

TRASDUTTORI di TEMPERATURA

Sono dispositivi in grado di trasformare la variazione di una temperatura nella variazione di un'altra grandezza fisica (tensione, corrente, ecc.)

I più utilizzati sono:

- **Termoresistenze [TDR]**
- **Termistori [NTC, PTC]**
- **Termocoppie**
- **Sensori generici di temperatura a semiconduttore**
- **Sensori integrati**
- **Interruttore termico bimetallico**

LE TERMORESISTENZE

RTD (dall'inglese *Resistance Temperature Detector*),

Le termoresistenze sono basate sulla **variazione di resistività** dei metalli con la temperatura e sono caratterizzate dal coefficiente di temperatura resistivo elevato (TCR).

La relazione che lega temperatura e resistenza è di tipo **lineare** per i conduttori metallici

$$R_t = R_0(1 + K\Delta T)$$

con R_0 = resistenza a temperatura T_0 (0°C)

K = coeff. di temperatura del materiale

ΔT = salto termico = $(T - T_0)$

Materiali usati: rame, nickel, platino

I TERMISTORI

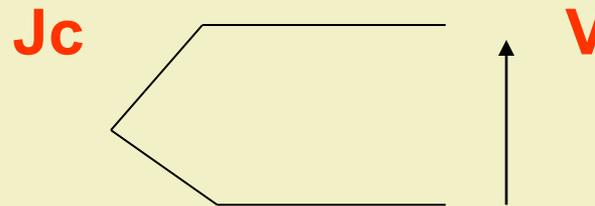
I termistori, invece, sono realizzati con materiali semiconduttori e presentano una maggiore variabilità della resistenza con la temperatura; la loro caratteristica, però, è molto **meno lineare** e il range di temperature d'uso è assai più ristretto. Si possono ottenere resistenze crescenti con la temperatura (**PTC** a coefficiente di temperatura positivo) o decrescenti al crescere di essa (**NTC**). Le variazioni di resistenza vengono rilevate, in genere, con circuiti a ponte, tramite variazione della tensione d'uscita.

LE TERMOCOPPIE

Sono realizzate congiungendo a un estremo due fili di metallo diverso; se l'estremo di congiunzione (**giunto caldo**) viene portato ad una temperatura diversa da quella degli estremi liberi (**giunto freddo**), si rileva tra questi una d.d.p. dipendente dal salto di temperatura (effetto **Seebeck**).

La relazione che lega V a ΔT è data dalla relazione:

