

Appunti di Tecnologie e Progettazione di Sistemi Elettrici ed Elettronici - classe quinta

leonardocanducci.org/wiki/tp5/wheatstone

Ponte di Wheatstone e amplificatore per strumentazione

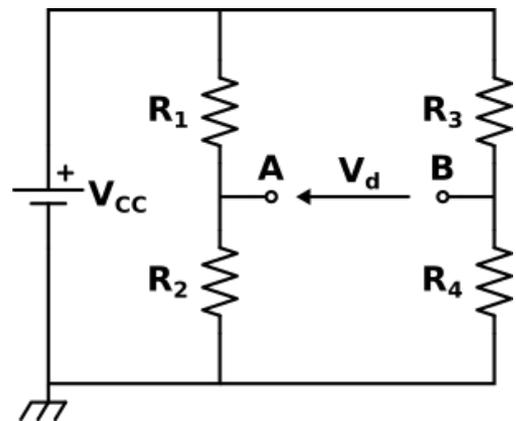
Ponte di Wheatstone

Configurazione circuitale

Quattro resistenze collegate in serie a due a due (due rami in parallelo con due resistenze in serie ognuno). Si misura la tensione tra i punti intermedi dei due rami.

Il ponte si usa:

- all'equilibrio, cioè quando la tensione vale zero
- squilibrato, con tensioni diverse da zero



Ponte in equilibrio

Si usa per misurare una resistenza incognita conoscendo il valore delle altre tre. In genere si procede così:

- due resistenze hanno valore fisso (ad esempio R_3 e R_4) mentre la terza è variabile (R_2)
- si agisce sulla resistenza variabile in modo da azzerare la tensione V_d
- la resistenza incognita (R_1) si calcola con la relazione $R_1/R_2 = R_3/R_4$

Più in generale se V_d è nulla vale:

$$V_A = \frac{R_1 R_1 + R_2 V_{CC}}{R_1 + R_2}$$

$$V_B = \frac{R_3 R_3 + R_4 V_{CC}}{R_3 + R_4}$$

e uguagliando le due tensioni si ottiene:

$$R_1 R_1 + R_2 = R_3 R_3 + R_4 \Rightarrow R_1 (R_3 + R_4) = R_3 (R_1 + R_2) \Rightarrow R_1 R_3 + R_1 R_4 = R_3 R_1 + R_3 R_2 \Rightarrow R_1 R_2 = R_3 R_4$$

Ponte squilibrato

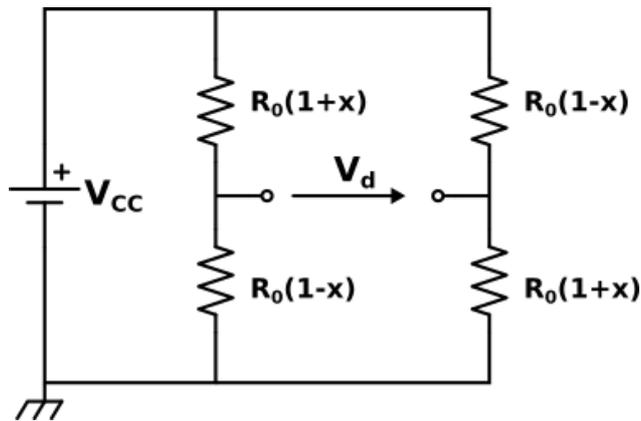
Si parte da una condizione di equilibrio con $V_d = 0$, ad esempio ponendo tutte le resistenze uguali. Se una di queste cambia la tensione V_d non è più nulla ed il suo valore dipende da quanto è cambiata la resistenza.

Questa soluzione si usa per i sensori resistivi perché:

- si ottiene una tensione
- la tensione dipende da ΔR e non da R
- la sensibilità è elevata (tensione in uscita anche a fronte di piccole ΔR)

- permette l'uso di più sensori resistivi (maggiore sensibilità, minore dipendenza dalla temperatura)

Se, come avviene per le celle di carico, le quattro resistenze sono quattro estensimetri collegati in modo da deformarsi in direzioni opposte a due a due si ottiene il circuito seguente:



Dove R_0 è la resistenza dell'estensimetro a riposo (non deformato) e $x = \Delta R / R_0$ è la variazione relativa della resistenza.

