

# Sensori e trasduttori di temperatura

Termocoppie

Termoresistenze

Termistori

Sensori integrati

# Generalità

La temperatura di un corpo è una grandezza fisica che definisce lo stato termico di un corpo, vale a dire la sua attitudine di comunicare calore ad altri corpi oppure di assorbirne.

Le variazioni di temperatura nei corpi comportano una variazione di volume nel corpo stesso.

I termometri sono stati costruiti basandosi su questo fenomeno:

Termometri a variazione di volume di liquido (termometri di vetro).

Esistono anche termometri elettrici molto utilizzati nei sistemi di automazione di processo.

# Generalità

La minima temperatura che un corpo può assumere è di - 273,15°C. Questa temperatura che è espressa con una unità termometrica relativa è assunta come livello 0 nella misura delle temperature assolute ( $T_{\text{ass}}$ ).

L'unità di misura delle temperature assolute è il **KELVIN : K**

$$0\text{K} = -273,15^{\circ}\text{C}$$

La temperatura assoluta di un corpo viene calcolata sommando alla temperatura relativa di un corpo ( $T$ ) i 273,15°C

$$T_{\text{ass}} = T + 273,15$$

# Generalità

## Scala Centigrada

L'unità di misura è il grado centigrado °C fissato sulla centesima parte dell'intervallo di temperatura definito in seguito.

+ 0°C alla temperatura del ghiaccio fondente

+ 100 °C alla temperatura del vapore d'acqua bollente alla pressione atmosferica normale di 760 mm di mercurio.

# Generalità

## Scala Fahrenheit

L'unità di misura è il grado Fahrenheit °F fissato sulla centoottantesima parte dell'intervallo di temperatura definito.

Attualmente la taratura della scala Fahrenheit è effettuata fissando le seguenti temperature:

+ 32°F alla temperatura del ghiaccio fondente

+ 212 °F alla temperatura del vapore d'acqua bollente alla pressione atmosferica normale di 760 mm di mercurio.

# Generalità

## Conversioni

Quanti °F sono 5°C?

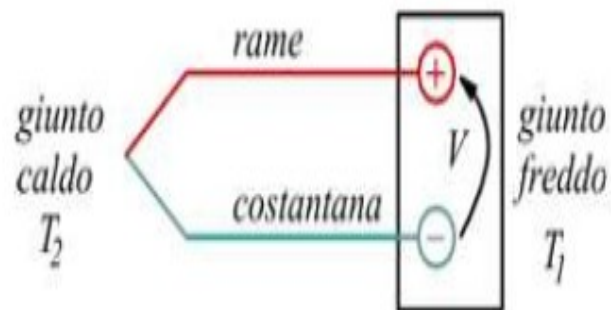
$$32^{\circ}\text{F} + 5 * 180 / 100^{\circ}\text{F} = 41^{\circ}\text{F}$$

Quanti °C sono 5°F

$$(5 - 32) * 100 / 180^{\circ}\text{C} = -15^{\circ}\text{C}$$

# Termocoppie

La termocoppia è un trasduttore di temperatura con uscita in tensione. Si usano due cavi di conduttori diversi, in questo caso abbiamo scelto rame e costantana che vengono connessi ad un loro capo (giunto caldo).



Gli altri due capi vengono lasciati aperti, se i due giunti si trovano a temperature differenti ai capi del giunto freddo si genera una tensione  $V$  proporzionale alla differenza di temperatura  $T_2 - T_1$ .

# Termocoppie

Sfruttano l'effetto termoelettrico o effetto Seebeck (1821)

se  $T_1 = T_2 \Rightarrow V = 0$

se  $T_1 \neq T_2 \Rightarrow V \neq 0$

V dipende dai materiali e da  $(T_2 - T_1)$

$$e = f(T_1, T_2) \cdot (T_2 - T_1)$$

$$e = a_1 (T_2 - T_1)$$

Per la giunzione ferro-costantana (J):

$$a_1 \cong 51.7 \frac{\mu V}{^{\circ}C}$$



# Termocoppie

Type	Metallo 1	Metallo 2	Coeff. di temp. medio	Range di temp. [°C]
T	Rame	Costantana	48.2 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$	-200 ÷ +400
J	Ferro	Costantana	51.7 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$	-200 ÷ +700
E	Cromo	Costantana	60.9 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$	-200 ÷ +1000
K	Cromo	Alluminio	40.5 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$	-200 ÷ +1300
S	Platino	Platino – 10% Rodio	6.4 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$	0 ÷ +1500
R	Platino	Platino – 13% Rodio	6.4 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$	0 ÷ +1600
B	Platino – 8% rodio	Platino – 30% Rodio	--	0 ÷ +1800
G	Tungsteno	Tungsteno – 26% Renio	--	0 ÷ +2800
C	Tungsteno – 5% Renio	Tungsteno – 26% Renio	15 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$	0 ÷ +2800

La scelta va fatta anche in base ad altri fattori, come la resistenza ad ambienti aggressivi e all'ossidazione.

# Termocoppie

F:\Meccatronico 2019\Modulo sensori e trasduttori\Files prodotti da Giancarlo\Termocoppia.p  
df

# Termoresistenze

Sono dispositivi che modificano la loro resistenza in base alla legge:

$$R_{Tf} = R_{Ti} \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta T)$$

Sono costituiti da conduttori in platino, nichel o rame e sono operativi in un ampio intervallo: da -200°C a +800°C.