$$V = \alpha \Delta T = \alpha \Delta(T_c - T_f)$$

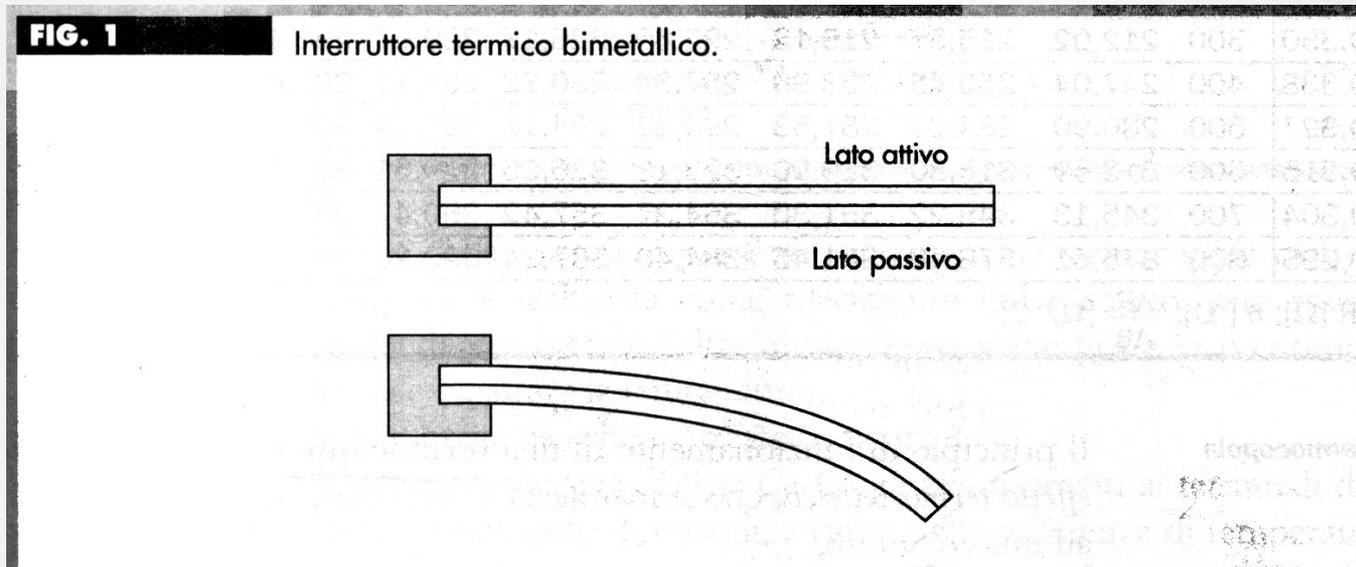


Con opportuni accorgimenti, si può ottenere una tensione direttamente correlata alla temperatura centigrada del giunto caldo (che essendo un'atempertura di riferimento deve essere mantenuta costante) con una sensibilità dell'ordine dei μV . La tensione di uscita di una termocoppia risulta non lineare e questo dipende fortemente dal tipo di termocoppia utilizzata.

Sono disponibili integrati per la rilevazione di temperature con termocoppie. Sono in commercio anche numerosi integrati, basati su proprietà delle giunzioni., che forniscono una tensione (LM35) o una corrente (AD590) direttamente proporzionali alla temperatura.

L'INTERRUTTORE TERMICO BIMETALLICO

E' costituito da una lamina bimetallica flessibile in cui i due metalli presentano diverso valore del coefficiente di dilatazione termico-lineare. Per cui se sottoposte a variazioni di temperatura si allungano in modo differente dando luogo ad una flessione del dispositivo. Tale flessione determina lo scatto dell'interruttore quando la temperatura raggiunge il valore desiderato.



SENSORI e TRASDUTTORI di TEMPERATURA

Sensori di temperatura Pt100, Pt1000

**E' una resistenza di precisione in pellicola di platino (Pt);
viene tarata usando un raggio laser.**

in cui la resistenza alla temperatura di 0 °C è pari rispettivamente a 100 Ω e 1000 Ω .

Esistono due categorie di termoresistenze al platino:

- termoresistenze a film sottile
- termoresistenze a filo

Caratteristica Resistenza-Temperatura:

$R_T = R_0(1 + aT)$ per variazioni piccole di temperatura
dove R_0 = Valore di R a 0°C
 a = Coefficiente di temperatura
 T = Temperatura

Conversione resistenza - tensione:

Sono generalmente usati generatori di corrente costante.

Il termistore NTC

I termistori NTC sono realizzati drogando alcuni ossidi di metalli, ottenendo così semiconduttori che all'aumentare della temperatura rendono liberi ulteriori portatori di carica aumentando la conducibilità, quindi diminuendo la resistenza secondo la legge:

$$R_T = R_{T_a} \cdot e^{-B \left(\frac{T - T_a}{T \cdot T_a} \right)}$$

dove:

R_T è la resistenza del termistore alla temperatura generica T ;

R_{T_a} è la resistenza del termistore alla temperatura ambiente $T=20^\circ\text{C}$;

B è una costante che dipende dal tipo di materiale utilizzato per la realizzazione del sensore, ed è compresa tra 2200 K e 5500 K;

T è la temperatura generica espressa in K;

T_a è la temperatura ambiente ($20^\circ\text{C} \rightarrow 293 \text{ K}$) espressa in Kelvin;

Il termistore NTC

CIRCUITO DI UTILIZZAZIONE

È evidente che la caratteristica $R \rightarrow T$ è di tipo non lineare a causa della presenza dell'esponenziale, pertanto si deve provvedere a linearizzarla. Inoltre, all'aumentare della temperatura si ha una diminuzione della resistenza, per questo è opportuno invertire la caratteristica $R \rightarrow T$ in modo che la R aumenti all'aumentare della temperatura T .

