarne lo stato di cottura.

1a) Si descriva a parole come è possibile organizzare la misura delle due temperature attraverso una scheda di acquisizione dati (che ha al suo interno un termometro integrato con sensibilità $10 \text{ mV} / ^\circ\text{C}$ e a 0°C ha come uscita 0 V, V_4) per ottenere delle misure corrette di temperatura.

Successivamente vogliamo acquisire oltre alle temperature, anche la tensione di alimentazione della serpentina e di un altro segnale V_5 proveniente da un controllore analogico che comanda la potenza erogata sulla serpentina con banda massima 10 Hz e ampiezza massima 1 V di picco.

Si ha a disposizione una scheda di acquisizione dati che utilizza un convertitore A/D con dinamica bipolare $D_{\text{ADC}} = \pm 1 \text{ V}$, guadagni impostabili pari a $G_i = 0,1; 1; 10; 100 \text{ (V/V)}$.

1b) Si indichi la modalità e il numero minimo di canali necessari a campionare i cinque segnali.

1c) Si calcoli la frequenza di acquisizione della scheda per campionare i cinque segnali “contemporaneamente”.

1d) Si indichino i guadagni da impostare sui singoli segnali per massimizzare la risoluzione su ogni singolo segnale, sapendo che le temperature (V_2 , V_3 , V_4) sono da misurare con una risoluzione di 0.1°C e il segnale di controllo (V_5) deve essere misurato con una risoluzione di almeno $\Delta V_5 = 1 \text{ mV}$.

1e) Si calcoli il numero di bit minimo della scheda per acquisire correttamente i cinque segnali.

1a) I sensori a termocoppia forniscono una tensione di uscita proporzionale alla differenza di temperatura tra il giunto caldo e il giunto freddo. Possiamo quindi decidere di termostatare il giunto freddo, oppure semplicemente misurarne la temperatura attraverso un altro sensore (ad esempio il sensore integrato nella scheda). Per ottenere le misure di temperatura dobbiamo acquisire le due tensioni in modalità differenziale, indispensabile data l'ampiezza molto piccola dei due segnali: ci aspettiamo una tensione $V_{2,3} = 200^\circ\text{C} \times 40 \mu\text{V} / ^\circ\text{C} = 8 \text{ mV}$ (supponendo un forno a 220°C circa e quindi un giunto freddo a circa 20°C). Misuriamo anche la temperatura del giunto freddo e la sommiamo ai valori ottenuti dalle termocoppie.

1b) La scheda di acquisizione deve avere almeno **5 canali analogici di ingresso**, operanti in **modalità differenziale (10 fili della DAQ)**, la necessità di acquisire segnali tipicamente differenziali molto piccoli come le termocoppie $V_{2,3} \approx 8 \text{ mV}$ obbliga l'utilizzo di questo tipo di modalità di acquisizione.

1c) Volendo acquisire contemporaneamente i 5 segnali, la scheda di acquisizione deve avere una frequenza di campionamento 5 volte più grande di quella indispensabile per il singolo canale. La condizione più

stringente in termini di frequenza di campionamento deriverà dal segnale a frequenza più alta, quindi il segnale V_1 . Per acquisire correttamente il segnale V_1 tenendo conto del teorema di *Shannon* che ci impone di campionare ad almeno il doppio della frequenza che si vuole ricostruire sarà necessario campionare ad almeno 20 kHz. Quindi la frequenza di campionamento della scheda DAQ sarà di $f_{\text{DAQ}} = n.\text{segnali} \times f_{\text{max}} = 5 \times 20 \text{ kHz} = \mathbf{100 \text{ kHz}}$. Realisticamente verrà utilizzata una scheda con un convertitore a 200 kSa/s.

1d) Il segnale V_1 presenta una dinamica di +10 V a -10 V superiore quindi a quella della DAQ, bisognerà impostare quindi il guadagno della scheda $G_1 = \mathbf{0.1 \text{ V/V}}$ affinché il segnale sia convertito correttamente.

Il segnale V_2 e il segnale V_3 presentano una dinamica di circa 8 mV prendendo come riferimento una temperatura massima di circa 220°C bisognerà quindi impostare un guadagno pari a $G_{2,3} = \mathbf{100 \text{ V/V}}$ per massimizzare l'utilizzo della dinamica del convertitore, $D_{\text{ADC}} = \pm 1 \text{ V}$.

