



Progetto di un termometro

Utilizzando il sensore di temperatura AD590, progettare un circuito che fornisca una tensione compresa tra 0 e 10 V in corrispondenza di una variazione di temperatura da 0 a 100 °C e visualizzare il risultato su un voltmetro; alimentazione disponibile ±12 V.

Gli obiettivi impliciti del progetto, oltre a raggiungere una familiarità con le problematiche connesse con l'amplificazione dei segnali, sono:

- 1 il calcolo della imprecisione complessiva del sistema progettato;
- 2 l'opportunità di ricondurre la taratura ad un numero minimo di punti;
- 3 la stesura di una procedura di taratura la più semplice.

Analisi del problema e schema a blocchi

Il sensore di temperatura AD590 (fig. 1) è un dispositivo integrato che, una volta alimentato con tensione compresa tra 4 e 30 V, consuma una corrente proporzionale alla temperatura assoluta nella forma $I = k \cdot T$ con $k = 1 \mu\text{A/K}$, cioè 273,2 μA a 0 °C (273,2 K)

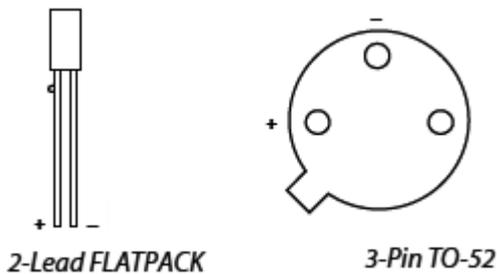


Fig. 1. AD590.

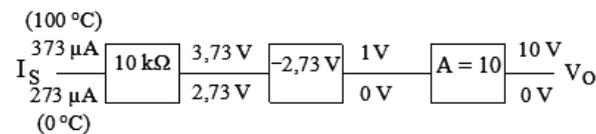


Fig. 2. Schema a blocchi.

L'informazione fornita dal sensore è quindi una corrente compresa tra 273 μA (0 °C) e 373 μA (100 °C), da convertire in tensione mediante una resistenza

di caduta e da amplificare con valori compresi tra 0 e 10 V. Utilizzando una resistenza da 10 k Ω , l'informazione diventa una tensione compresa tra 2,73 V e 3,73 V con $\Delta V = 1 \text{ V}$. È bene quindi sottrarre in modo stabile 2,73 V e amplificare per 10 la parte rimanente (fig. 2).

Soluzione circuitale

Riportando amplificazione e sottrazione in un solo stadio (fig. 3), per il principio di sovrapposizione degli effetti l'uscita V_o vale:

$$V_o = V_r \cdot \left(-\frac{R_2}{R_1}\right) + V_i \cdot \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)$$

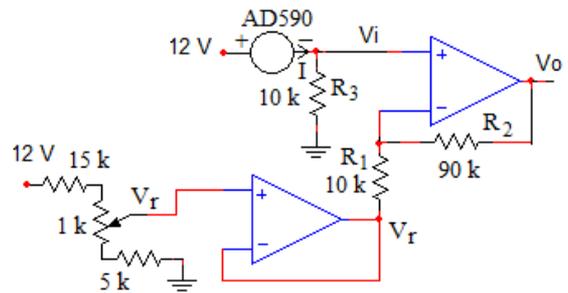


Fig. 3. Amplificatore sottrattore.

Sostituendo i valori di V_i e V_o nei due casi estremi di misura (0 °C e 100 °C), si ottiene un sistema a due equazioni che, risolto, permette di ricavare il valore di R_2 / R_1 e V_r :

$$\begin{cases} 10 = 3,73 \cdot \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) - V_r \cdot \frac{R_2}{R_1} \\ 0 = 2,73 \cdot \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) - V_r \cdot \frac{R_2}{R_1} \end{cases}$$

$$\frac{R_2}{R_1} = 9 \quad (R_1 = 10 \text{ k}\Omega, R_2 = 90 \text{ k}\Omega) \\ V_r = 3,03 \text{ V}$$

Per ottenere $V_r = 3,03 \text{ V}$ a partire dai 12 V di alimentazione, si può utilizzare un partitore resistivo 5 k Ω , 15 k Ω , seguito da un buffer non invertente per poter pilotare senza errori il circuito a valle; in caso contrario, infatti, la resistenza equivalente del partitore ($R_{eq} = 3,75 \text{ k}\Omega$) andrebbe a sommarsi ad R_1 , modificando il guadagno dell'amplificatore durante la taratura stessa di V_r .