La tensione V_d si calcola così:

$$V_d = \frac{V_{CC}(R_0(1+x)R_0(1-x) + R_0(1-x)R_0(1+x))}{R_0(1+x)R_0(1-x) + R_0(1-x)R_0(1+x) + R_0(1-x)R_0(1+x) + R_0(1+x)R_0(1-x)} = V_d = \frac{V_{CC}(R_0(1+x)R_0(1-x) + R_0(1-x)R_0(1+x))}{4R_0^2} = V_{CC} \cdot x = \frac{V_{CC}}{2} \cdot 2R_0 \cdot x = V_{CC} \cdot x$$

Questa configurazione è la migliore possibile perché:

- la relazione tra tensione e ΔR è lineare
- la sensibilità è massima
- la temperatura non influisce sulla misura (tutti gli estensimetri ne sono affetti e cambia solo R_0)

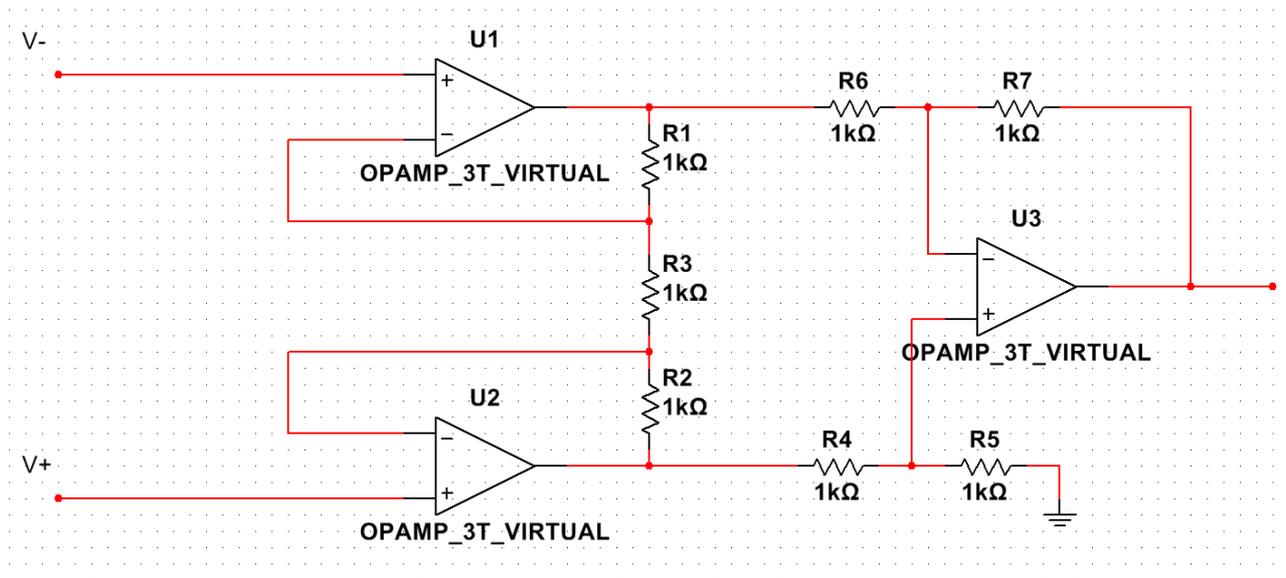
L'unico difetto è che la tensione in uscita non è riferita a massa e richiede un amplificatore differenziale per poter essere amplificata (meglio ancora un amplificatore per strumentazione).

Amplificatore per strumentazione

Un amplificatore per strumentazione è un integrato che permette di amplificare un segnale differenziale (non riferito a massa). E' una soluzione migliore di quella con amplificatore differenziale con operazionale perché:

- presenta una resistenza di ingresso infinita, quindi non carica il sensore che genera il segnale differenziale¹⁾
- è più facile da utilizzare perché il guadagno dipende da un solo resistore/trimmer
- ha in generale prestazioni e precisione migliori

L'integrato contiene tre operazionali, due usati come buffer e uno come stadio differenziale, collegati come nella figura seguente:



La tensione differenziale applicata tra V_{in+} e V_{in-} viene riportata ai capi del resistore R_3 (R_g nei datasheet) che fissa il valore della corrente che scorre sulle tre resistenze²⁾; la tensione ai capi delle tre resistenze viene poi riferita a massa dallo stadio amplificatore differenziale di guadagno unitario, realizzato col terzo operazionale e le quattro resistenze uguali. Questo circuito permette di fissare il guadagno tramite la sola R_g - che è esterna all'integrato - e presenta una resistenza di ingresso infinita. Se la R_g non viene collegata il guadagno è uno.

L'amplificatore per strumentazione che abbiamo usato in laboratorio è l'INA111. Non è un componente economico ma ha una buona precisione ed è disponibile nel package DIP, quindi può essere utilizzato anche su breadboard. Il suo [datasheet](#) mostra uno schema circuitale interno simile a quello della figura sopra; il guadagno si calcola con la formula:

$$A_v = 1 + 50k\Omega / R_g \quad A_v = 1 + 50k\Omega / R_g$$

Esercizio con ponte di Wheatstone e Pt100

Esercizio preso da [qui](#).

Specifiche

Progettare un circuito di condizionamento con ponte di Wheatstone e termoresistenza Pt100 ($\alpha = 3.85 \times 10^{-3} 1/^\circ\text{C}$) tale da avere 0V a 0°C e 10V a 150°C.

Progetto

Considerato il range di tensione in uscita si sceglie un'alimentazione con $V_{cc} = 12V$. Per l'amplificatore operazione serve anche una $-V_{cc} = -12V$.

