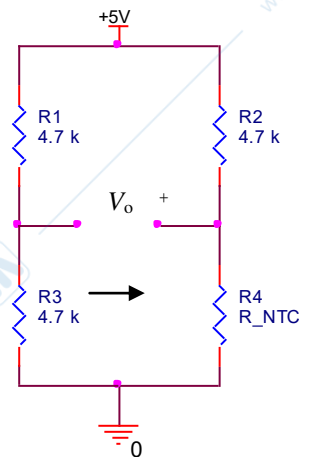


ESERCIZIO SU NTC E SCHEDA

da MISURE PER L'AUTOMAZIONE lunedì 22 novembre 2004

Desideriamo effettuare la misura dei parametri caratteristici (R_0 e β) di un sensore NTC attraverso il ponte resistivo riportato in figura ($R_1=R_2=R_3=4.7\text{ k}\Omega$). Alla temperatura di 25°C il ponte è perfettamente bilanciato ($V_{o,25}=0\text{ V}$), mentre a 40°C misuriamo una tensione di uscita $V_{o,40}=-0.778\text{ V}$.



3a) Si descrivano le caratteristiche di un sensore di temperatura NTC e le sue applicazioni tipiche nei sistemi di misura.

3b) Si ricavino i valori dei parametri (R_0 e β) dell'NTC impiegato in questa misura.

3c) Decidiamo di utilizzare 7 di questi sensori per misurare la temperatura in 7 posizioni diverse di un locale, campionando 10 volte al secondo ciascun sensore. Abbiamo a disposizione una scheda di acquisizione a 12 bit, 16 canali *single-ended*, 10 kSa/s, con 4 dinamiche d'ingresso possibili: $\pm 10\text{ V}$, $\pm 1\text{ V}$, $\pm 100\text{ mV}$, $\pm 10\text{ mV}$. Ci interessa misurare una temperatura che può variare da 10°C a 40°C . Si descriva come effettuare la misura e tutte le impostazioni della scheda.

3d) Per la misura del punto 3c si calcoli la risoluzione del sistema di misura di temperatura a 25°C e a 40°C .

3e) Supponendo che la misura del punto 3b non sia stata particolarmente accurata (solo due punti misurati), che metodo di misura si potrebbe utilizzare per stimare meglio (magari con più punti di misura) i parametri dell'NTC?

3f) Oltre ai 7 canali di temperatura, abbiamo la necessità di acquisire un altro segnale analogico, con banda 1 kHz, dinamica $\pm 0.5\text{ V}$, con una incertezza pari a 0.2 mV. Riusciamo ad acquisirlo correttamente con la scheda a nostra disposizione? Motivare la propria risposta.

SOLUZIONE

3a) Si vedano gli appunti e le dispense del corso

3b) In prima approssimazione la resistenza di un NTC è data dalla relazione esponenziale

$R_{NTC} = R_0 e^{-\beta\left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T}\right)}$, dove $T_0=298.15\text{ K}$ (25°C). Il ponte in figura è bilanciato quando tutte le resistenze sono uguali, quindi $R_{NTC,25}=R_1=4.7\text{ k}\Omega$.

Alla temperatura di 25°C l'esponente si annulla, quindi $R_0=R_{NTC,25}=4.7\text{ k}\Omega$ (del resto R_0 è proprio definito come la resistenza dell'NTC a 25°C).

Alla temperatura di 40°C , invece, la tensione di uscita del ponte vale:

$$V_o = \left(\frac{R_{NTC,40}}{R_{NTC,40} + R_2} - \frac{R_3}{R_3 + R_1} \right) \times 5\text{V} = \left(\frac{R_{NTC,40}}{R_{NTC,40} + 4.7\text{ k}\Omega} - 0.5 \right) \times 5\text{V}$$

Per cui $\frac{R_{NTC,40}}{R_{NTC,40} + 4.7\text{ k}\Omega} = \frac{V_{o,40}}{5\text{V}} + 0.5 = 0.3443$

$$R_{NTC,40} = \frac{0.3443}{1 - 0.3433} \times 4.7 \text{ k}\Omega = 2.468 \text{ k}\Omega$$

Ricaviamo quindi β invertendo l'equazione dell'NTC:

$$\beta = \frac{T_0 T}{T_0 - T} \ln \left(\frac{R_{NTC,40}}{R_0} \right) = \frac{298.15 \times 313.15}{298.15 - 313.15} \ln \left(\frac{2.468}{4.7} \right) \cong 4010 \text{ K}$$

3c) Possiamo acquisire contemporaneamente i 7 segnali in modalità differenziale (acquisiamo direttamente le sette tensioni V_o) in quanto abbiamo a disposizione 8 canali differenziali (la metà dei 16 *single-ended*). Costruiamo quindi 7 ponti resistivi come quello in figura (in realtà ci si può limitare a duplicare solo il ramo di misura, mantenendo un solo ramo di riferimento) e colleghiamo i 7 canali differenziali ai corrispondenti ponti da misurare.

Desideriamo acquisire 10 campioni al secondo per ogni canale, quindi la velocità del campionatore dovrà almeno essere pari a 70 Sa/s. La nostra scheda può arrivare fino a 10 kSa/s, quindi riesce ampiamente ad effettuare la misura.

Per decidere la dinamica d'ingresso della scheda valutiamo la dinamica del segnale che dobbiamo misurare.

