

Misura della temperatura con sensore LM335

Questa relazione è stata effettuata in data 07/11/2024 dal gruppo 3 del laboratorio di SETM, formato da Carbone Orazio (S300511), Dandolo Giacomo (S296525), Favellato Francesco (S312697) e Genduso Cristina (S293536).

1 Caratteristiche dell'esperienza

1.1 Obiettivo

L'obiettivo di questa esperienza è sviluppare un termometro digitale utilizzando un sensore elettronico di temperatura e una scheda Arduino Uno. Per fare ciò, sono stati progettati il circuito di condizionamento del sensore e implementate funzioni di acquisizione e analisi dei dati per la misura della temperatura. Una parte significativa del lavoro è dedicata alla valutazione dell'incertezza associata alle misure.

1.2 Materiale utilizzato

1. Componenti elettronici:

- sensore di temperatura LM335;
- scheda Arduino Uno;
- resistenze per il circuito di condizionamento.

2. Software:

- IDE Arduino per la programmazione delle funzioni di acquisizione e di analisi dei dati;
- Serial Monitor per la lettura dei valori usati per il calcolo della temperatura.

3. Strumentazione:

- multimetro digitale Hewlett Packard 34401A;
- PC con porta USB per il collegamento alla scheda Arduino Uno.

1.3 Descrizione del sensore LM335

Il sensore LM335 è un sensore di temperatura che opera come diodo Zener, con una tensione di breakdown proporzionale alla temperatura assoluta (T) espressa in Kelvin. La relazione fondamentale è:

$$V_{out} = 10 \frac{mV}{K \cdot T}$$

Le sue caratteristiche principali sono:

- sensibilità S ;

$$S = 10 \frac{mV}{K}$$

- campo operativo C_o ;

$$C_o = (-40 \pm 100) ^\circ C$$

- incertezza nominale massima $I_{n,max}$ a $25^\circ C$;

$$I_{n,max} = \pm 2 ^\circ C$$

- corrente operativa I_o :

$$I_o = (0.4 \pm 5) mA$$

2 Circuito di condizionamento

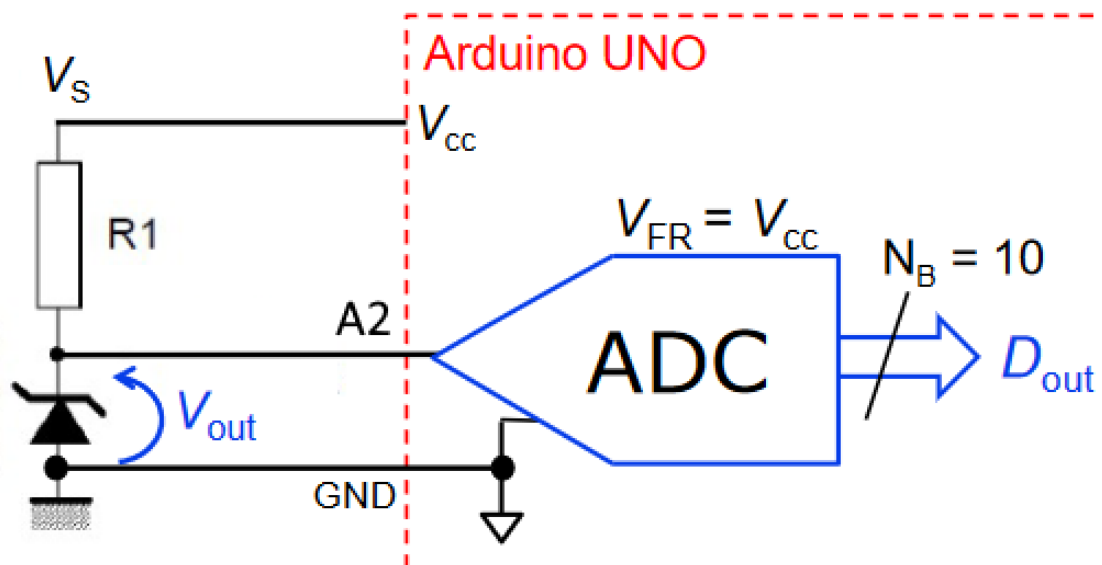
2.1 Progettazione

Il sensore è stato polarizzato inversamente per garantire un'uscita proporzionale alla temperatura. E' stato scelto un valore adeguato per R_1 , tenendo conto della corrente nominale del sensore e della tensione V_s fornita dalla scheda Arduino.

$$V_s = 5 V$$

Il sensore è stato collegato all'ingresso analogico A2 della scheda Arduino Uno, con il riferimento V_{cc} impostato sulla tensione di alimentazione V_s attraverso una porta USB 3.0.

$$V_{cc} = V_s = 5 V$$



Rappresentazione dello schema di principio del circuito di condizionamento

2.2 Configurazione e acquisizione dei dati

L'ADC della scheda Arduino è stato configurato con una risoluzione a $N_b = 10$ bit. Si ha, inoltre, una tensione Full Range $V_{FR} = V_{cc}$. Sono stati campionati i dati del sensore D_{out} a intervalli regolari e convertiti in valori di temperatura utilizzando la seguente funzione di taratura:

$$T = D_{out} \cdot \frac{V_{FR}}{2^{N_b}} \cdot \frac{1}{S}$$

2.3 Valutazione dell'incertezza

Sono stati considerati i contributi di incertezza relativi come segue:

- precisione del sensore δ_s ;

$$\delta_s = 2.00 \text{ } ^\circ C$$

- tensione di riferimento δ_{cc} ;

$$\delta_{cc} = 0.05 \text{ } ^\circ C$$

- quantizzazione e non linearità dell'ADC δ_q ;

$$\delta_q = \frac{1}{2} LSB = 0.25 \text{ } ^\circ C$$

L'incertezza complessiva è stata calcolata considerando tutti i contributi principali definiti.

$$\delta T_{tot} = \sqrt{\delta_s^2 + \delta_{ADC}^2 + \delta_q^2} \approx 2.02 \text{ } ^\circ C$$

2.4 Esempio di misurazione

Eseguendo una misurazione attraverso il sensore e utilizzando il Serial Monitor, abbiamo registrato una temperatura di $T = 298.55 \text{ K}$.

