

Esercitazioni su sensori di temperatura e di deformazione

(Ing. Giulio Ripaccioli)

Tecnologie dei Sistemi di Controllo - A. Bemporad - A.a. 2007/08

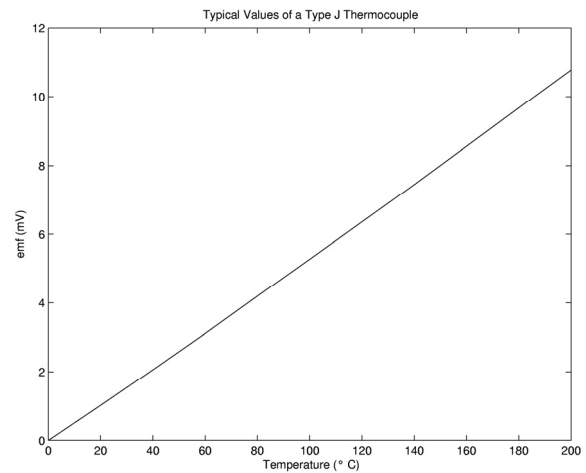
Termocoppie

Tecnologie dei Sistemi di Controllo - A. Bemporad - A.a. 2007/08

Termocoppie

Valori Tipici di una termocoppia di tipo J

Temperatura(° C)	emf (mV)
0	0.00
20	1.02
40	2.06
60	3.11
80	4.19
100	5.27
120	6.36
140	7.45
160	8.56
180	9.67
200	10.78



Tecnologie dei Sistemi di Controllo - A. Bemporad - A.a. 2007/08

Termocoppie

Supponendo che la temperatura ambiente sia a 20° C e la temperatura dell'oggetto che si sta misurando sia 180° C, qual'è la tensione d'uscita di una termocoppia di tipo J ?

$$E_c(T_c)|_{T_f=\bar{T}_f} = E_c(T_c)|_{T_f=0} - E_c(\bar{T}_f)|_{T_f=0}$$

$$T_c = 180^\circ \text{ C} \quad \bar{T}_f = 20^\circ \text{ C}$$

Temperature(° C)	emf (mV)
0	0.00
20	1.02
40	2.06
60	3.11
80	4.19
100	5.27
120	6.36
140	7.45
160	8.56
180	9.67
200	10.78

$$E_c(\bar{T}_f)|_{T_f=0} = 1.02$$

$$E_c(T_c)|_{T_f=\bar{T}_f} = 8.65 \text{ mV}$$

$$E_c(T_c)|_{T_f=0} = 9.67$$

Tecnologie dei Sistemi di Controllo - A. Bemporad - A.a. 2007/08

Termocoppie

La temperatura di un forno è misurata da una termocoppia di tipo J. Supponiamo che il giunto freddo sia a 0° C e che il legame tra temperatura e tensione sia lineare. A che temperatura si trova il forno se si misura una emf = 5.98 mV ?

Temperature(° C)	emf (mV)
100	5.27
120	6.36

$$T_M = ? \quad V(M) = 5.98 \text{ mV}$$
$$\frac{T(H) - T(L)}{V(H) - V(L)} = \frac{T(M) - T(L)}{V(M) - V(L)}$$

Dati da calibrazione

$$T(M) = T(L) + (T(H) - T(L)) \frac{V(M) - V(L)}{V(H) - V(L)}$$

$$T(M) = 113^\circ \text{ C}$$

Tecnologie dei Sistemi di Controllo - A. Bemporad - A.a. 2007/08

Termocoppie - Esercizi

Determinare la temperatura misurata da una termocoppia di tipo J supponendo che il giunto freddo si trovi a 32° C e emf=6.1945 mV.

Si suppone una relazione lineare tra temperatura e tensione

Suggerimento:

$$E_c(T_c)|_{T_f=32^\circ} = E_c(T_c)|_{T_f=0} - E_c(32^\circ)|_{T_f=0}$$

dove $E_c(T_c)|_{T_f=\bar{T}_f} = 6.1945 \text{ mV}$

$$E_c(\bar{T}_f = 32)|_{T_f=0} = ?$$

Tecnologie dei Sistemi di Controllo - A. Bemporad - A.a. 2007/08

Termocoppie

Tensioni di uscita di 6 termocoppie di uso industriale in mV

Temp(° C)	J	T	K	E	R	S
-190	-7.66	-5.379	-5.60	-8.45		
-100	-4.63	-3.348	-3.49	-5.18		
0	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.000
100	5.27	4.277	4.10	6.32	0.645	0.643
200	10.78	9.288	8.13	13.42	1.465	1.436
300	16.32	14.864	12.21	21.04	2.395	2.316
400	21.85	20.873	16.40	28.95	3.399	3.251
500	27.39		20.65	37.01	4.455	4.221
600	33.11		24.91	45.10	5.563	5.224
700	39.15		29.14	53.14	6.720	6.260
800	45.53		33.30	61.08	7.925	7.329
900			37.36	68.85	9.175	8.432
1000			41.31	76.54	10.471	9.570
1100			45.16		11.817	10.741
1200			48.89		13.193	11.935
1300			52.46		14.583	13.138
1400			54.88		15.969	14.337
1500					17.355	15.530
1600					18.727	16.715
1700					20.090	17.891
1765						18.648

Tecnologie dei Sistemi di Controllo - A. Bemporad - A.a. 2007/08

Termocoppie

1. Si deve misurare la temperatura di un forno. Si scelga la termocoppia con più alta sensibilità supponendo che la temperatura vari nel range 0-300° C.

$$S = \frac{\Delta V}{\Delta T} = \frac{V(300) - V(0)}{300}$$

Termocoppia (° C)	Sensibilità μV/° C
J	54.4
T	49.55
K	40.7
E	71.13

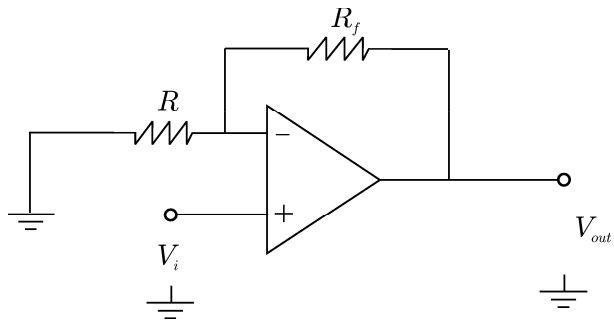
2. Qual'è la sensibilità di una termocoppia di tipo K nel range 800-900 ?
3. Se volessi misurare con migliore sensibilità possibile la temperatura in un freezer quale termocoppia dovrei utilizzare ? Perché ?
4. La temperatura di un forno varia nel range 200-400° C. Se il range dovesse cambiare in 300-1000° C, quale termocoppia dovrei scegliere per misurare entrambi i range supponendo una $V_{\max} = 10$ mV?

Tecnologie dei Sistemi di Controllo - A. Bemporad - A.a. 2007/08

Termocoppie

Condizionamento del segnale di uscita di una termocoppia di tipo J.

Nel range 0-400° C la termocoppia produce una tensione che varia nel range 0-21.85 mV. Si progetti un circuito elettrico che faccia variare la tensione nel range 0-2.185 V.



Amplificatore non invertente

$$V_{out} = \left(\frac{R_f}{R} + 1 \right) V_i$$

Scegliendo: $R_f = 9.9 \text{ k}\Omega$

$R = 100 \Omega$

$V_i = \text{emf}_J$



$V_{out} \in 0\text{-}2.185 \text{ V}$

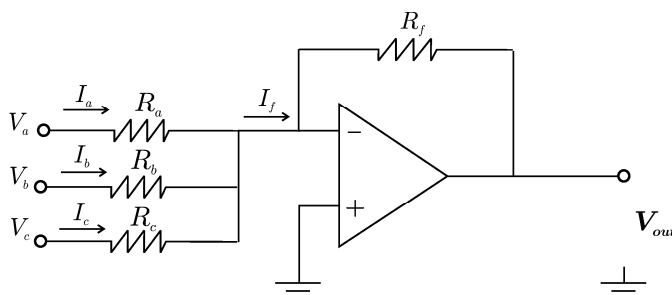
Tecnologie dei Sistemi di Controllo - A. Bemporad - A.a. 2007/08

Termocoppie - Esercizi

Si consideri un appartamento con 3 stanze. In ogni stanza si misura la temperatura con una termocoppia di tipo J. Progettare un circuito elettrico che calcoli la temperatura media dell'appartamento.

Il sistema di acquisizione prende in ingresso una tensione negativa.

Soluzione.



