

(40 min)

Esercizio DAQ

Con una scheda di acquisizione dati, simile a quelle impiegate nei laboratori didattici sperimentali di Via Golgi¹ si devono misurare i seguenti segnali:

- V_1 tensione di una batteria *transistor* (9 V)
- V_2 segnale analogico con ampiezza di picco-picco 4 V, massima frequenza spettrale 1 kHz e *offset* 100 mV
- V_3 segnale di temperatura in uscita da una termocoppia $V_{3,\min} = -100 \mu\text{V}$ e $V_{3,\max} = +800 \mu\text{V}$
- V_4 onda quadra TTL (0-5 V) a 10 kHz
- V_5 tensione di rete attenuata di 120 dB

a) Si ricavino i guadagni G_i ottimali dell'amplificatore, a passi decadici, per i 5 canali d'ingresso ($i = 1, 2, \dots, 5$), sapendo che il convertitore A/D ha una dinamica d'ingresso da 0 V a +1 V (unipolare) o da -1 V a +1 V (bipolare).

b) Si valuti la minima frequenza di campionamento necessaria per acquisire correttamente i segnali considerati. Si dica dunque se la scheda DAQ è adeguata alla misura.

c) Si calcoli l'incertezza di quantizzazione $u_{q,i}(V)$, per ciascuna delle 5 tensioni misurate.

d) Come si potrebbe acquisire un segnale di tensione V_6 pari a 1/10 della tensione di rete senza danneggiare la scheda e visualizzando correttamente picchi e valli dell'onda sinusoidale?

a) Si utilizza la scheda in modalità differenziale, in modo da poter acquisire correttamente il segnale proveniente dalla termocoppia (segnale intrinsecamente differenziale, che non potrebbe essere acquisito *single-ended*). Per adattare la dinamica del segnale in ingresso alla dinamica del convertitore A/D si utilizza il guadagno (o attenuazione) dell'amplificatore da strumentazione interno alla scheda: pertanto i valori di guadagno cercati si ricavano come rapporto tra la dinamica del convertitore e quella del segnale d'ingresso.

¹ Scheda DAQ con 8 ingressi differenziali, dinamica 0 ÷ 10 V unipolare oppure -10 V ÷ 10 V bipolare, 12 bit, frequenza massima del convertitore 200 kSa/s. Si ipotizzi che la scheda consenta di impostare per ciascun canale il tipo di segnale da acquisire (uni- o bi-polare) e uno specifico guadagno di ingresso a passi decadici (0.1, 1, 10, 100, 1000).

Il guadagno per il primo segnale in realtà è un'attenuazione: $G_1=1/10$, corrispondente ad una dinamica d'ingresso $0 \text{ V} \div 10 \text{ V}$, con modalità unipolare. La dinamica del secondo segnale va da -1.9 V a 2.1 V , quindi si mantiene lo stesso guadagno del canale 1, ma con modalità bipolare: $G_2=1/10$, corrispondente ora a una dinamica d'ingresso $-10 \text{ V} \div 10 \text{ V}$, con modalità bipolare. Per il terzo segnale si ha ancora modalità bipolare e dinamica d'ingresso da $-100 \mu\text{V}$ a $+800 \mu\text{V}$. Il guadagno da utilizzare è quindi $G_3=1000$, in modo da ottenere una dinamica d'ingresso da -1 mV a $+1 \text{ mV}$. Il quarto segnale, da 0 a 5 V , richiede un guadagno $G_4=1/10$ con dinamica unipolare, così da ottenere una dinamica d'ingresso da 0 a $+10 \text{ V}$. Il quinto segnale è una sinusoide a 50 Hz , con ampiezza rms pari a $220 \text{ V}/10^6 = 220 \mu\text{V}$ (120 dB corrispondono ad un fattore 10^6 in ampiezza), e dunque con un'ampiezza di picco $220 \times \sqrt{2} \mu\text{V} \approx 311 \mu\text{V}$ e naturalmente occorre utilizzare una dinamica bipolare. Il guadagno da utilizzare è $G_5=1000$, in modo da ottenere una dinamica d'ingresso da -1 mV a $+1 \text{ mV}$.

b) La scheda di acquisizione fornisce a ciascun canale una frequenza di campionamento pari alla frequenza del suo convertitore A/D divisa per il numero di canali utilizzati. In questo caso, con 5 canali, la frequenza massima di acquisizione di ogni canale vale $(200 \text{ kSa/s}) / 5 = 40 \text{ kSa/s}$.

Calcoliamo la minima frequenza di campionamento richiesta da ciascun segnale.