Successivamente, utilizzando il multimetro digitale, abbiamo misurato una tensione di uscita di $V_{out} = 2.98 \text{ V}$. Per provare che il circuito sia corretto, utilizziamo una formula inversa per trovare la temperatura a partire dalla tensione di uscita e dalla sensibilità.

$$V_{out} = S \cdot T \Rightarrow T = \frac{V_{out}}{S} = 298.00 \text{ K}$$

Si noti come, rispetto al valore ottenuto dalla scheda Arduino, si ha una differenza di meno di 0.55 K , che risulta compatibile con l'incertezza.

2.5 Discussione dell'analisi

L'analisi dell'incertezza ha evidenziato che la misura della temperatura è soggetta a una fonte di incertezza principalmente legata alla precisione intrinseca del sensore LM335. Utilizzando una tensione di riferimento interna $V_{int} = 1.1 \text{ V}$ più stabile, sarebbe possibile ridurre ulteriormente l'incertezza complessiva. Inoltre, il contributo dell'errore di quantizzazione dell'ADC, sebbene limitato, può diventare rilevante a basse risoluzioni.

La misura effettuata con il multimetro digitale ha confermato la validità delle letture fornite dal sistema Arduino, dimostrando una buona coerenza tra i risultati.

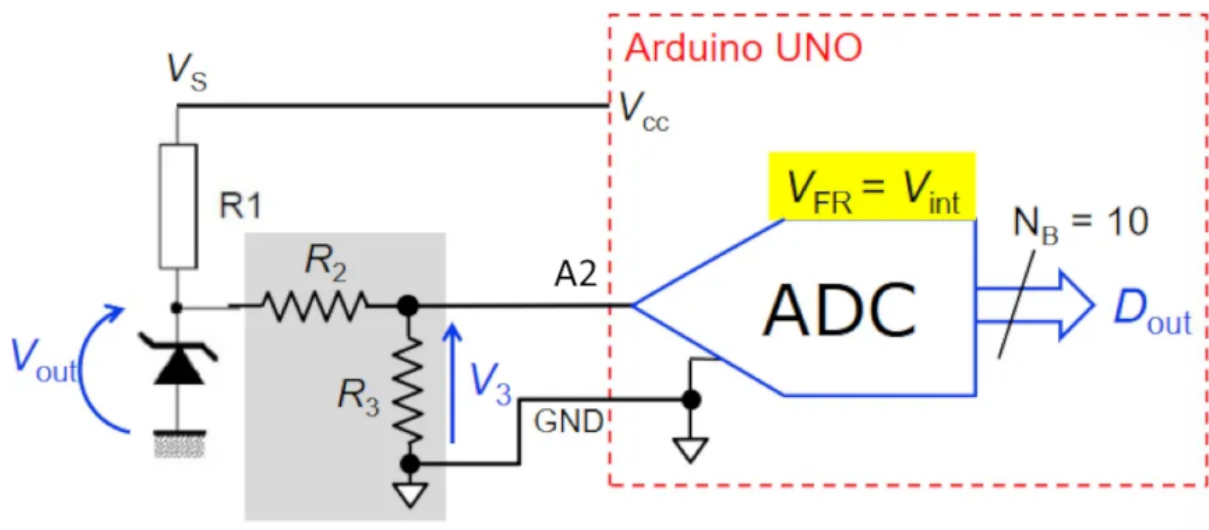
3. Proposta di modifica del circuito

Per migliorare la qualità delle misure, si potrebbe implementare un circuito modificato con le seguenti caratteristiche:

1. uso di un riferimento di tensione interno;
 - configurare l'ADC di Arduino per utilizzare il riferimento interno di tensione $V_{int} = 1.1\text{ V}$, che definisce anche la tensione di Full Range ;
 - attraverso la configurazione modificata si ottiene una maggiore stabilità della misura, ma è richiesta una riduzione proporzionale della tensione d'uscita del sensore.
2. aggiunta di un partitore di tensione;
 - inserire un partitore resistivo per adattare il range del sensore alla tensione di riferimento dell'ADC;
 - i valori delle resistenze R_2 ed R_3 devono permettere un'attenuazione maggiore di 3, minimizzando l'effetto di carico, per permettere di misurare i valori corretti di temperatura.
3. riduzione delle interferenze.
 - aggiungere un condensatore di bypass tra l'uscita del sensore e il riferimento di massa per filtrare i disturbi ad alta frequenza.

Per questo tipo di circuito si dovrà utilizzare una funzione di taratura differente, definita come segue:

$$T = D_{out} \cdot \frac{V_{int}}{2^{N_b}} \cdot \frac{1}{S} \cdot \left(1 + \frac{R_2}{R_3}\right)$$



Rappresentazione dello schema di principio del circuito di condizionamento modificato

4. Conclusioni

L'esperienza ha permesso di sviluppare un termometro digitale funzionante e di valutare con attenzione le incertezze associate al processo di misura. L'incertezza ottenuta è in linea con le specifiche del sensore.

Eventuali miglioramenti potrebbero essere implementati adottando una tensione di riferimento più precisa o eseguendo una calibrazione sperimentale più accurata del sistema, come illustrato nel punto 3.