Amplificatore sommatore

$$V_{out} = - \left(\frac{R_f}{R_a} \right) V_a - \left(\frac{R_f}{R_b} \right) V_b - \left(\frac{R_f}{R_c} \right) V_c$$

$R_f = 3.33 \text{ k}\Omega$

$R_a = R_b = R_c = 10 \text{ k}\Omega$

Tecnologie dei Sistemi di Controllo - A. Bemporad - A.a. 2007/08

Termocoppie

Fine

Tecnologie dei Sistemi di Controllo - A. Bemporad - A.a. 2007/08

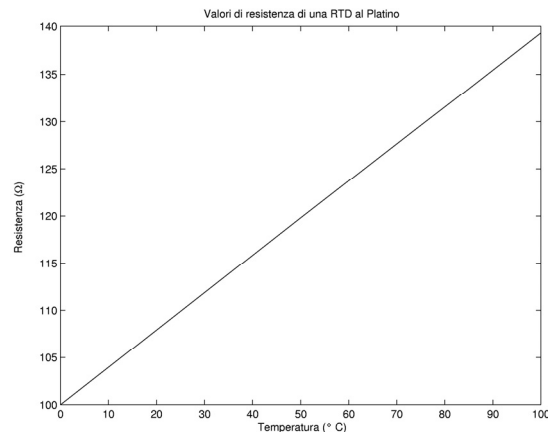
Termoresistenze

Tecnologie dei Sistemi di Controllo - A. Bemporad - A.a. 2007/08

Termoresistenze

Valori tipici di una termoresistenza al platino

Temperatura (° C)	Resistenza (Ω)
0	100.0
25	109.9
50	119.8
75	129.6
100	139.3



La resistenza di una RTD al platino può essere approssimata da

$$R = R_0(1 + a_0T + a_1T^2)$$

dove a_0 , a_1 sono costanti e R_0 è la resistenza a 0° C

Tecnologie dei Sistemi di Controllo - A. Bemporad - A.a. 2007/08

Termoresistenze

Determinare i valori di R_0 , a_0 , a_1 in base ai valori indicati nella tabella precedente.

Si considerino i valori di resistenza a 0, 50 e 100° C per trovare R_0 , a_0 , a_1 . Verificare l'accuratezza dell'equazione a 25° C.

$$100.0 = R_0(1 + 0a_0 + 0^2a_1)$$

$$119.8 = R_0(1 + 50a_0 + 50^2a_1)$$

$$139.3 = R_0(1 + 100a_0 + 100^2a_1)$$



$$R_0 = 100 \text{ } \Omega$$



$$0.198 = 50a_0 + 2500a_1$$

$$0.393 = 100a_0 + 10000a_1$$



$$a_0 = 0.0039$$

$$a_1 = -6 \times 10^{-7}$$

Verifica dei valori ottenuti per 25° C

$$R = 100(1 + 0.0039 \cdot 25 - 6 \times 10^{-7} \cdot 25^2)$$

$$= 109.9 \text{ } \Omega$$

Tecnologie dei Sistemi di Controllo - A. Bemporad - A.a. 2007/08

Termoresistenze

La resistenza di un filo metallico risulta

$$R(T) = \rho(T) \frac{L}{A}$$

supponendo che:

1. Il filo metallico sia di Nickel con resistività $\rho(T) = \rho_0(1 + \alpha T)$ con $\alpha = 8.34 \cdot 10^{-3}$
2. $R(20) = 100 \Omega$, $A = 4 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$ e sensitività $\Delta\rho/\Delta T = 0.392 \Omega/^\circ \text{ C}$.

Calcolare la lunghezza del filo.

$$\frac{\Delta\rho}{\Delta T} = \rho_0\alpha = 0.392 \quad \Longrightarrow \quad \rho_0 = 47.0 \quad \Longrightarrow \quad \rho(20) = 54.8396$$

$$L = \frac{R(20)A}{\rho(20)} = \frac{100 \cdot 4 \cdot 10^{-4}}{54.8396} = 0.73 \text{ mm}$$

Tecnologie dei Sistemi di Controllo - A. Bemporad - A.a. 2007/08

Termoresistenze

Determinare la temperatura di un corpo ipotizzando di misurarla con una termoresistenza al platino e sapendo che la tensione di uscita da un ponte di Wheatstone a due fili (si ipotizzi la resistenza dei fili trascurabile) è $E(T) = 28.15 \text{ mV}$.