V_1 tensione di una batteria, in continua, quindi senza problemi di frequenza di campionamento (1 punto al secondo o anche più lentamente sarebbe sufficiente), 40 kSa/s sono sicuramente sovrabbondanti.

V_2 segnale analogico con massima frequenza $f_2 = 1 \text{ kHz}$, deve essere campionato con frequenza almeno $2f_2 = 2 \text{ kSa/s}$ per poter essere ricostruito correttamente attraverso interpolatori a *sinc* (teorema di Shannon). Dunque, la massima frequenza di campionamento, pari a 40 kSa/s , è sufficiente ad acquisire bene il segnale.

V_3 segnale di temperatura, tipicamente variabile in maniera piuttosto lenta (legata alle capacità e resistenze termiche del sistema sotto misura), 40 kSa/s sono quasi sicuramente sovrabbondanti.

V_4 onda quadra a 10 kHz , ha teoricamente un numero infinito di armoniche. In questo caso con 40 kSa/s si hanno 4 punti acquisiti su ciascun periodo, che potrebbero non essere sufficienti per una ricostruzione dell'onda quadra adeguata all'applicazione richiesta.

V_5 tensione di rete attenuata di 120 dB , a 50 Hz , è ricostruita in maniera adeguata con un campionamento a 40 kSa/s .

In conclusione la scheda è adeguata per l'acquisizione di tutti i segnali, con particolare attenzione però al segnale 4, che non è ricostruito adeguatamente. Se l'applicazione richiedesse di acquisire con precisione l'istante di salita del segnale TTL sarebbe necessario utilizzare un'altra scheda (più veloce), oppure acquisirlo con uno dei canali I/O digitali.

c) La scheda ha $n=12$ bit, il che corrisponde a $N=2^{12}=4096$ livelli. La risoluzione ΔV di ciascun canale è data dalla dinamica d'ingresso divisa per il numero di livelli, mentre l'incertezza associata all'errore di quantizzazione è pari a $\Delta V/\sqrt{12}$.
 V_1 dinamica d'ingresso $0\text{ V} \div 10\text{ V}$, risoluzione $\Delta V_1 = 10\text{ V} / 4096 \cong 2.44\text{ mV}$;
 $u(V_1) = \Delta V_1 / \sqrt{12} = 0.70\text{ mV}$.

V_2 dinamica d'ingresso $-10\text{ V} \div 10\text{ V}$, risoluzione $\Delta V_2 = 20\text{ V} / 4096 \cong 4.88\text{ mV}$;
 $u(V_2) = \Delta V_2 / \sqrt{12} = 1.4\text{ mV}$.

V_3 dinamica d'ingresso $-1\text{ mV} \div 1\text{ mV}$, risoluzione $\Delta V_3 = 2\text{ mV} / 4096 \cong 488\text{ nV}$;
 $u(V_3) = \Delta V_3 / \sqrt{12} = 140\text{ nV}$.

V_4 dinamica d'ingresso $0\text{ V} \div 10\text{ V}$, risoluzione $\Delta V_4 = 10\text{ V} / 4096 \cong 2.44\text{ mV}$;
 $u(V_4) = \Delta V_4 / \sqrt{12} = 0.70\text{ mV}$ (come per V_1).

V_5 dinamica d'ingresso $-1\text{ mV} \div 1\text{ mV}$, risoluzione $\Delta V_5 = 2\text{ mV} / 4096 \cong 488\text{ nV}$;
 $u(V_5) = \Delta V_5 / \sqrt{12} = 140\text{ nV}$ (come per V_3). Si può osservare che, anche se nel caso dei segnali V_3 e V_5 l'incertezza di quantizzazione è particolarmente bassa, il rumore elettronico della scheda DAQ sarà presumibilmente assai più elevato (non consentendo dunque di arrivare al limite teorico della quantizzazione).

d) Per acquisire un segnale di ampiezza rms 22 V , che corrispondono a 31.1 V di picco, è necessario attenuare il segnale. Una semplice possibilità è di utilizzare un attenuatore resistivo $1/10$, ad esempio implementato con due resistenze del valore di $900\text{ k}\Omega$ e $100\text{ k}\Omega$. Attenzione a non scegliere valori troppo bassi delle resistenze, che potrebbero caricare troppo il circuito in lettura (dipende dall'impedenza di uscita del segnale letto). In questo caso l'impedenza mostrata al "generatore di segnale" (rete $\times 1/10$) vale $1\text{ M}\Omega$. L'impedenza d'ingresso della DAQ che va in parallelo ad R_1 non dà alcun contributo, in quanto è molto elevata (superiore a $100\text{ G}\Omega$ per la scheda considerata).

limitate (poco più di 1 dB , corrispondente a una variazione del 25% circa).