

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 $V_{3,min} = -100 \mu V$ e $V_{3,max} = +800 \mu V$
- V_4 onda quadra TTL (0-5 V) a 10 kHz
- V_5 tensione di rete attenuata di 120 dB

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).

- 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).
- 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.
- Si calcoli l'incertezza di quantizzazione $u_q(V)$, per ciascuna delle 5 tensioni misurate.
- Come si potrebbe acquisire un segnale di tensione V_5 pari a 1/10 della tensione di rete senza danneggiare la scheda e visualizzando correttamente picchi e valli dell'onda sinusoidale?

d) we can attenuate it with a filter or resistive divider

a) $D_{ADC} = \pm 1$ or $+1 V$

$$D_{DAQ} = \begin{cases} \{ \pm 10; \pm 1; \pm 0.1; \pm 0.01; \pm 0.001 \} & \text{bipolar} \\ \{ +10; +1; +0.1; +0.01; +0.001 \} & \text{unipolar} \end{cases}$$

V_1 - unipolar - $D_1 = 9 V \Rightarrow G_1 = 0.1$

V_2 - bipolar - $D_2 = -1.9 V \text{ to } 2.1 V \Rightarrow G_2 = 0.1$

V_3 - Bipolar and differential - $D_3 = -0.1 mV \text{ to } 0.8 mV \Rightarrow G_3 = 1000$

V_4 - unipolar - $D_4 = 5 V \Rightarrow G_4 = 0.1$

V_5 - Bipolar - $D_5 = \pm 220 \cdot \sqrt{2} \cdot \frac{1}{10^{20}} = \pm 311 \mu V \Rightarrow G_5 = 1000$

b) V_1 and $V_3 \Rightarrow$ No freq requirements

$V_2 \Rightarrow f_{s2} = 2 \cdot f_{max} = 2 \text{ kHz}$

$V_4 \Rightarrow f_{s4} \Rightarrow$ TTL clock 2 points per period $\Rightarrow f_{s4} = 20 \text{ kHz}$

$V_5 \Rightarrow f_{s5} = 2 \cdot f_{max} = 2 \cdot 50 = 100 \text{ Hz}$

Max freq board $f_s = 200 \text{ kHz}!$

$f_{sDAQ} = \max \{ f_s \} = 5, 20 \text{ kHz} = 100 \text{ kHz}$

It works

c) $U(V) = \sigma = \frac{\Delta V}{\sqrt{12}}$

$V_1: \Delta V_1 = \frac{D_{Acq1}}{2^m} = \frac{10}{2^{12}}$

$V_2: \Delta V_2 = \frac{20}{2^{12}}$

$V_3: \Delta V_3 = \frac{0.002}{2^{12}}$

$U(V_1) = \frac{10}{2^{12} \sqrt{12}} = 0.70 mV$

$U(V_2) = \frac{20}{2^{12} \sqrt{12}} = 1.4 mV$

$U(V_3) = \frac{0.002}{2^{12} \sqrt{12}} = 140 mV$

$V_4: \Delta V_4 = \frac{10}{2^{12}}$

$U(V_4) = \frac{10}{2^{12} \sqrt{12}} = 0.7 mV$

$V_5: \Delta V_5 = \frac{0.002}{2^{12}}$

$U(V_5) = \frac{0.002}{2^{12} \sqrt{12}} = 140 mV$

1) Con una scheda di acquisizione dati, con dinamica d'ingresso bipolare, si devono misurare i seguenti segnali su un circuito:

V_1 tensione di alimentazione di una connessione USB (5 V);

V_2 segnale di *clock* della parte digitale: onda quadra TTL (0-5 V) a 18 000 Hz;

V_3 tensione generata ai capi di un circuito con 4 pile AAA messe in serie (ogni pila eroga una tensione di 1.5 V);

V_4 onda quadra alternata di ampiezza picco-picco 6 V con un periodo 1 ms;

V_5 segnale analogico con banda 20 kHz, dinamica ± 100 mV e risoluzione richiesta $\Delta V \leq 0.1$ mV.

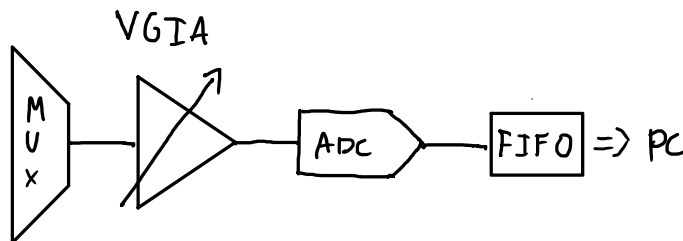
1a) Si descriva brevemente la struttura e il funzionamento di una scheda di acquisizione dati (DAQ), attraverso la spiegazione delle funzioni dei suoi blocchi principali.

