

Cognome e nome: _____

(stampatello)

Matricola e firma _____

(firma leggibile)

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

(croettare)

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

SOLUZIONE

(35 min)

Esercizio 1

(svolgere su questo foglio e sul retro)

1a) Disegnare lo schema circuitale di una scheda di acquisizione dati (DAQ), qual è il componente che permette di acquisire più di un segnale, con un singolo ADC? L'acquisizione di più segnali avviene in contemporanea? Motivare le risposte.

1b) Indicare quali caratteristiche minime (modalità ingressi, frequenza ADC, guadagno del singolo canale, numero di bit) deve avere una DAQ, al cui interno è presente un amplificatore con guadagni $G = 0.5, 1, 10, 100$ e un convertitore A/D con dinamica ± 3 V, per poter acquisire contemporaneamente i seguenti segnali:

V_1 Segnale analogico con banda massima di 20 kHz, ampiezza massima 100 mV picco-picco, a valor medio nullo, di cui si vogliono apprezzare dettagli con risoluzione migliore di 0.1 mV.

V_2 Onda quadra analogica con livelli 0 V e 3 V, ad una frequenza di 500 Hz, di cui si devono acquisire almeno 50 campioni per periodo.

V_3 Segnale di temperatura proveniente da una termocoppia, con sensibilità di 50 $\mu\text{V/K}$, impiegata per misurare una temperatura di un forno intorno ai 500 °C, con risoluzione di almeno 0.35 °C.

V_4 Segnale proveniente da un sensore di pressione assoluta, con sensibilità di 15 mV/kPa posto a 10 metri sotto il livello del mare (1 atm = 101.325 kPa) che misura la pressione con risoluzione $\Delta V_4 = 1$ mV.

1c) Quale tipo di convertitore analogico digitale è probabilmente utilizzato nella DAQ, in quanto adatto a questa misura? Se occorresse acquisire un ulteriore segnale V_5 con banda analogica 10 MHz e ampiezza che varia tra ± 2 V quale tipo di convertitore (indicare l'architettura tra quelle conosciute) sarebbe necessario utilizzare all'interno di una nuova scheda di acquisizione, che acquisisca contemporaneamente tutti e cinque i segnali?

Nota: la termocoppia fornisce una tensione proporzionale alla differenza di temperatura tra l'oggetto di misura ed un riferimento, che in questo caso è l'ambiente ($T_{\text{amb}} = 25$ °C).

1a) Vedi appunti e *slide* del Corso.

1b) La scheda di acquisizione deve avere almeno 4 canali di ingresso, operanti in modalità **differenziale**, indispensabile per misurare il segnale della termocoppia (segnale molto piccolo e non riferito a massa, che verrebbe coperto dai disturbi se connesso in modalità *single-ended*).

Volendo acquisire contemporaneamente i 4 segnali, la scheda di acquisizione deve avere una frequenza di campionamento 4 volte più grande di quella indispensabile per il singolo canale. Inoltre il numero di bit è dettato dal canale che richiede la migliore risoluzione relativa.

Il guadagno dell'amplificatore e quindi le dinamiche impostabili all'interno della scheda sono: $D_{scheda,1} = \pm 6 \text{ V}$ ($G = 0.5$), $D_{scheda,2} = \pm 3 \text{ V}$ ($G = 1$), $D_{scheda,3} = \pm 300 \text{ mV}$ ($G = 10$), $D_{scheda,4} = \pm 30 \text{ mV}$ ($G = 100$). Per ottimizzare l'accuratezza della misura utilizzeremo sempre la minima dinamica che contiene interamente il segnale da misurare.

Il primo segnale deve essere campionato ad almeno **40 kSa/s** (il doppio della sua banda massima di 20 kHz). La sua dinamica va da -100 mV a +100 mV, per cui scegliamo $G_1 = 10$. Il numero di livelli di quantizzazione richiesto è quindi $N_1 = D_{A/D}/(G_1 \times \Delta V_1) = 6 \text{ V} / (10 \times 0.1 \text{ mV}) = 6000$ livelli. Per cui il numero di bit richiesti per questo canale è $n_1 = 13$ ($2^n = 8192$).

Il secondo segnale, onda quadra alla frequenza di 500 Hz, deve essere campionato con almeno 50 punti per periodo. Essendo un periodo del segnale pari ad $T_2 = 2 \text{ ms}$ va campionato ad almeno:

$$f_{c,2} = 1 / (2 \text{ ms} / 50 \text{ Sa}) = \mathbf{25 \text{ kSa/s}}.$$

Per quanto riguarda il secondo segnale non ci sono richieste particolari sulla risoluzione. La sua dinamica va da 0 V a +1 V, per cui scegliamo $G_2 = 1$.

Il terzo segnale è una misura di temperatura, che quindi non ha problemi di velocità. La risoluzione richiesta può essere calcolata semplicemente come $\Delta V_3 = 0.35 \text{ }^\circ\text{C} \times 50 \text{ } \mu\text{V/K} = \mathbf{17 \text{ } \mu\text{V}}$.