Valutazione degli errori

• Offset

Per il calcolo della tensione di offset in uscita, è comodo suddividere il circuito in due stadi; si ipotizzi di utilizzare l'operazionale LF351, i cui parametri di offset massimi valevoli su tutto il range termico operativo sono $V_{IO} = 13 \text{ mV}$, $I_B = 8 \text{ nA}$, $I_{OS} = 4 \text{ nA}$; si annullino i generatori esterni (fig. 4) e si applichino infine le formule note.

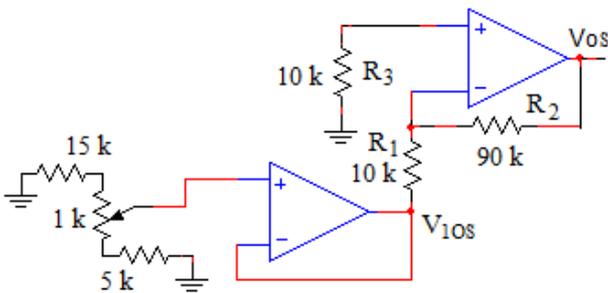


Fig. 4. Circuito per il calcolo dell'offset.

$$V_{I0S} = V_{IO} + (I_B + \frac{1}{2} \cdot I_{OS}) \cdot (15,5 \text{ k} // 5,5 \text{ k}) \approx 13 \text{ mV}$$

$$V_{OS} = (V_{IO} + I_{OS} \cdot R_3) \cdot (1 + R_2/R_1) + V_{I0S} \cdot R_2/R_1 = 117 \text{ mV} + 130 \text{ mV} = 247 \text{ mV}$$

Riportando l'offset di tensione in gradi:

$$10 \text{ V}: 100 \text{ }^\circ\text{C} = 0,25 \text{ V}: x \text{ }^\circ\text{C}$$

$$x = 2,5 \text{ }^\circ\text{C}$$

L'errore di offset è rilevante, ma la sua taratura può essere inglobata nella taratura di V_r .

• Variazioni nella tensione di riferimento

Considerando una variazione di 100 mV nella tensione di alimentazione (0,8%), questa provoca una variazione della tensione di riferimento V_r :

$$\Delta V_r = \Delta V_{CC} \cdot 5 \text{ k} / (5 \text{ k} + 15 \text{ k}) = \Delta V_{CC} / 4 = 25 \text{ mV}$$

e quindi della tensione di uscita:

$$\Delta V_o = \Delta V_r \cdot R_2 / R_1 = 25 \text{ mV} \cdot 9 = 225 \text{ mV}$$

corrispondente a 2,2 °C.

Il circuito di costruzione della tensione di riferimento va quindi sostituito con uno più stabile, per esempio un diodo Zener con trimmer (fig. 5).

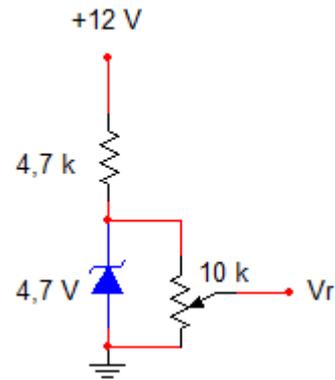


Fig. 5. Tensione di riferimento.

• Imprecisione delle resistenze di guadagno

Il guadagno complessivo del sistema:

$$\frac{\Delta V_o}{\Delta I} = R_3 \cdot (1 + \frac{R_2}{R_1})$$

risente delle imprecisioni delle resistenze coinvolte nel prodotto e nel rapporto. In entrambi i casi l'errore relativo complessivo vale la somma dei singoli errori relativi, perciò:

$$\epsilon_{r \text{ tot}} = \epsilon_{rR3} + \epsilon_{rR2} + \epsilon_{rR1}$$

Anche considerando di utilizzare resistenze all'1%, l'imprecisione complessiva rende indispensabile un ulteriore trimmer (T_2) di taratura del guadagno (fig. 6).

