SENSORI-TRASDUTTORI-ATTUATORI

- Sistema di acquisizione dati
- Sensori e Trasduttori
  - Sensori e Trasduttori di temperatura
    - Sensori e Trasduttori di posizione
    - Potenziometro lineare
    - Potenziometro rotativo
  - Trasduttore di velocità angolare
    - Dinamo tachimetrica
- Attuatori
  - Motore passo-passo
- Trasmissione di segnali analogici a breve distanza

SISTEMA DI ACQUISIZIONE DATI

SENSORE

Elemento che rileva la grandezza da controllare.

LINEARIZZAZIONE

Operazione necessaria per correggere l'errore introdotto dal sensore.

CONDIZIONAMENTO

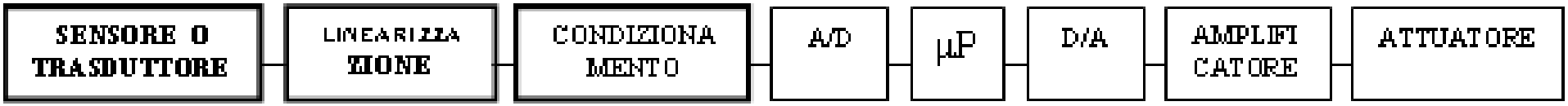
Operazione necessaria per adattare le caratteristiche del sensore ai circuiti che seguono.

CONVERTITORE A/D

Dispositivo che trasforma il segnale da continuo in digitale per renderlo compatibile con il MicroProcessore.

MICROPROCESSORE

Dispositivo che acquisisce ed, eventualmente, elabora l'informazione che gli giunge dal sensore.



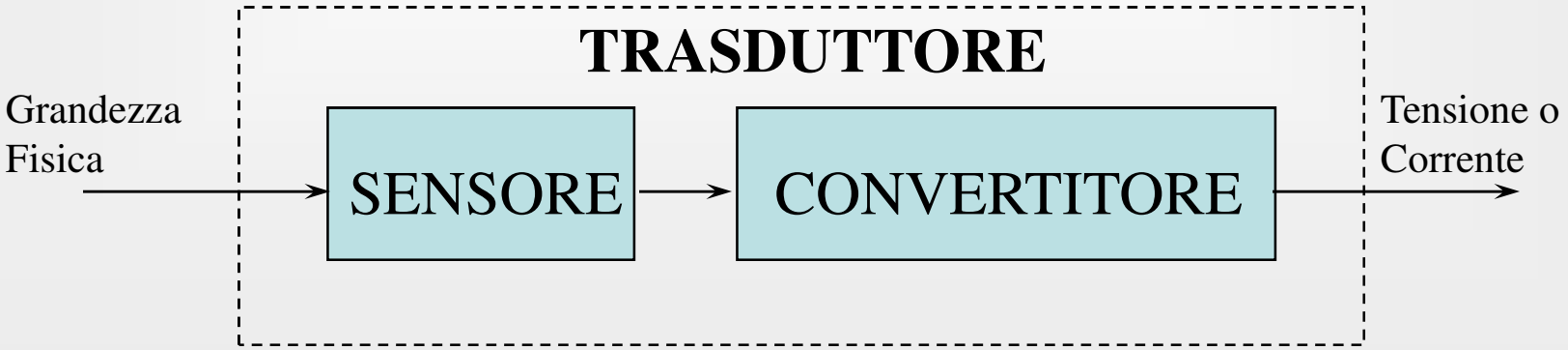
SENSORI e TRASDUTTORI

SENSORE

Elemento sensibile in grado di rilevare le variazioni di una grandezza fisica (temperatura, umidità, pressione, posizione, ecc...) e di fornire in uscita un'altra grandezza fisica (resistenza, capacità, ecc.) senza utilizzo di fonti di energia esterna.

TRASDUTTORE

Un sensore seguito da un convertitore che trasforma la grandezza fisica, in uscita da esso, in una grandezza elettrica (tensione o corrente) assorbendo energia esterna.



CLASSIFICAZIONI

Occupano il primo posto nella catena di acquisizione datti di una grandezza non elettrica.Possono essere classificati in:

ATTIVI	**Quando generano direttamente una tensione o una corrente**
PASSIVI	**Quando modulano un altro parametro elettrico (resistenza, capacità, induttanza) e necessitano di essere alimentati.**
ANALOGICI	**L'uscita varia in continuità con la grandezza d'ingresso. Non sono direttamente interfacciabili con i microProcessori e sono la grande maggioranza**
DIGITALI	**L'uscita varia a scatti (commuta solo tra due valori, uno alto e uno basso, a differenza della grandezza d'ingresso. Sono direttamente interfacciabili con i microProcessori.**