LINEARIZZAZIONE

La linearizzazione può essere fatta con l'aggiunta di una resistenza opportunamente calcolata con la seguente formula:

dove:

$$R_L = R(T_{med}) \cdot \frac{B - 2 \cdot T_{med}}{B + 2 \cdot T_{med}}$$

R_L è la resistenza di linearizzazione;

$R(T_{med})$ è la resistenza alla temperatura media

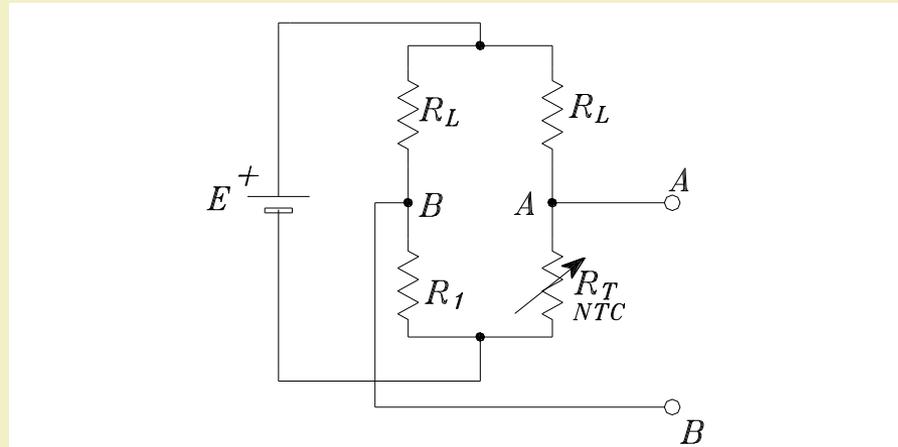
B è la costante del sensore NTC espressa in K;

$$T_{med} = \frac{T_{MAX} + T_{MIN}}{2}$$

Il termistore NTC

INVERSIONE CARATTERISTICA $R \rightarrow T$

Per ottenere una R_T crescente all'aumentare della temperatura colloco il sensore su un ramo del ponte di Wheatstone così come dal circuito seguente:



dove:

R_L è la resistenza di linearizzazione;

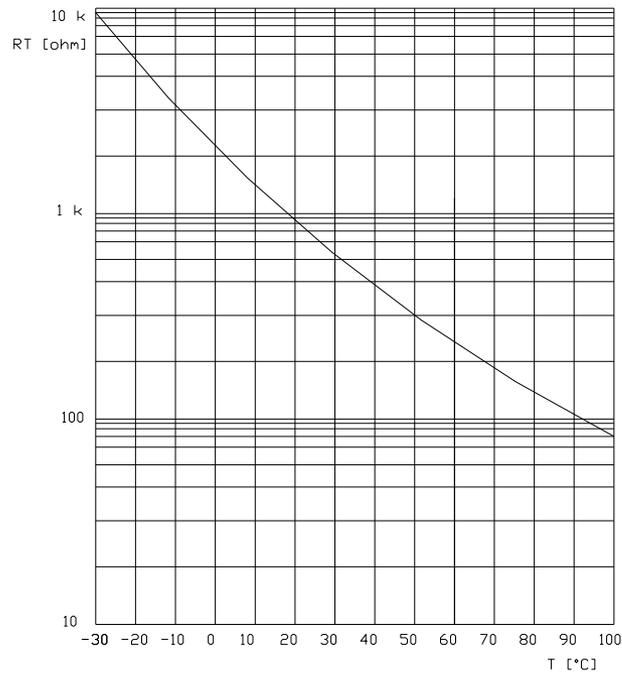
R_1 resistenza per il bilanciamento del ponte.

Il termistore NTC

ESEMPIO:

Utilizzare un termistore NTC k25-1k, la cui caratteristica è riportata in figura 1, nel range $20^{\circ}\text{C} \div 80^{\circ}\text{C}$.