Nel caso di 10°C $R_{NTC} = R_0 e^{-\beta \left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T} \right)} = 4.7 e^{-4010 \left(\frac{1}{298.15} - \frac{1}{283.15} \right)} \text{ k}\Omega \cong 9.5837 \text{ k}\Omega$, per cui la tensione di uscita del ponte vale:

$$V_{0,10} = \left(\frac{R_{NTC}}{R_{NTC} + R_2} - \frac{R_3}{R_3 + R_1} \right) \times 5\text{V} = \left(\frac{R_{NTC}}{R_{NTC} + 4.7 \text{ k}\Omega} - 0.5 \right) \times 5\text{V} \cong 0.855 \text{ V}$$

Mentre nel caso di 40°C $R_{NTC} = R_0 e^{-\beta \left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T} \right)} = 4.7 e^{-4010 \left(\frac{1}{298.15} - \frac{1}{313.15} \right)} \text{ k}\Omega \cong 2.4678 \text{ k}\Omega$, per cui la tensione di uscita del ponte vale:

$$V_{0,40} = \left(\frac{R_{NTC}}{R_{NTC} + R_2} - \frac{R_3}{R_3 + R_1} \right) \times 5\text{V} = \left(\frac{R_{NTC}}{R_{NTC} + 4.7 \text{ k}\Omega} - 0.5 \right) \times 5\text{V} \cong -0.778 \text{ V}$$

(esattamente il valore dato nel testo, il calcolo è stato ripetuto solo per controllo).

La dinamica da impostare sulla scheda è la più piccola, che contenga interamente il segnale da misurare (così si ottiene la migliore risoluzione). In questo caso tale dinamica è $\pm 1 \text{ V}$.

3d) La risoluzione in temperatura è limitata dalla risoluzione della nostra scheda. Per la dinamica impostata la risoluzione della scheda vale $\Delta V = \frac{\pm 1}{2^n} \text{ V} = \frac{2}{4096} \text{ V} \cong 0.49 \text{ mV}$.

Per ottenere la risoluzione in temperatura è necessario calcolare la sensibilità del nostro sensore.

La sensibilità del sistema di misura, derivata della variabile di uscita rispetto all'ingresso, vale:

$$S = \frac{\partial V}{\partial T} = \frac{\partial V}{\partial R_{NTC}} \frac{\partial R_{NTC}}{\partial T} = V_R \frac{R_2}{(R_{NTC} + R_2)^2} R_{NTC} \left(-\frac{\beta}{T^2} \right)$$

Dove $V_R = 5 \text{ V}$ è la tensione di alimentazione del ponte.

Sostituendo i valori, la sensibilità a 25°C vale $S = -56.4 \text{ mV/K}$.

A 40°C invece si ottiene una sensibilità pari a $S = -46.2 \text{ mV/K}$. Come è ragionevole, a temperatura più alte diminuisce la sensibilità dell'NTC rispetto alle variazioni di temperatura e quindi diminuisce anche la sensibilità del nostro sistema di misura.

Per cui la risoluzione in temperatura a 25°C e a 40°C vale rispettivamente $\Delta T_{25} = \Delta V / (56.4 \text{ mV/K}) \cong 8.6 \text{ mK}$ e $\Delta T_{40} = \Delta V / (46.2 \text{ mV/K}) \cong 10.6 \text{ mK}$.

Volendo è possibile verificare l'ordine di grandezza delle sensibilità ottenute con una semplice prova: la tensione a 25°C vale $V_{0,25} = 0 \text{ V}$, mentre a 40°C vale $V_{0,40} = -0.778 \text{ V}$. Per cui ad un salto $\Delta T = 15 \text{ K}$ corrispondono -0.778 V di variazione di uscita. Da questi valori si ricava una sensibilità media pari a $-778 \text{ mV} / 15 \text{ K} = -51.8 \text{ mV/K}$, che difatti è un valore intermedio tra i due precedentemente calcolati.

Da notare che questo valore non è la media esatta, perché la relazione è di tipo esponenziale.

3e) Per stimare meglio i due parametri dell'NTC si potrebbero effettuare più misure a diverse temperature. Attraverso una tecnica di regressione ai minimi quadrati sarebbe quindi possibile ricavare i due valori che meglio approssimano i punti misurati sperimentalmente. Data la semplicità dell'equazione è possibile utilizzare la regressione lineare, dopo aver riportato l'equazione caratteristica dell'NTC ad una relazione lineare, con un opportuno cambiamento di variabile (ad esempio utilizzando T e $\ln(R_{NTC}/R_0)$).

3f) Finora abbiamo utilizzato 7 canali differenziali, per cui ne resta uno libero per il nuovo segnale. Controlliamo se la velocità e la risoluzione della scheda soddisfano le richieste.

La dinamica del segnale è $\pm 0.5 \text{ V}$, per cui dobbiamo usare per la scheda la dinamica d'ingresso $\pm 1 \text{ V}$. Questa dinamica, con 12 bit, comporta una risoluzione $\Delta V = \frac{\pm 1}{2^n} \text{ V} = \frac{2}{4096} \text{ V} \cong 0.49 \text{ mV}$.

L'incertezza di quantizzazione vale dunque $u(V) = \frac{\Delta V}{\sqrt{12}} \cong 0.14 \text{ mV} < 0.2 \text{ mV}$, quindi la nostra scheda è abbastanza accurata.

Per quanto riguarda la velocità, abbiamo 8 canali, per cui la velocità massima di campionamento di ogni canale vale $10 \text{ kSa/s} / 8 = 1.25 \text{ kSa/s}$. Questa velocità di campionamento non è sufficiente per ricostruire in maniera corretta un segnale con banda di 1 kHz , in quanto avremmo bisogno di almeno 2 kSa/s . Per cui il nostro sistema non è in grado di soddisfare le specifiche di velocità richieste.