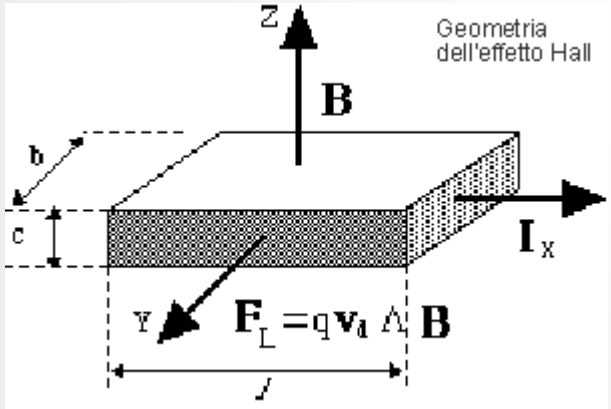
CLASSIFICAZIONI

I trasduttori possono essere classificati in base :

- **al fenomeno fisico sfruttato:**
  - **Variazione di resistività di alcuni materiali con la temperatura**
  - **Variazione di resistività di alcuni materiali sottoposti a sforzi o a deformazioni meccaniche (*)**
  - **Sull'effetto piezolelettrico (*)**
  - **Sull'effetto Hall**
  - **Sulle variazioni di induttanza prodotte dallo spostamento del nucleo di un induttore**
- **alla grandezza rilevata:**
  - **trasduttori di spostamento,**
  - **di velocità**
  - **di forza**
  - **di pressione**
  - **di livello**
  - **di temperatura**
  - **di flusso di fluidi**
  - **ecc….**

EFFETTO HALL

Effetto Hall : considerando una lastrina di materiale conduttore percorsa da corrente Ix e immersa in un campo magnetico B costante con direzione perpendicolare a quella del moto delle cariche, quest'ultime vengono sottoposte a una forza perpendicolare alla direzione del moto , che produce un addensamento delle cariche mobili su un lato della lastrina(perpendicolare all'asse y) e diradamento delle stesse sul lato opposto stabilendo così una differenza di potenziale fra i due lati che può essere rilevata



esternamente, in quanto proporzionale all'intensità della corrente e all'intensità dell'induzione magnetica e dipendente dalla distanza fra la lastrina stessa e un magnete permanente di caratteristiche note. Nei trasduttori a effetto hall il magnete è fissato all'organo mobile di cui si deve rilevare la posizione. Questi trasduttori possono rilevare piccoli spostamenti (di qualche cm).

SENSORI PIEZOELETTRICI

- I sensori piezoelettrici usano materiali che sono in grado di produrre una tensione quando vengono sottoposti a deformazioni meccaniche, ma solo in regime variabile, ossia rispondono solo a sollecitazioni dinamiche variabili nel tempo con frequenze che vanno da decine di Hertz a 50 KHz.

CARATTERISTICHE

Vi sono alcuni parametri che si prestano bene a caratterizzare le prestazioni di un gran numero di trasduttori.

Range di ingresso: Limiti di variabilità ammessi per la grandezza da rilevare in ingresso per garantire il corretto funzionamento del trasduttore

Grandezza di uscita: può essere una tensione o una corrente, una variazione di frequenza o di resistenza o altro ancora.

Caratteristica di trasferimento o di taratura: Legame tra grandezza rilevata dal trasduttore (o trasdotta) in ingresso e la grandezza elettrica in uscita, espresso sotto forma di grafico, di tabella o di equazione.grandezza

Errore di misura: lo scostamento massimo tra valore teorico in uscita e il valore effettivo rivelato dal trasduttore

Sensibilità: il rapporto tra variazione della grandezza in uscita e variazione di quella in ingresso

Linearità: Possibilità di approssimare la caratteristica di trasferimento a una relazione di primo grado

Errore di linearità: lo scostamento massimo di qualunque curva di taratura reale rispetto alla caratteristica ideale ed espresso come percentuale del valore di fondo scala.

Risoluzione: rappresenta la minima variazione possibile in uscita in corrispondenza a piccole variazioni della grandezza in ingresso. Minima variazione dell'ingresso apprezzabile dal trasduttore che origina la più piccola variazione dell'uscita.

Offset di uscita: valore riscontrato in uscita in assenza della grandezza da rilevare in ingresso.

Isteresi: fenomeno fisico riscontrato nel tracciamento della caratteristica (o curva di taratura) di un trasduttore che risulta essere leggermente diversa a seconda se questa viene tracciata per valori sempre crescenti della grandezza in ingresso o per valori sempre decrescenti. I due percorsi risultano leggermente diversi.

Errore di isteresi: la massima distanza tra i due percorsi espressa in percentuale del valore di fondo scala.