- i materiali più usati sono platino (Pt100), rame, nichel
- molto stabili
- precisi
- molto accurati
- abbastanza lineari
- costosi
- soffrono del riscaldamento per effetto Joule
- presentano una certa inerzia termica – lenti

# Termoresistenze

F:\Meccatronico 2019\Modulo sensori e trasduttori\Files prodotti da Giancarlo\Termoresistenze.pdf

# Termoresistenze

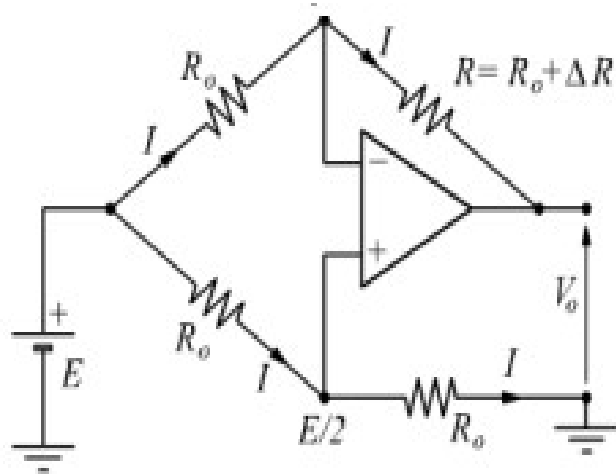
**Inserendo la resistenza incognita in un circuito a ponte di Wheatstone abbiamo già visto che si ottiene una relazione del tipo**

$$V_0 \approx (V_{\text{ref}}/4) * (\Delta R/R)$$

**Questa relazione è valida per piccoli valori di  $\Delta R$ .**

**Qualora si voglia una relazione di linearità anche per valori maggiori di  $\Delta R$  occorre utilizzare una configurazione del ponte di Wheatstone con amplificatore operazionale.**

# Termoresistenze



$$V^+ = \frac{ER_o}{R_o + R_o} = \frac{E}{2} \quad \text{per il principio della massa virtuale} \quad V^+ = V^- = \frac{E}{2}$$

di conseguenza in tutti i rami del ponte le correnti sono uguali e di valore  $I = \frac{E}{2R_o}$  e la tensione di uscita vale

$$V_o = V^- - I(R_o + \Delta R) = \frac{E}{2} - \frac{E}{2R_o}(R_o + \Delta R) = -\frac{E}{2R_o}\Delta R$$

# Termoresistenze

**Il circuito con operazionale offre una bassa resistenza di uscita.**

**Inoltre per un dato valore di  $V_{\text{ref}}$  in corrispondenza a un certo valore di  $\Delta R$  presenta in uscita una tensione  $V_0$  pari al doppio di quella fornita dal classico ponte di Wheatstone.**

# Termistori

Sono costituiti da semiconduttori (silicio drogato). Sono dotati un range di operatività minore ma di una sensibilità maggiore rispetto alle termoresistenze le tecnologie di fabbricazione permettono di ottenerne due varianti:

NTC (Negative Temperature Coefficient): la resistenza diminuisce all'aumentare della temperatura.

PTC (Positive Temperature Coefficient): la resistenza aumenta all'aumentare della temperatura.

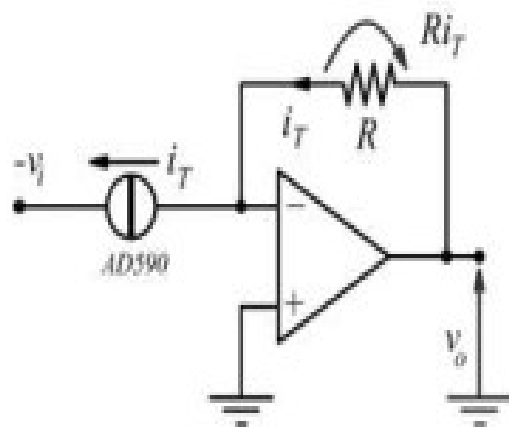
Per questi dispositivi vale la formula:

$$R_f = R_i \cdot e^{B \left( \frac{1}{T_f} - \frac{1}{T_i} \right)} \quad \text{con } B=2000^\circ\text{K } 5000^\circ\text{K}.$$



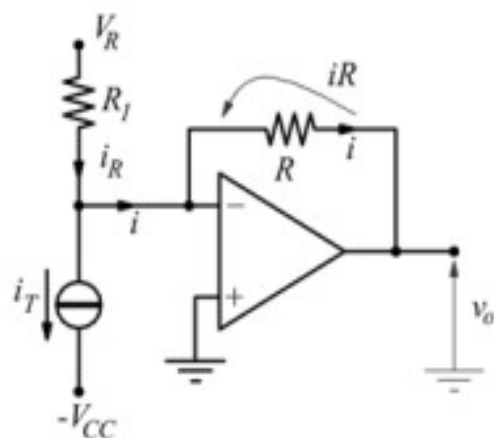
# Sensori integrati

L'integrato AD590 è fra i più diffusi sensori di temperatura (con uscita in corrente) e può essere schematizzato nel seguente modo:



La corrente  $i$  erogata dal generatore di corrente, vale  $i_T = hT$  con  $T$ : temperatura assoluta in  $^{\circ}\text{K}$  ed  $h = 1\mu\text{A}/^{\circ}\text{K}$  costante.

# Sensori integrati



Normalmente viene usato con la tecnica della modifica dell'offset, allo scopo di azzerare  $V_o$  in corrispondenza di uno specifico valore di  $i_T$ .

$$i = -\frac{v_o}{R} \quad i_R = \frac{V_R}{R_I} \quad i_R = i + i_T$$

quest'ultima può essere riscritta come :  $\frac{V_R}{R_I} = i_T - \frac{v_o}{R}$  poi isolando  $v_o$ :

$$\frac{v_o}{R} = i_T - \frac{V_R}{R_I} \quad \rightarrow \quad v_o = R \cdot \left( i_T - \frac{V_R}{R_I} \right)$$