Per una termoresistenza Pt100:

$$T_0 = 0^\circ \text{ C} \quad R_s = 100 \Omega \quad R = 24 \text{ k}\Omega \quad V_{AL} = 24 \text{ V}$$

Ponte di Wheatstone a 2 fili (con resistenza trascurabile)

$$E(T) \approx V_{AL} \frac{\Delta R(T)}{R + R_s} \quad \Longrightarrow \quad \Delta R(T) \approx \frac{E(T) (R + R_s)}{V_{AL}} = 28.27$$

$$R(T) = \Delta R(T) + R_s = 28.27 + 100 = 128.27 \quad \Longleftrightarrow \quad R(T) = R_s(1 + \alpha_0 T + \alpha_1 T^2)$$

$$-6 \cdot 10^{-7} T^2 + 0.0039 T - 0.2827 = 0 \quad T_1 = 73.3^\circ \text{ C}$$

$$~~T_2 = 642.67^\circ \text{ C}~~$$

Tecnologie dei Sistemi di Controllo - A. Bemporad - A.a. 2007/08

Termoresistenze

La temperatura dell'asfalto viene misurata tramite una termoresistenza al platino inserita in un ponte di Wheatstone. Si consideri il modello a tre fili per compensare le resistenze dei cavi. Si valuti l'errore di temperatura dovuto alla dissipazione di calore sapendo che $R_f=50 \Omega$, $E(T)=20 \text{ mV}$, e la corrente che scorre nella resistenza sia $I=20 \text{ mA}$.

Ipotizzando $V_{AL}=12 \text{ V}$ $R=24 \text{ k}\Omega$ $R_s=100 \Omega$

$$R(T) \approx R_s + \frac{E(T)(R + R_s + 3R_f)}{V_{AL}} = 140.42 \Omega \Rightarrow \approx 103.6^\circ \text{ C}$$

$$\Delta T = \frac{R(T)I^2}{0.08} = 0,7021^\circ \text{ C} \Rightarrow T = 103,6 \pm 0,7021^\circ \text{ C}$$

Tecnologie dei Sistemi di Controllo - A. Bemporad - A.a. 2007/08

Termoresistenze

Fine

Tecnologie dei Sistemi di Controllo - A. Bemporad - A.a. 2007/08

Termistori

Tecnologie dei Sistemi di Controllo - A. Bemporad - A.a. 2007/08

Termistori

Si consideri la sonda NTC per uso medico Philips 2322 626 12223 montata in vetro con le seguenti caratteristiche tratte dai data-sheets:

$$R(25^\circ \text{ C})=22 \text{ k}\Omega \pm 10\% \\ \beta= 3560$$

Si valuti la resistenza e la sensitività del termistore alla temperatura di 36.6° C.

$$R(T) = R_0 e^{\beta \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right)} \quad \Rightarrow \quad R(T)=14,07 \text{ k}\Omega$$

$$S(T) = -\frac{R_0 \beta}{T^2} e^{\beta \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right)} \quad \Rightarrow \quad S(T)=521,9$$

Tecnologie dei Sistemi di Controllo - A. Bemporad - A.a. 2007/08

Termistori

Fine

Tecnologie dei Sistemi di Controllo - A. Bemporad - A.a. 2007/08

Strain gages

Tecnologie dei Sistemi di Controllo - A. Bemporad - A.a. 2007/08

Strain gages

Consideriamo uno strain gage collegato ad una trave. Si supponga che lo strain gage sia inserito in ponte di Wheatstone nella configurazione a quarter bridge. Sapendo che lo strain gage è metallico, $R=120 \Omega$, la variazione di resistenza $\Delta R=0,24 \Omega$, determinare la tensione d'uscita del ponte di Wheatstone.

$$\frac{\Delta R}{R} = \epsilon_a \lambda \quad \Rightarrow \quad \epsilon_a \lambda = \frac{0,24}{120} = 2 \cdot 10^{-3}$$

Supponendo $V_{AL}=12 \text{ V}$

$$V_0 = \frac{1}{4} V_{AL} \epsilon_a \lambda = \frac{1}{4} \cdot 12 \cdot 2 \cdot 10^{-3} = 6 \text{ mV}$$

Tecnologie dei Sistemi di Controllo - A. Bemporad - A.a. 2007/08

Strain gages

Sapendo che uno strain gage ha una lunghezza di 0.01 m, sezione $1 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$, quando sottoposto a deformazione ha una variazione di lunghezza di $1 \cdot 10^{-4} \text{ m}$ e una variazione di area di $-1 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2$. Supponendo la resistività del materiale costante, si determini il GAGE FACTOR del materiale.

$$\text{Noto che } R = \rho \frac{L}{A} \quad \Rightarrow \quad \Delta R = \frac{L}{A} \Delta \rho + \frac{\rho}{A} \Delta L - \frac{\rho L}{A^2} \Delta A$$

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta \rho}{\rho} + \frac{\Delta L}{L} - \frac{\Delta A}{A}$$

$$\text{GF} = \frac{\Delta R/R}{\Delta L/L} = 1 - \frac{\Delta A/A}{\Delta L/L} = 1.1$$

Tecnologie dei Sistemi di Controllo - A. Bemporad - A.a. 2007/08

Strain gages

Fine