Tempo di risposta o la Costante di tempo: per i sistemi del primo ordine

Tempo di assestamento: per i sistemi di ordine superiore al primo. Tempo impiegato dall'uscita a rientrare definitivamente in una fascia di tolleranza definita intorno a un valore finale

Risposta in frequenza

Campo di temperatura entro cui viene garantito il funzionamento corretto del trasduttore

Coefficienti di temperatura. Legano le variazioni delle prestazioni alle variazioni delle condizioni ambientali.

PONTE DI WHEASTONE

Rappresenta la soluzione circuitale più diffusa per la rilevazione di variazioni di resistenza di un componente sensibile. Permette di trasformare la variazione di resistenza in variazione di tensione approssimativamente proporzionale.

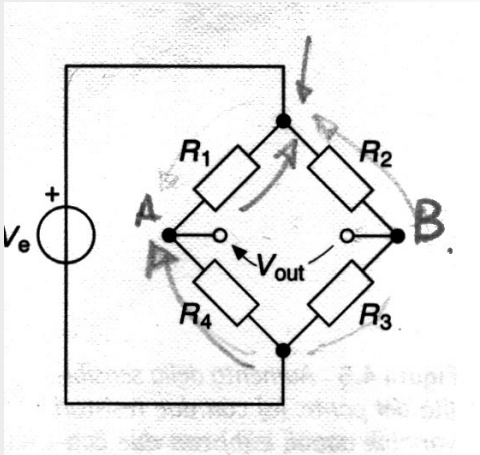


Figura 4.3 *Ponte di Wheatstone.*

In condizioni di equilibrio Vo=0 si ha:

Vr1=Vr2

Vr4=Vr3

I1=I4

I2=I3

⇒

R1I1=R2I2

R4I4=R3I2

⇒

R1*R3=R2* R4

PONTE DI WHEASTONE

Se con δ indichiamo la variazione relativa della resistenza del trasduttore rispetto al suo valore di riferimento:.

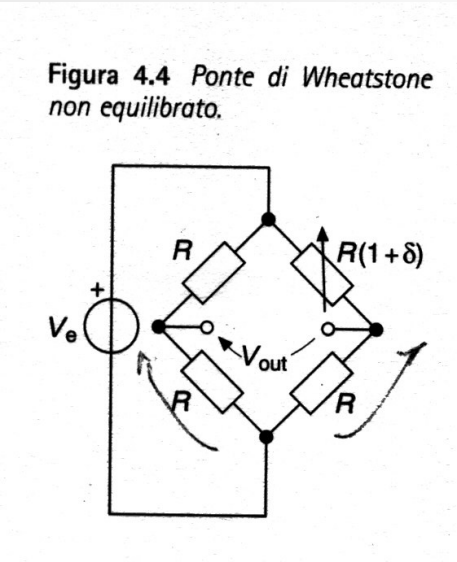


Figura 4.4 *Ponte di Wheatstone non equilibrato.*

Vout=Va-Vb

$$V_{out} = \frac{V_e}{2} - V_e \frac{R}{R + R(1+\delta)}$$

$$V_{out} \simeq \frac{V_e}{4}\delta$$

PONTE DI WHEASTONE

La sensibilità del ponte aumenta al crescere della tensione di alimentazione; può essere raddoppiata , a parità di alimentazione, ponendo due elementi variabili identici nei due lati diametralmente opposti.

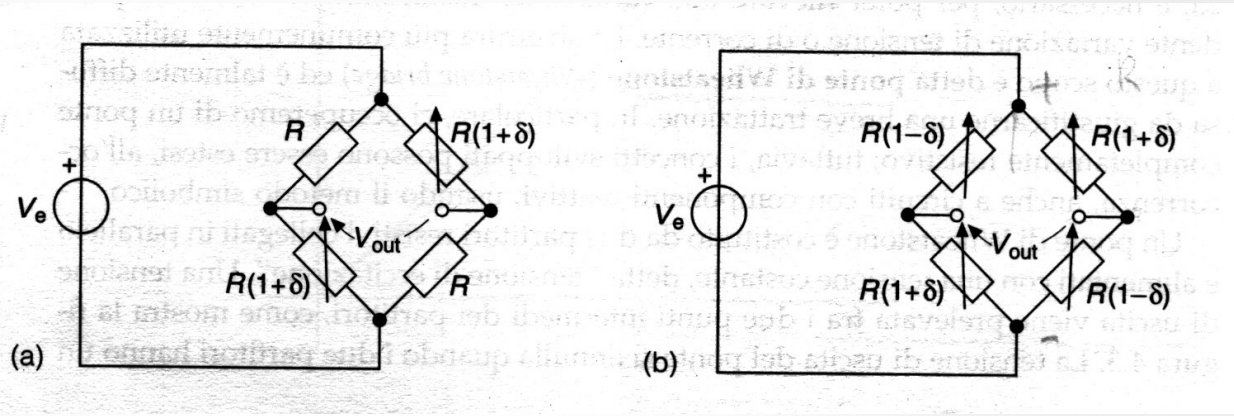


Figura 4.5 *Aumento della sensibilità del ponte: (a) con due resistori variabili uguali e (b) con due coppie complementari.*

Oppure quadruplicata con 4 resistori variabili con risposte alla grandezza da rilevare complementari (a due a due).