1b) Si valuti la frequenza di campionamento f_c , la modalità di acquisizione e numero e tipo di canali della scheda per correttamente tutti i segnali "simultaneamente".

1c) Si imposti il guadagno ottimale per ciascun canale, sapendo che il convertitore A/D ha dinamica [-5 V ; +5 V] e i guadagni selezionabili sono $G = 0.5, 1, 10$ e 100.

1d) Si valuti il numero di bit della scheda necessario per l'applicazione specifica.

1a)



Mux - Multiplexer: Allows to select the channels which will be acquired and if they are in differential or single ended mode.

VGIA - Variable Gain Instrumentation Amplifier: Allows to change the input signal dynamic by amplifying, or attenuating it, thus allowing to better use the input dynamic of the ADC

ADC - Analog to Digital Converter: Samples and converts the signal into bits.

FIFO: First Input, first output type of memory that allows the DAQ board to send data to a computer, either by interacting with the motherboard's uC and sending the data via interrupts, or via DMA (direct memory access).

1b) V_3 requires differential mode!

So 10 channels in differential mode are needed

$$V_5: f_s = 5 \cdot \max\{f_s\} = 200 \text{ kHz}$$

$$1c) D_{ADC} = \pm 5 \text{ V}$$

$$G = \{0.5; 1; 10; 100\}$$

$$D_{DAQ} = \{\pm 10; \pm 5; \pm 0.5; \pm 0.05\}$$

$$V_1 \Rightarrow G_1 = 1$$

$$V_2 \Rightarrow G_2 = 1$$

$$V_3 \Rightarrow G_3 = 0.5$$

$$V_4 \Rightarrow G_4 = 1$$

$$V_5 \Rightarrow G_5 = 10$$

$$1d) \Delta V = \frac{D}{2^m}$$

$$m \geq \log_2 \left(\frac{1}{0.1 \cdot 10^{-3}} \right) \Leftrightarrow m \geq 13.3 \text{ bit}$$

$$m = 14 \text{ bit}$$

2) Disponendo di un sistema di acquisizione dati costituito da una scheda DAQ con 8 ingressi (in modalità *single-ended*), amplificatore per strumentazione con guadagno unico (anche per più canali acquisiti) una variabile (1, 10, 100 e 1000), 12 bit di risoluzione, dinamica del convertitore ± 5 V, e massima frequenza di campionamento 1 MHz, si vogliono acquisire i seguenti segnali:

Segnale	Dinamica tensione	Dinamica spettrale
s_1	da 0 V a 0.05 V	da 0 Hz a 100 kHz
s_2	da 0 μ V a 250 μ V	da 0 Hz a 10 Hz
s_3	da -0.1 V a 0.1 V	da 0 Hz a 50 kHz
s_4	sinusoide alternata con ampiezza di picco 500 mV	$f_c = 10$ kHz

2a) Impiegando una configurazione di acquisizione differenziale, quali segnali possono essere contemporaneamente acquisiti?

2b) Sapendo che il guadagno dell'amplificatore per strumentazione è fisso per tutti i canali acquisibili si determini il valore ottimale di tale guadagno e la risoluzione della scheda (sul segnale d'ingresso).

2c) La presenza di disturbi e rumori elettronici sulla alimentazione della scheda induce un rumore elettronico equivalente all'interno del convertitore A/D pari a 2 mV (valore efficace). Determinare il numero di bit equivalenti con cui opera il convertitore A/D in presenza di tale rumore e la risoluzione effettiva della scheda.

2d) Per uno strumento di misura, in generale, si riportino le definizioni di: stabilità, risoluzione e accuratezza.

2a) We have 8 single ended channels \Rightarrow we can acquire 4 differential channels

$$\text{And } f_s = n_{\text{signals}} \cdot \max\{f_{s_{\text{signals}}}\} = 4 \cdot 200 \text{ KHz} = 800 \text{ KHz}$$

Since $800 \text{ KHz} < 1 \text{ MHz}$ we acquire all signals.