A 20°C la tensione d'uscita deve essere 0V e a 80°C deve corrispondere a 5V



$R_{Ta} = 1000\Omega$

$B = 3530[K]$

Potenza a $60^{\circ}\text{C} = 200 \text{ mW}$

Il termistore NTC

Trasformazione della temperatura da °C → K

$$T=20^{\circ}\text{C} \rightarrow 20+273=293 \text{ K}$$

$$T=80^{\circ}\text{C} \rightarrow 80+273=353 \text{ K}$$

$$T_{\text{MED}}=(20+80)/2=50^{\circ}\text{C} \rightarrow 50+273=323 \text{ K}$$

CALCOLO DELLA RESISTENZA FORNITA DAL SENSORE NTC AL VARIARE DELLA TEMPERATURA

$$\text{Alla } T=20^{\circ}\text{C} \rightarrow R_T=R_{T_a}=1000\Omega$$

$$\text{Alla } T=80^{\circ}\text{C} \rightarrow$$

$$R_T = R_{T_a} \cdot e^{-B\left(\frac{T-T_a}{T \cdot T_a}\right)} = 1000 \cdot e^{-3530\left(\frac{353-293}{353 \cdot 293}\right)} = 129\Omega$$

$$\text{Alla } T_{\text{med}}=50^{\circ}\text{C} \rightarrow$$

$$R_T = R_{T_a} \cdot e^{-B\left(\frac{T-T_a}{T \cdot T_a}\right)} = 1000 \cdot e^{-3530\left(\frac{323-293}{323 \cdot 293}\right)} = 327\Omega$$

Il termistore NTC

CALCOLO DELLA RESISTENZA DI LINEARIZZAZIONE

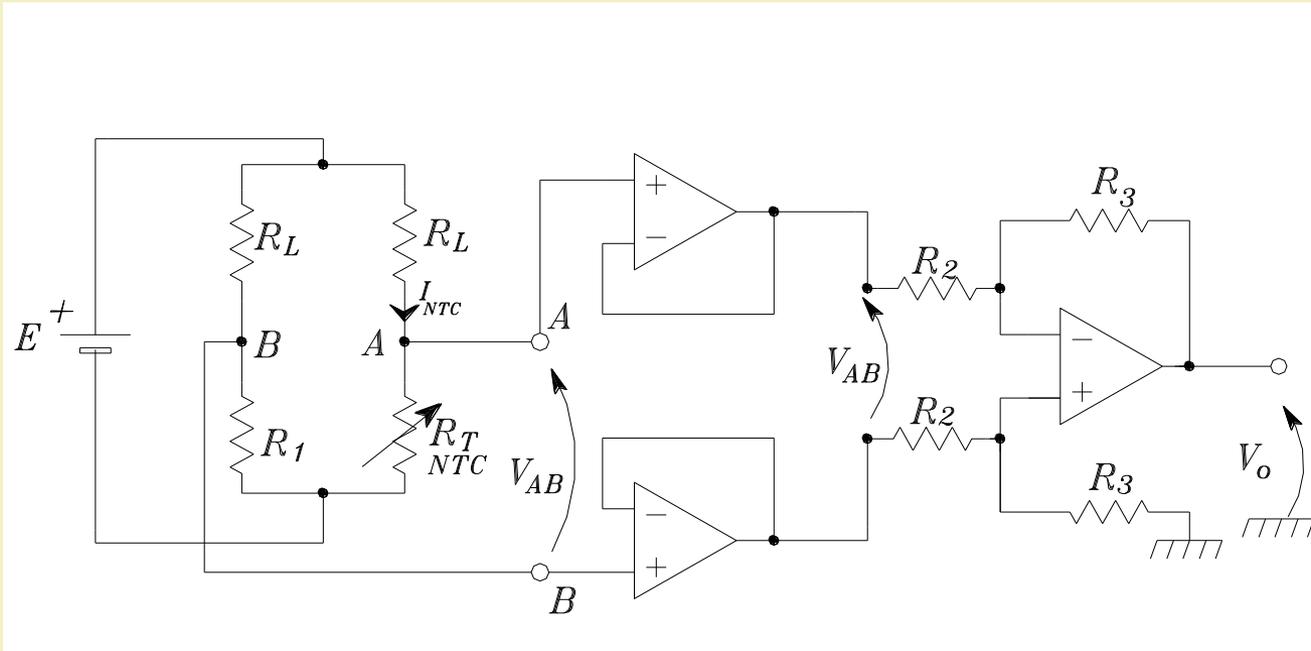
$$R_L = R(T_{med}) \cdot \frac{B - 2 \cdot T_{med}}{B + 2 \cdot T_{med}}$$