L'errore introdotto è inferiore all'1% se δ si mantiene inferiore a ±0,02

PONTE DI WHEASTONE

In molti casi, la tensione di squilibrio viene amplificata con un amplificatore per strumentazione.
Il ponte si presta anche alla compensazione di effetti indesiderati, come la variazione della resistenza causata dalla temperatura.
E' sufficiente inserire due resistori variabili identici come in fig. .Uno dei due verrà sottoposto alla grandezza da rilevare ed entrambi agli effetti secondari.. L'incremento causato da queste influenze sarà lo stesso sulle due resistenze e non produrrà alcun sbilanciamento del ponte, mentre la grandezza da rilevare agirà solo su un solo resistore, sbilanciando il ponte nel solito modo.

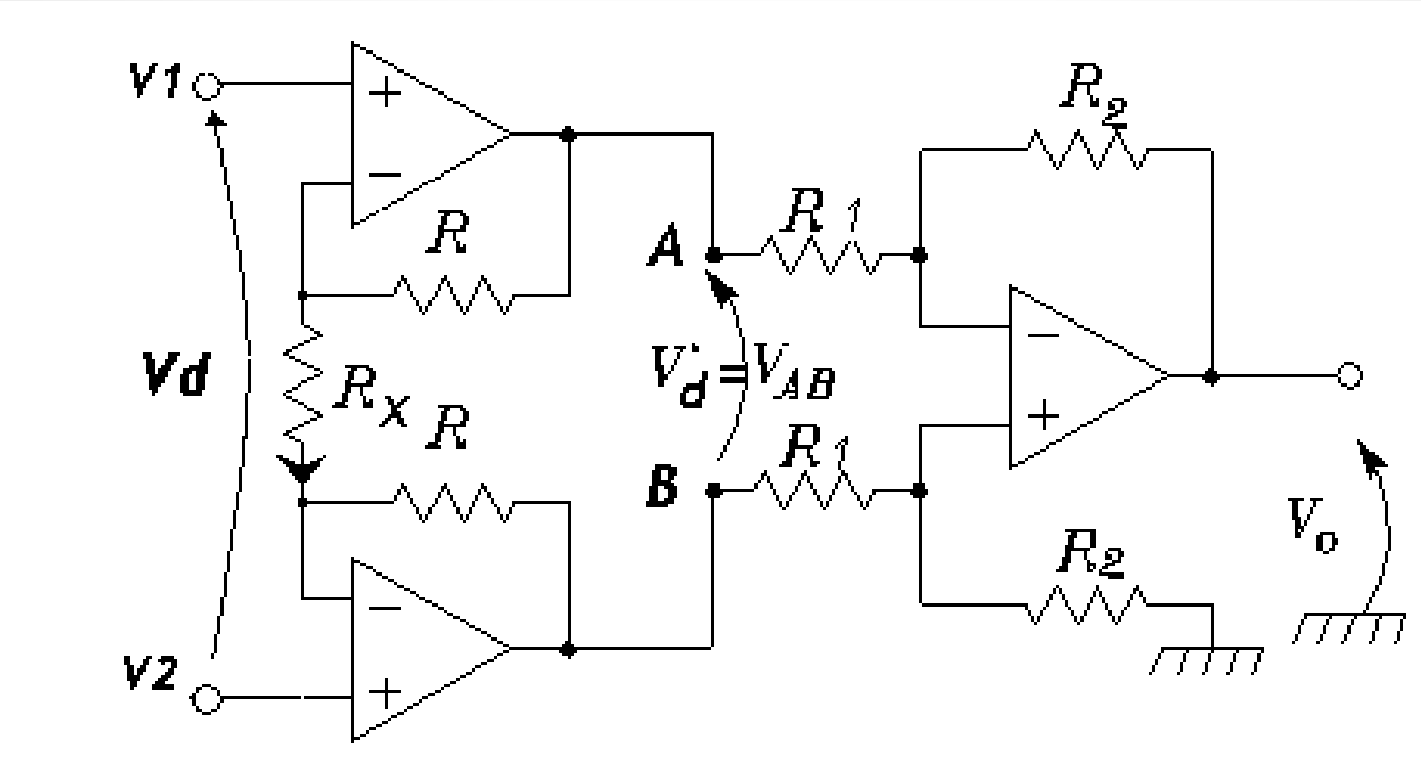
AMPLIFICATORI DA STRUMENTAZIONE

Molti strumenti di misura attuali sono realizzati con uno stadio di ingresso di tipo differenziale, in modo da consentire misure dirette di tensione tra coppie di punti qualsiasi di circuito, invece delle tensioni dei singoli punti riferite alla massa.
Questi strumenti presentano dunque uno stadio differenziale con alta impedenza in entrambi gli ingressi. Si ottiene questo risultato facendo precedere i due ingressi di un AD realizzato con un operazionale da due inseguitori , anch'essi realizzati con AO. Un ulteriore artificio permette di regolare il guadagno differenziale (per le operazioni di taratura) agendo su un unico resistore variabile, in modo da massimizzare il CMRR=Ad/Acm.

AMPLIFICATORI DA STRUMENTAZIONE

Lo schema così ottenuto è detto amplificatore per strumentazione e viene spesso realizzato come integrato singolo.

Vo= (Va-Vb)*R2/R1= Vd'R2/R1



AMPLIFICATORI DA STRUMENTAZIONE

I terminali invertenti sono stati collegati fra loro mediante un resistore variabile Rx. Poiché i due ingressi di ciascun AO devono essere al medesimo potenziale , la tensione Vd si ritrova applicata anche ai capi di Rx e provoca, in tale resistore, una corrente pari a

Ix= V d /Rx

Questa corrente non può provenire dai terminali di ingresso degli operazionali e perciò deve percorrere i due resistori R collegati fra le uscite degli operazionali ; la corrente Ix, dunque percorrendo la catena dei tre R-Rx-R resistori , in serie tra loro , produce una tensione V'd, che viene applicata allo stadi differenziale vero e proprio. Essa vale

V'd= Ix (2R+Rx)=V d (1+2R/Rx)

La tensione V'd viene a sua volta moltiplicata per il guadagno dello stadio differenziale. Pertanto il guadagno complessivo del circuito di figura risulta