Per il segnale V_4 trovandosi a temperatura ambiente possiamo ipotizzare una dinamica $V_4 = 20^\circ\text{C} \times 10 \text{ mV} / ^\circ\text{C} = 200 \text{ mV}$ e quindi utilizzare un guadagno $G_4 = \mathbf{1 \text{ V/V}}$.

Per il segnale V_5 possiamo impostare un guadagno di $G_5 = \mathbf{1 \text{ V/V}}$, avendo il segnale una dinamica massima di + 1 V completamente all'interno della dinamica del convertitore ADC.

1e) Per il segnale V_1 non ci sono richieste particolari sul numero di bit quindi ci potremmo accontentare di una scheda con risoluzione 12 bit.

Per il segnale V_2 e V_3 stante la necessità di acquisirlo con una risoluzione $\Delta V_{2,3} = 4 \mu\text{V} = 0.1^\circ\text{C} \times 40 \mu\text{V} / ^\circ\text{C}$, il numero di bit minimo necessario sarà pari a $n_{2,3} = \log_2 (D_{\text{ADC}} / (G_{2,3} \times \Delta V_2)) = 12.28 \text{ bit}$.

Per il segnale V_4 stante la necessità di acquisirlo con una risoluzione $\Delta V_4 = 1 \text{ mV} = 0.1^\circ\text{C} \times 10 \text{ mV} / ^\circ\text{C}$, il numero di bit minimo necessario sarà pari a $n_4 = \log_2 (D_{\text{ADC}} / (G_4 \times \Delta V_4)) = 10.96 \text{ bit}$.

Per il segnale V_5 stante la richiesta di una risoluzione di almeno 1 mV il numero di bit richiesti sarà: a $n_5 = \log_2 (D_{\text{ADC}} / (G_5 \times \Delta V_5)) = 10.96 \text{ bit}$. Quindi in base ai singoli segnali sarà necessario utilizzare una scheda con $n = \mathbf{13 \text{ bit}}$.

2a) Si descrivano le caratteristiche, numero di bit e frequenze tipiche di conversione dei voltmetri approssimazioni successive aiutandosi con uno schema a blocchi del voltmetro.

2b) Sarebbe possibile realizzare un voltmetro *flash* attraverso un'architettura *pipelined*? Si potrebbe utilizzare un voltmetro *flash* all'interno di un'architettura *pipelined*? Si giustifichi la risposta disegnando un'architettura *pipelined* e indicando dove andrebbe o non andrebbe messo il voltmetro *flash*.

2c) Se realizzo un convertitore ad approssimazioni successive da 18 bit con una frequenza di conversione pari a 18 MSample/s, formato da 6 stadi, quanto sarà la minima frequenza di conversione del singolo stadio e di quanti bit sarà il convertitore. Si disegni un diagramma a blocchi del convertitore così realizzato.

2d) Un convertitore A/D a 14 bit e 200 kSa/s, privo di altre non-idealità ad eccezione di un rumore interno con varianza $\sigma_N^2 = 4 \times 10^{-8} \text{ V}^2$ e un rumore esterno elettronico $\sigma_{\text{ext}}^2 = 4 \times 10^{-8} \text{ V}^2$ ha una dinamica D da 0 V a 2 V. Si calcoli il numero di bit equivalenti del convertitore.

2a) Si vedano gli appunti del Corso.

2b) No non è possibile realizzare un convertitore A/D *flash* attraverso un'architettura *pipelined*, in quanto la sequenzialità delle azioni di conversione utilizzata dal convertitore *pipelined* non può riprodurre il parallelismo di una conversione *flash*.

L'architettura *flash* può essere utilizzata all'interno dell'architettura *pipelined* come convertitore analogico digitale (ADC). Per quel che riguarda lo schema si faccia riferimento alle *slide* del corso.

2c) Per ottenere questo tipo di convertitore *pipelined* dovrò utilizzare quattro ADC a 3 bit in serie, per esempio *flash*. Nelle conversioni successive il residuo della prima conversione verrà moltiplicato di un fattore proporzionale a 2^3 per ottenere una corretta conversione. Per ottenere una frequenza di conversione di almeno 18 MSa/s sarà necessario che il singolo convertitore lavori a 18 MSa/s per riuscire a mantenere costante la velocità di conversione. Logicamente la misura effettuata avrà una latenza di conversione dovuto al passaggio tra i sei stadi di conversione.

2d) La risoluzione dimensionale è $\Delta V = D/2^n = (2 \text{ V})/(2^{14}) = (4 \text{ V})/(16384) \cong 122 \mu\text{V}$.