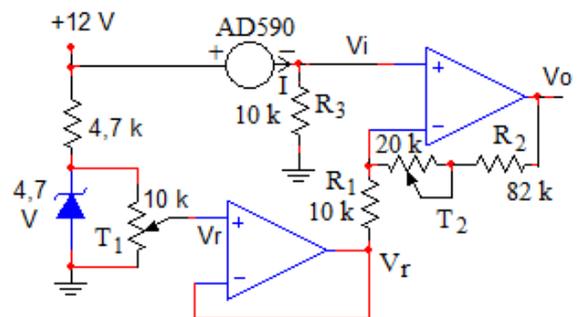


Fig. 6. Circuito finale.

• Taratura del circuito

La procedura di taratura di un circuito di adattamento di segnale è descritta nel testo di teoria.

Nel laboratorio scolastico, la taratura può essere ottenuta con il sensore a temperatura ambiente e con un termometro a mercurio quale riferimento:

- supponendo che il sensore sia alla temperatura ambiente di 20 °C (letta con il termometro a mercurio), misurare la tensione effettivamente fornita dal sensore sulla 10 kΩ e sostituire al

gruppo sensore-resistenza una tensione campione di 200 mV inferiore, pari al segnale fornito dal trasduttore a 0 °C;

- regolare il trimmer T_1 in modo da ottenere $V_o = 0$ V (questa taratura annulla tutti gli offset della catena, sia del sensore, sia degli operazionali);
- collegare il sensore e regolare T_2 fino a leggere in uscita una tensione corrispondente alla temperatura ambiente (per esempio $V_o = 2$ V per $T = 20$ °C);
- ripetere le operazioni dall'inizio per affinare la taratura.

• Altra soluzione

Una seconda soluzione può essere ottenuta con il convertitore corrente tensione riportato in **fig. 7**.

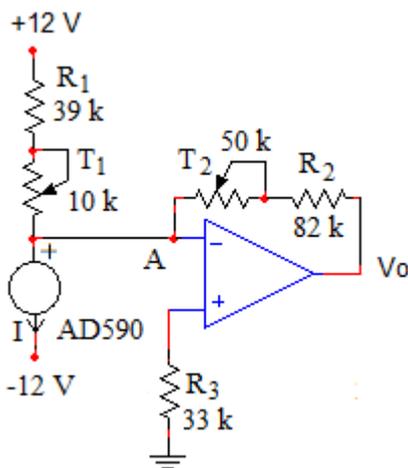


Fig. 7. Convertitore corrente tensione.

Il blocco sottrattore è costituito dal nodo A; se si tara opportunamente il trimmer T_1 , in modo che in esso fluisca esattamente una corrente di 273 μ A:

$$R_1 + T_1 = \frac{12 \text{ V}}{273 \mu\text{A}} = 43,95 \text{ k}\Omega$$

La corrente che attraversa la resistenza di retroazione R_2 è nulla a 0 °C e uguale a 100 μ A a 100 °C. A questo punto, per ottenere in uscita 0 V per 0 °C e 10 V per 100 °C, è sufficiente dimensionare correttamente la retroazione:

$$R_2 + T_2 = \frac{10 \text{ V}}{100 \mu\text{A}} = 100 \text{ k}\Omega$$

Tale soluzione presenta comunque due punti di taratura e ancora una pericolosa dipendenza dalla stabilità dell'alimentazione +12 V.

Un ulteriore approfondimento sulle prestazioni del circuito può consistere nel calcolo dell'errore dovuto alla deriva termica dell'offset per variazioni di ± 20 °C nella temperatura ambiente, supponendo di aver eseguito la taratura a 20 °C; oppure in modo pratico, tenendo lontano il sensore, verificare la presenza del difetto di deriva termica sottoponendo il solo circuito adattatore a un riscaldamento artificiale, per esempio mediante un asciugacapelli.