Ad=(1+2R/Rx)*(R2/R1)

Il guadagno differenziale dipende dal valore di Rx e può quindi essere modificato agendo su questo solo resistore.

E' utile osservare che, in ogni istante , le tensioni delle uscite dei due stati di ingresso sono esterne all'intervallo compreso tra v1 e v2. Infatti posto V1>V2, avremmo:

Vo1=V1+IxR

Vo2=V2-IxR

AMPLIFICATORI DA STRUMENTAZIONE

In molte realizzazioni integrate , il guadagno dello stadio differenziale è fissato a 1 (R2/R1=1), per ridurre al minimo l'amplificazione dell'offset e dei disturbi prodotti dagli stadi di ingresso : in tal caso il guadagno complessivo si riduce a:

Ad=(1+2R/Rx)

Spesso i due stadi separatori sono realizzati con ingressi a FET per aumentare la resistenza di ingresso e ridurre le correnti di polarizzazione .

Il rapporto di reiezione di modo comune è generalmente superiore a 100 dB.

Il resistore per la regolazione del guadagno in genere deve essere aggiunto all'esterno dell'integrato .

Sono in commercio numerosi integrati di questo genere che contengono già una rete di resistori tarati che consentono di scegliere il guadagno entro una gamma di valori prefissati (AD612) e altri integrati come l'LH0084 (vedi schema), dotato di due ingressi digitali e di una rete di resistori predisposta per lo stadio differenziale. Variando i collegamenti di questa rete è possibile scegliere fra tre gruppi di valori del guadagno:

1,2 ,5,10;

4,8,20,40;

10,20,50,100

La scelta del guadagno entro ciascun gruppo è ottenuta mediante gli ingressi digitali

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**
- **Termistori**
- **Termocoppie**
- **Sensori di temperatura a semiconduttore**
- **Sensori integrati**
- **Interruttore termico bimetallico**

LE TERMORESISTENZE

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 non lineare e nei conduttori metallici vale la relazione

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

con Ro = resistenza a 0°C
K=coeff. di temperatura del materiale
ΔT= salto termico.

Materiali usati: rame, nickel, platino

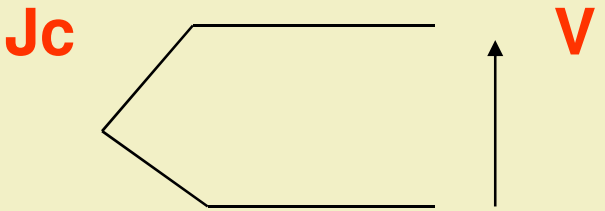
I TERMISTORI

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:

$$V=\alpha\Delta T= \alpha\Delta(Tc-Tf)$$



Con opportuni accorgimenti, si può ottenere una tensione direttamente correlata alla temperatura centigrada del giunto caldo (che essendo un atemperatura 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 flesione del dispositivo. Tale flessione determina lo scatto dell'interruttore quando la temperatura raggiunge il valore desiderato.