sostituisco i valori numerici, ottenendo:

$$R_L = 327 \cdot \frac{3530 - 2 \cdot 323}{3530 + 2 \cdot 323} = 225\Omega$$

Il termistore NTC

CIRCUITO DI CONDIZIONAMENTO



Verifichiamo se il sensore non si autoriscalda. Noi sappiamo dai data sheet che al massimo può dissipare una potenza di 200 mW alla temperatura di 60°C. Calcoliamo la potenza dissipata da sensore nella condizione peggiore:

$$P_{MAX} = R_{T-MIN} \cdot (I_{NTC-MAX})^2$$

Il termistore NTC

$$I_{NTC-MAX} = \frac{E}{R_{T-MIN} + R_L} = \frac{12}{129 + 225} = 0,0339A$$

sostituendo si ottiene:

$$P_{MAX} = 129 \cdot (0.0339)^2 = 0.148W$$

Si ottiene una potenza massima dissipata a 80°C di 148 mW, che è confrontabile con i 200 mW a 60°C, pertanto per metterci sotto una condizione più cautelativa si può imporre di far dissipare al sensore NTC una potenza max di 50 mW alla temperatura di 80°C.

Il termistore NTC

DIMENSIONAMENTO DELLA TENSIONE DI ALIMENTAZIONE DEL PONTE "V_{ALIM}"

Sappiamo che :

$$P_{MAX} = R_{T-MIN} \cdot (I_{NTC-MAX})^2$$

Da cui ricavo la I_{NTC_MAX} :

$$I_{NTC-MAX} = \sqrt{\frac{P_{MAX}}{R_{T-MIN}}} = \sqrt{\frac{50 \cdot 10^{-3}}{129}} = 0.0196[A]$$

dal circuito si ricava:

$$I_{NTC-MAX} = \frac{V_{ALIM}}{R_{T-MIN} + R_L}$$

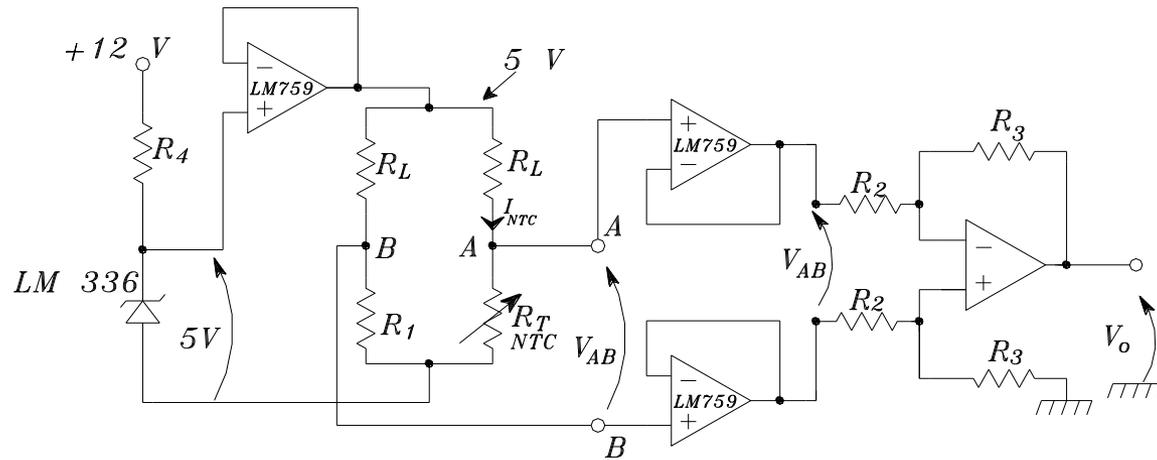
da cui ricavo V_{ALIM} :