La risoluzione adimensionale è $\delta = 1/(16384) \cong 6.1 \times 10^{-5}$.

Per ricavare il numero di bit equivalenti n_e , utilizziamo la formula

$$n_e = n - \frac{1}{2} \log_2 \left(\frac{\sigma_q^2 + \sigma_N^2}{\sigma_q^2} \right) = n - \frac{1}{2} \log_2 \left(1 + \frac{\sigma_N^2}{\sigma_q^2} \right)$$

dove n è il numero di bit, σ_q^2 è la varianza di quantizzazione e σ_N^2 è la somma della varianza del rumore interno ed esterno: $\sigma_N^2 = \sigma_{N,\text{int}}^2 + \sigma_{N,\text{ext}}^2 = 8 \times 10^{-8} \text{ V}^2$. Essendo:

$$\sigma_q^2 = u_q^2 = \frac{(\Delta V)^2}{12} \cong 1.24 \times 10^{-9} \text{ V}^2 \text{ e } \sigma_N^2 = (V_{N,\text{eff}})^2 \cong 8 \times 10^{-8} \text{ V}^2$$

si ottiene

$$n_e = n - \frac{1}{2} \log_2 \left(1 + \frac{8}{0.124} \right) \cong n - \frac{1}{2} \log_2 (65.5) \cong n - 3.11 = 13.64 \text{ bit}$$

(15 min)

Esercizio 3

(svolgere su questo foglio e sul retro)

3a) Si descriva brevemente, aiutandosi con uno schema a blocchi, come avviene una misura periodo in un contatore elettronico.

3b) Si scriva nei riquadri sottostanti cosa compare (quanti conteggi fa lo strumento) sul *display* di un contatore in modalità di misura di frequenza con tempo di apertura 1 s quando viene misurata la frequenza di 1 kHz:

--	--	--	--	--	--	--

e cosa viene mostrato sul *display* misurando la stessa frequenza di 1 kHz in modalità periodo utilizzando un *clock* a 1 MHz:

--	--	--	--	--	--	--

3a) Si vedano appunti e dispense del corso.

3b) Il contatore dispone di 7 cifre sul display di visualizzazione, nel conteggio di frequenza saranno contati esattamente il numero di cicli del segnale durante il tempo di apertura quindi 1000. Essendo la risoluzione pari a 1 Hz l'inverso del tempo di apertura (1 s). La frequenza scritta sul display sarà:

0	0	0	1	0	0	0
---	---	---	---	---	---	---

 x 1 Hz

Per quel che riguarda la misura di periodo saranno contati i cicli del clock per un tempo di apertura pari al periodo di segnale d'ingresso e sul display sarà visualizzato:

0	0	0	1	0	0	0
---	---	---	---	---	---	---

 x 1 μ s

(25min)

Esercizio 4

(svolgere su questo foglio e sul retro)

Si vuole misurare l'efficienza differenziale di un laser a semiconduttore (la pendenza della curva potenza emessa vs la corrente che lo alimenta). Per fare ciò si compiono 6 misure della potenza emessa dal laser al variare della corrente iniettata, che forniscono i seguenti risultati:

Corrente (mA)	40	41	42	43	44	45
Potenza (mW)	9.02	13.24	14.96	16.53	17.64	21.07

4a) Si calcoli, tramite il procedimento di regressione lineare, il valore dell'efficienza differenziale (mW/mA) e della soglia del laser (la corrente per la quale il laser inizia a emettere potenza).

4b) Si riportino in un grafico i punti sperimentali e la curva di regressione ottenuta.

Nota: Si riportano qui sotto le formule che esprimono il coefficiente angolare m e l'intercetta q sull'asse Y della retta di regressione ai minimi quadrati:

$$m = \frac{n \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \quad q = \frac{\sum x_i^2 \sum y_i - \sum x_i \sum x_i y_i}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} = \frac{\sum y_i - m \sum x_i}{n}$$

4a) Per calcolare l'efficienza differenziale del laser utilizzeremo come variabile indipendente la corrente di alimentazione I e come variabile dipendente la potenza emessa dal laser stesso P (mW).

Applicando le formule sovrascritte troviamo $m = 2.14 \text{ mW/mA}$, che è anche l'efficienza differenziale e $q = -75.7 \text{ mW}$. Da cui possiamo calcolare la soglia in corrente del laser $I_0 = -q / m = 35.31 \text{ mA}$.

4b) Riportiamo in figura i punti sperimentali e la retta di regressione.