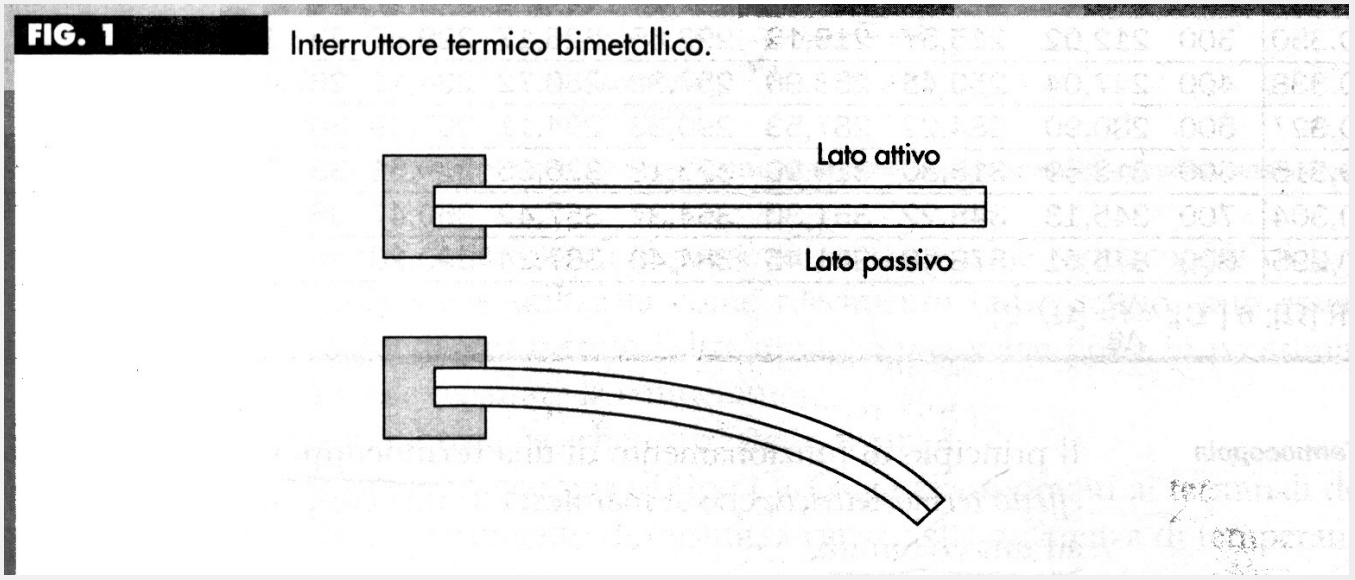


FIG. 1 Interruttore termico bimetallico.

SENSORI e TRASDUTTORI di TEMPERATURA

Sensore di temperatura TP100

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

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.

SENSORI e TRASDUTTORI di TEMPERATURA

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:

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

dove:
RT è la resistenza del termistore alla temperatura generica T;
RT_a è la resistenza del termistore alla temperatura ambiente T=20℃;
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;
Ta è la temperatura ambiente (20℃ → 293 K) espressa in Kelvin;

Il termistore NTC

CIRCUITO DI UTILIZZAZIONE

È evidente che la caratteristica R→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→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:

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

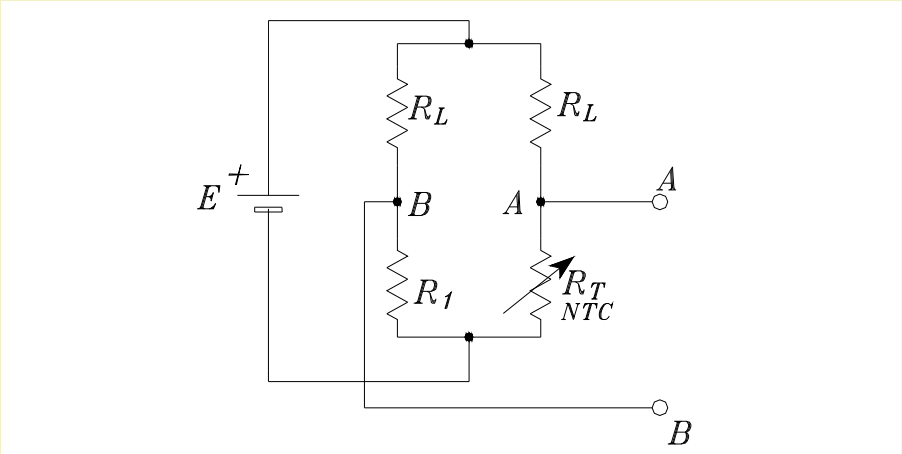
RL è la resistenza di linearizzazione;
R(Tmed) è la resistenza alla temperatura media
B è la costante del sensore NTC espressa in K;