2b) $D_1 = 0.05 \text{ V}$

$D_2 = 0.25 \text{ mV}$

$D_3 = \pm 0.1 \text{ V}$

$D_4 = \pm 0.5 \text{ V}$

$$D_{\text{DAQ}} = \left\{ \pm 5 ; \pm 0.5 ; \pm 0.05 ; \pm 0.005 \right\}$$

$G = 10$! so we can acquire all signals the gain must be 10

$$\Delta V = \frac{D}{2^n} = 0.24 \text{ mV} \quad \text{signal 2 will not be acquired}$$

2c) $\sigma_{A/D} = 2 \text{ mV rms} \quad \sigma_Q^2 = \frac{\Delta V^2}{12} = \left(\frac{D_{A/D}}{2^n \sqrt{12}} \right)^2$

$$m_e = n - \frac{1}{2} \log_2 \left(1 + \frac{\sigma_{A/D}^2}{\sigma_Q^2} \right) \Leftrightarrow m_e = 12 - \frac{1}{2} \log_2 \left(1 + \frac{(2 \times 10^{-3})^2}{\left(\frac{10}{2^{12} \sqrt{12}} \right)^2} \right) = 10.4 \text{ bit}$$

$$\Delta V_{\text{AD}} = \frac{D_{\text{AD}}}{2^{10}} = 9.8 \text{ mV}$$

$$\Delta V_{\text{DAQ}} = \frac{\Delta V_{\text{AD}}}{G} \approx 1 \text{ mV}$$

d) stability: Ability to maintain the measurement capabilities the same over time.

Resolution: Minimum change that can be measured / perceived by the instrument

Accuracy: The closeness of the measured value to the real value

Avendo a disposizione una scheda di acquisizione con le seguenti caratteristiche:
 16 ingressi analogici *single-ended* (singoli); periodo di campionamento $T_c = 1 \mu s$, 12 bit di risoluzione con una dinamica della tensione di ingresso da $-5 V$ a $+5 V$,

a) Dire se i seguenti segnali possono essere acquisiti "simultaneamente" (acquisizione sequenziale):

$S_1: f_{max,1} = 250 \text{ kHz}$, dinamica segnale $-1 V \leq V_1 \leq 1 V$;

$S_2: f_{max,2} = 2 \text{ kHz}$, dinamica segnale $-10 \text{ mV} \leq V_2 \leq 10 \text{ mV}$;

$S_3: f_{max,3} = 10 \text{ Hz}$, dinamica segnale $100 \text{ mV} \leq V_3 \leq 2 V$;

$S_4: f_{max,4} = 10 \text{ kHz}$, dinamica segnale $-500 \text{ mV} \leq V_4 \leq 0 V$;

$S_5: f_{max,5} = 0.1 \text{ MHz}$, dinamica segnale $-0.05 \text{ mV} \leq V_5 \leq 0.05 \text{ mV}$.

$$f_s = \frac{1}{T_c} = 1 \text{ MHz}$$

$$a) f_{sDAQ} \geq n_{signals} \cdot Max \{ f_{signal} \} \Leftrightarrow$$

$$f_{sDAQ} \geq 5 \cdot 500 \text{ kHz} = 2.5 \text{ MHz} \Rightarrow S_1 \text{ can't be acquired}$$

$$\text{so we can only acquire } S_{2,3,4,5} \quad (f_{sDAQ} \geq 4 \cdot 200 \text{ kHz} = 800 \text{ kHz}!)$$

$$c) f_s = \frac{1 \text{ MHz}}{4} = 250 \text{ kHz}$$

$$f_{signal} = 2 \cdot f_s \Rightarrow f_{signal \text{ Max}} = \frac{250}{2} \text{ kHz} = 125 \text{ kHz}$$

b) Per i segnali acquisibili "simultaneamente" calcolare il guadagno dell'amplificatore per strumentazione a monte del convertitore A/D al fine di ottenere la massima risoluzione su ogni canale (N.B. il guadagno per ogni canale può essere differente).

c) Data la configurazione di acquisizione scelta, quale è la massima frequenza acquisibile per un singolo canale?

$$b) D_{AO} = \pm 5 V$$

$$S_2: D_2 = \pm 10 \text{ mV} \quad G = \frac{D_{AO}}{D_2} = 500$$

$$S_3: D = 2 V \text{ to } 100 \text{ mV}$$

$$G = \frac{V_{ADC \text{ max}}}{V_{3 \text{ max}}} = \frac{5}{2} = 2.5$$

$$S_4: D = 0 \text{ to } -0.5 V$$

$$G = \frac{V_{ADC \text{ min}}}{|V_{4 \text{ min}}|} = 10$$

$$S_5: D_5 = \pm 0.05 \text{ mV}$$

$$G = \frac{D_{AO}}{D_5} = 10^5$$