Con uno schema come quello della figura a inizio pagina si sceglie di porre la Pt100 al posto di R_1 . La tensione in uscita sarà la V_{BA} , orientata verso destra, perché la tensione tra A e massa cala all'aumentare della temperatura (la resistenza della Pt100 aumenta mentre la R_2 resta costante) mentre la tensione tra B e massa è costante.

La tensione in uscita è differenziale (o flottante) perché nessuno dei due punti è riferito a massa; servirà uno stadio differenziale ad operazionale per riferire la tensione a massa ed amplificarla.

Per limitare l'autoconsumo della Pt100 si impone³⁾ una corrente massima di 2mA. Nelle caso peggiore possibile, considerato il range di temperature indicato nelle specifiche, la resistenza della Pt100 è di 100 Ω . Allora si può scrivere:

$$I_{max} = V / (R_{Pt100} + R_2) \quad I_{max} = V / (R_{Pt100} + R_2)$$

quindi

$$R_2 = V / I_{\max} - 100 = 5,9 \text{ k}\Omega$$

e si sceglie per R_2 il valore commerciale 5,6 k Ω .

Dalle specifiche risulta che a 0°C la tensione in uscita debba valere 0 Volt. Questo avviene quando la tensione differenziale del ponte è nulla, cioè quando il ponte è in equilibrio e vale $R_1/R_2 = R_3/R_4$. Se al posto di R_1 mettiamo il valore della resistenza della Pt100 a 0°C (100 Ω) si ottiene la relazione:

$$100 \cdot 5600 = R_3 R_4$$

Conviene allora porre $R_3 = 100 \Omega$ e $R_4 = 5,6 \text{ k}\Omega$ per imporre l'equilibrio del ponte a 0°C.

A 150°C la resistenza della Pt100 vale:

$$R_{Pt100} = 100 \cdot (1 + \alpha T) = 100 \cdot (1 + 3,85 \times 10^{-3} \cdot 150) = 157,75 \Omega$$

mentre la tensione nel punto A si vale:

$$V_A = R_2 V_{CC} R_{Pt100} / (R_{Pt100} + R_2) = 5,6 \cdot 10^3 \cdot 12 \cdot 157,75 / (157,75 + 5600) = 11,671 \text{ V}$$

La tensione nel punto B non dipende dalla temperatura e vale sempre:

$$V_B = R_4 V_{CC} / (R_3 + R_4) = 5,6 \cdot 10^3 \cdot 12 / (100 + 5,6 \cdot 10^3) = 11,789 \text{ V}$$

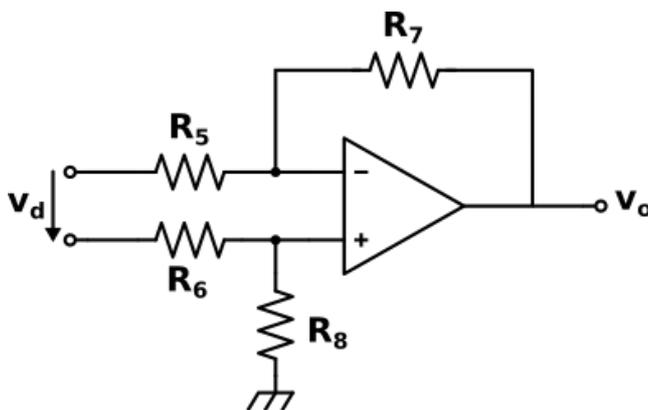
A 150°C la tensione differenziale del ponte vale allora:

$$V_d = V_B - V_A = 11,789 - 11,671 \approx 118 \text{ mV}$$

Per ottenere 10 Volt in uscita riferiti a massa è necessario amplificare questo valore. Il guadagno richiesto è:

$$A_v = V_O / V_d = 10 / 118 \cdot 10^{-3} = 84,4$$

Questo valore serve a dimensionare le quattro resistenze dello stadio amplificatore differenziale ad operazionale posto a valle del ponte Wheatstone.



Le quattro resistenze, uguali a due a due per semplicità, fissano il guadagno differenziale:

$$v_O = A_d \cdot v_d$$

con

$$A_d = R_8 R_6 / R_7 R_5 = 84,4$$

Ponendo $R_5 = R_6 = 1 \text{ k}\Omega$ restano definite R_7 e R_8 come:

$$R_7 = R_8 = 84,4 \cdot 1 \cdot 10^3 = 84,4 \text{ k}\Omega$$

ottenibili con due resistori da 82 k Ω seguiti da due trimmer da 5k Ω .

Navigazione

Torna all'[indice](#).

Questo sito Web utilizza i cookie. Utilizzando il sito Web, l'utente accetta la memorizzazione dei cookie sul proprio computer. Inoltre riconosci di aver letto e compreso la nostra Informativa sulla privacy. Se non sei d'accordo, lascia il sito.[Maggiori informazioni sui cookie](#)