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

Il termistore NTC

INVERSIONE CARATTERISTICA R→T

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



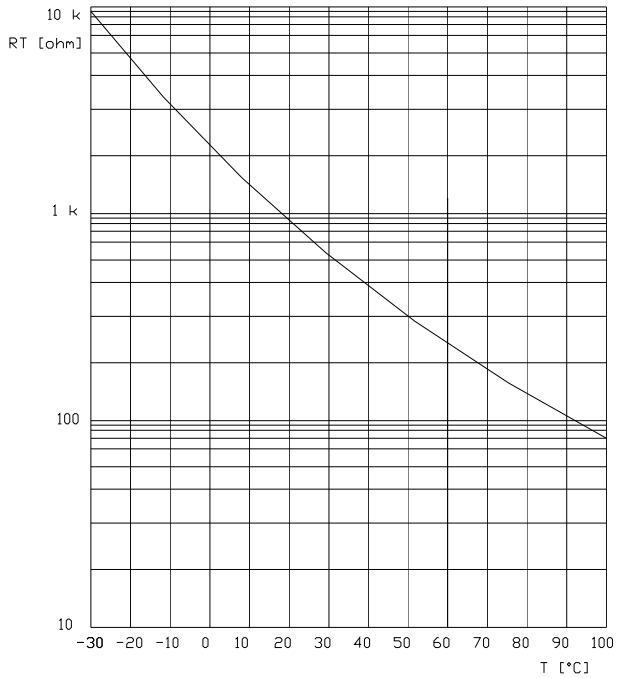
dove:
RL è la resistenza di linearizzazione;
R1 resistenza per il bilanciamento del ponte.

Il termistore NTC

ESEMPIO:

Utilizzare un termistore NTC k25-1k, la cui caratteristica è riportata in figura 1, nel range 20℃÷80℃.

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



RTa=1000Ω

B= 3530[K]

Potenza a 60℃ = 200 mW

Il termistore NTC

Trasformazione della temperatura da ℃ →K

T=20℃ → 20+273=293 K
T=80℃ → 80+273=353 K
TMED=(20+80)/2=50℃ → 50+273=323 K

CALCOLO DELLA RESISTENZA FORNITA DAL SENSORE NTC AL VARIARE DELLA TEMPERATURA

Alla T=20℃ → RT=RTa=1000Ω

Alla T=80℃ →

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

Alla Tmed=50℃ →

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

CALCOLO DELLA RESISTENZA DI LINEARIZZAZIONE

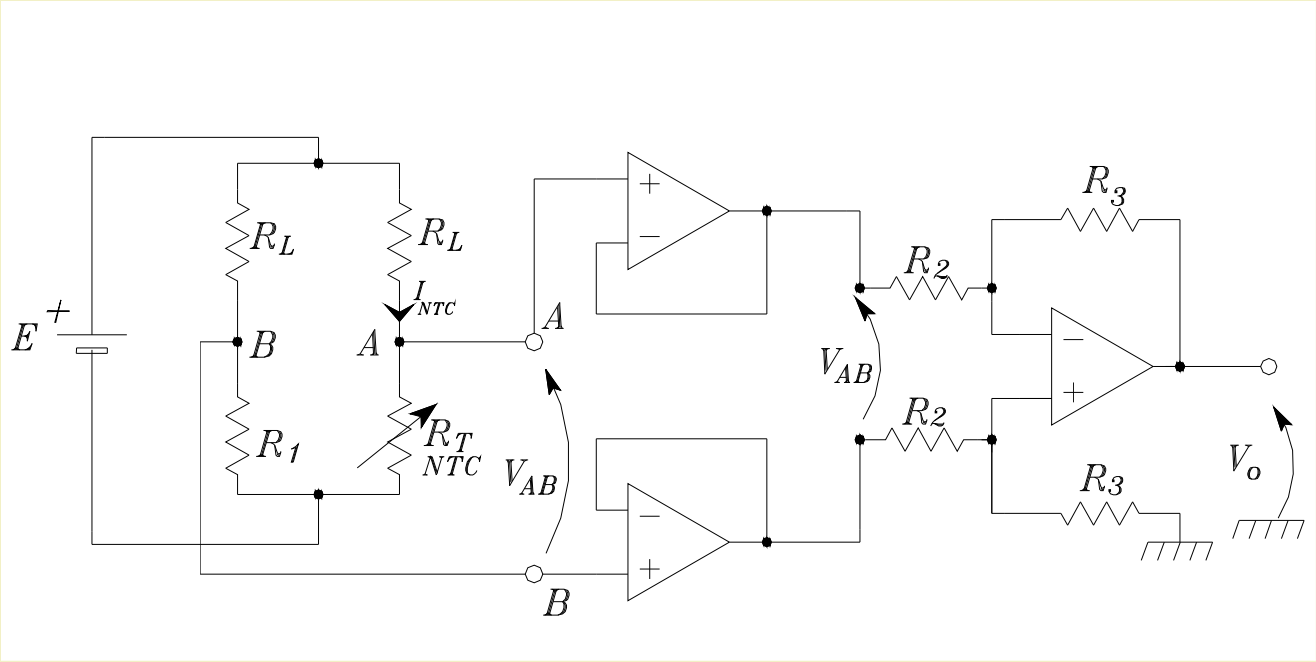
$$R_L = R(T_{med}) \cdot \frac{B - 2 \cdot T_{med}}{B + 2 \cdot T_{med}}$$