La dinamica stimata vale $V_3 = \Delta T \times S_3 = (773 \text{ K} - 298 \text{ K}) \times 50 \text{ } \mu\text{V/K} \approx \mathbf{25 \text{ mV}}$ (si pensa di misurare temperature intorno ai 500°C), per cui scegliamo $G_3 = 100$. In questo caso il numero di livelli di quantizzazione minimo vale: $N_3 = D_{A/D}/(G_3 \times \Delta V_3) = 6 \text{ V} / (100 \times 17 \text{ } \mu\text{V}) \approx 3530$. Per cui il numero di bit richiesti è $n_3 = 12$ (= 4096 livelli).

Il quarto segnale è una misura di pressione statica, che quindi non ha problemi di velocità. A 10 m sotto il livello del mare avremo una pressione di 2 atm dovute alla somma della pressione atmosferica (1 atm) con la pressione idrostatica dovuto all'acqua marina sovrastante il sensore (0.1 atm / m). La dinamica stimata del segnale misurato sarà pari a: $V_4 = P \times S_4 = (2 \text{ atm} \times 101325 \text{ Pa / atm}) \times 15 \text{ mV/kPa} \approx 3 \text{ V}$, per cui scegliamo $G_4 = 1$. In questo caso il numero di livelli di quantizzazione minimo vale: $N_4 = D_{A/D}/(G_4 \times \Delta V_4) = 6 \text{ V} / (1 \times 1 \text{ mV}) \approx \mathbf{6000}$. Per cui il numero di bit richiesti è $n_4 = 13$ (= 8196 livelli).

Riepilogando, è necessaria una scheda con 4 canali, operanti in modalità differenziale, con frequenza di campionamento di almeno **160 kSa/s** (il quadruplo della più alta richiesta dal singolo segnale), con almeno **$n = 13$ bit**.

1c) Un tipico convertitore digitale adatto a questo tipo di misura è un convertitore analogico digitale ad approssimazione successive (200 kSa/s e 14 bit di risoluzione).

Se volessi acquisire tutti e cinque i segnali contemporaneamente su una nuova scheda di acquisizione non potrei più utilizzare un convertitore ad approssimazioni successive, che possiede una velocità massima di qualche MSa/s. Si dovrà quindi utilizzare un convertitore che possiede una frequenza di campionamento maggiore. Il convertitore che risponde a questi requisiti è un convertitore *pipeline*, che garantisca almeno 20 MSa/s per singolo canale (il segnale con frequenza maggiore presenta una banda di 10 MHz). Quindi per acquisire contemporaneamente tutti e cinque segnali servirà un *pipeline* con una frequenza di campionamento di almeno 100 MSa/s.

(25 min)

Esercizio 2

(svolgere su questo foglio e sul retro)

- 2a) Si descriva brevemente, aiutandosi con uno schema dello strumento, il principio di funzionamento di un voltmetro/convertitore *pipelined* senza ricorsione.
- 2b) Per questa tipologia di voltmetri si riportino dei valori tipici di risoluzione e velocità.
- 2c) Si disegni e si spieghi come funziona un voltmetro *pipelined* a ricorsione.
- 2d) Come dipendono la velocità della misura e la complessità circuitale di un convertitore *pipelined* in base al numero di bit del convertitore? Si confrontino queste caratteristiche con le corrispondenti per un voltmetro di tipo *flash*.
- 2e) Si scriva la formula dei bit equivalenti e se ne spieghi il significato confrontandola con quella del calcolo dei bit.

2a) Si vedano appunti e dispense del corso.

2b) Questa tipologia di voltmetri ha normalmente una risoluzione che varia dagli 8 bit a 16 bit, con velocità di conversione fino a 100 MSample/s, i modelli più evoluti possono arrivare a 200 MSample/s.

2c) Si vedano appunti e dispense del corso.

2c) In un voltmetro *pipelined* il tempo di conversione dipende dal numero di bit del singolo stadio di conversione. Una volta superato il ritardo iniziale dovuto al passaggio attraverso tutti gli stati di conversione, il convertitore lavora alla frequenza di conversione del convertitore utilizzato.

Al contrario in un voltmetro di tipo *flash* la velocità di conversione non varia con il numero di stadi, mentre la complessità circuitale aumenta esponenzialmente: la complessità circuitale cresce linearmente con numero di livelli $N=2^n$ e dunque esponenzialmente con il numero di bit.

2e) Si vedano appunti e dispense del corso.

(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 di intervallo temporale 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 100 ms quando viene misurata la frequenza di 10 kHz:

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

e cosa viene mostrato sul *display* misurando la stessa frequenza di 10 kHz in modalità periodo utilizzando un *clock* a 5 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 10 Hz l'inverso del tempo di apertura (100 ms). La frequenza scritta sul display sarà:

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

 x 10 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	0	5	0	0
---	---	---	---	---	---	---

 x 0.2 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)	50	51	52	53	54	55
Potenza (mW)	7.02	12.21	13.96	15.53	17.74	23.07

4a) Si riportino in un grafico i punti sperimentali misurati.

4b) 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).

4c) Si riporti nello stesso grafico 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:

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

4b) 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 $m = 2.81 \text{ mW/mA}$, che è anche l'efficienza differenziale e $q = -132.7 \text{ mW}$. Da cui possiamo calcolare la soglia in corrente del laser $I_0 = -q / m = 47.22 \text{ mA}$.

4a-c) Riportiamo in figura i punti sperimentali e la retta di regressione.