$$V_{ALIM} = (R_{T-MIN} + R_L) \cdot I_{NTC-MAX}$$

$$V_{ALIM} \leq (129 + 225) \cdot 0.0196 = 6.94[V]$$

scelgo una **VALIM=5[V]**

Il termistore NTC



Non resta che dimensionare le resistenze: $R_1 - R_2 - R_3 - R_4$:
dimensionamento della R_1

A R_1 impongo lo stesso valore fornito dal termistore alla temperatura cui voglio la tensione d'uscita (V_o) nulla. Pertanto essendo che voglio ottenere una tensione nulla alla temperatura di 20°C , impongo $R_1 = R_T = 20^\circ\text{C} = 1000\Omega$, bilanciando in tal modo il ponte.

dimensionamento di $R_2 - R_3$

Le resistenze R_2 e R_3 fanno parte del circuito del fattore di scala formato dall'amplificatore differenziale, il cui compito è quello di amplificare la V_{AB} posta al suo ingresso fino al valore di $5[V]$ quando la temperatura misurata è 80°C .

Il termistore NTC

Per fare ciò ci serve sapere quanto vale V_{AB} alla $T=80^{\circ}\text{C}$, calcoliamola

$$V_{AB} = V_A - V_B$$

$$V_A = R_{T=80^{\circ}\text{C}} \cdot I_{NTC}$$

$$V_B = R_1 \cdot I_B$$

$$I_B = \frac{5}{R_L + R_1}$$

pertanto si ottiene:

$$V_{AB} = \left(R_{T=80^{\circ}\text{C}} \cdot \frac{5}{R_L + R_{T=80^{\circ}\text{C}}} \right) - \left(R_1 \cdot \frac{5}{R_L + R_1} \right)$$

sostituendo i valori numerici:

$$V_{AB} = \left(129 \cdot \frac{5}{225 + 129} \right) - \left(1000 \cdot \frac{5}{225 + 1000} \right) = -2.26[V]$$

l'uscita del circuito del fattore di scala è dato da:

$$2.26 \cdot \frac{R_3}{R_2} = V_0$$

Il termistore NTC

da cui ricavo R2:

$$R_2 = \frac{2.26}{V_o} \cdot R_3$$

impongo R3= 10KΩ, e ricavo R2:

$$R_2 = \frac{2.26}{5} \cdot 10.000 = 4.520\Omega$$

dimensionamento di R4

La R4 ha lo scopo di non collegare a massa l'alimentazione quando lo zener va in conduzione. Uno dei criteri da seguire per il suo dimensionamento è di limitare la corrente che attraversa lo zener.

Supponiamo che dai data sheet si rileva che la massima corrente sopportabile dallo zener è di 3 [mA].

Ricaviamo l'espressione della corrente I_Z che attraversa lo zener:

$$12 - R_4 \cdot I_Z - V_Z = 0$$

da cui:

$$I_Z = \frac{12 - V_Z}{R_4}$$

Il termistore NTC

impongo la condizione $I_z < 3$ [mA] e ricavo la R_4

$$\frac{12 - V_Z}{R_4} \leq 3 \cdot 10^{-3}$$

$$R_4 \geq \frac{12 - 5}{3 \cdot 10^{-3}}$$

$$R_4 \geq 2333 \Omega$$

scelgo $R_4 = 2400$ [Ω]

$$20 \quad \left| \quad T [^\circ\text{C}] \quad \right| 80$$

$$293 \quad \left| \quad T [\text{K}] \quad \right| 353$$

323

$$1000 \quad \left| \quad R_T [\Omega] \quad \right| 129$$

327

$$0 \quad \left| \quad V_{AB} [\text{V}] \quad \right| -2.26$$

$$0 \quad \left| \quad V_o [\text{V}] \quad \right| 5$$