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:

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

Il termistore NTC

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

sostituendo si ottiene:

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

Si ottiene una potenza massima dissipata a 80℃ di 148 mW, che è confrontabile con i 200 mW a 60℃, 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℃.

Il termistore NTC

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

Sappiamo che :

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

Da cui ricavo la *INTC_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:

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

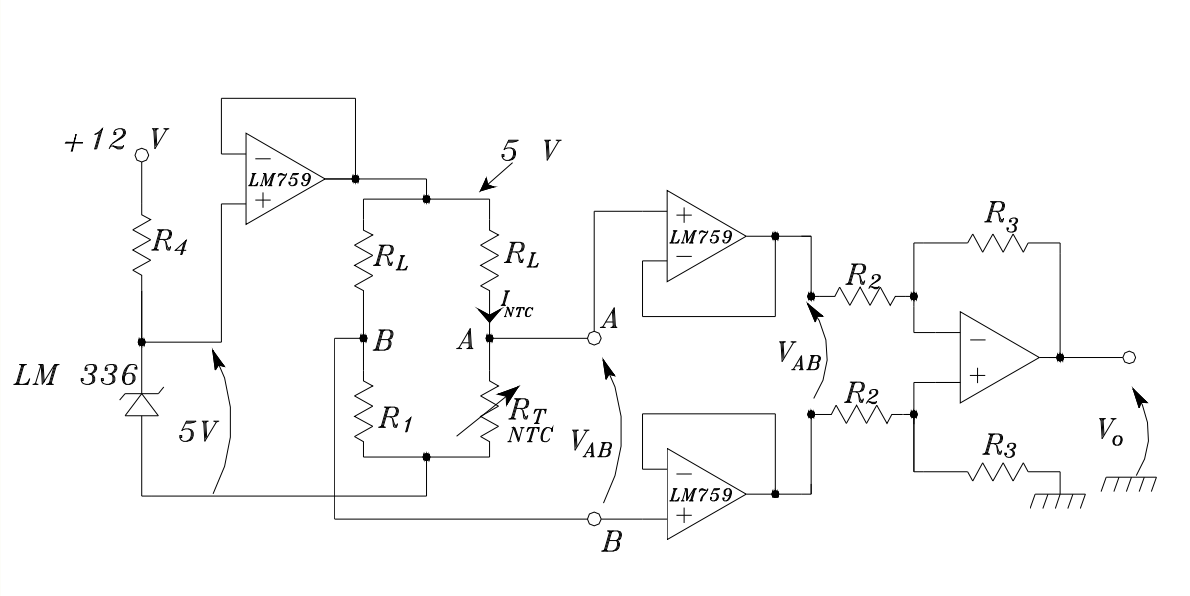
da cui ricavo V_{ALIM}:

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

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

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

Il termistore NTC



Non resta che dimensionare le resistenze: R1– R2 – R3 – R4 :

<u>dimensionamento della R1</u>

A R1 impongo lo stesso valore fornito dal termistore alla temperatura cui voglio la tensione d'uscita (Vo) nulla. Pertanto essendo che voglio ottenere una tensione nulla alla temperatura di 20℃, impongo R1=RT=20℃= 1000Ω, bilanciando in tal modo il ponte.

<u>dimensionamento di R2 –R3</u>

Le resistenze R2 e R3 fanno parte del circuito del fattore di scala formato dall'amplificatore differenziale, il cui compito è quello di amplificare la VAB posta al suo ingresso fino al valore di 5[V] quando la temperatura misurata è 80℃.

Il termistore NTC

Per fare ciò ci serve sapere quanto vale VAB alla T=80°C, calcoliamola

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

$$V_A = R_{T=80°C} \cdot I_{NTC}$$

$$V_B = R_1 \cdot I_B$$

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

pertanto si ottiene:

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

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:

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

<u>dimensionamento di R4</u>

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 Iz che attraversa lo zener:

$$12 - R_4 \cdot Iz - Vz = 0$$

da cui:

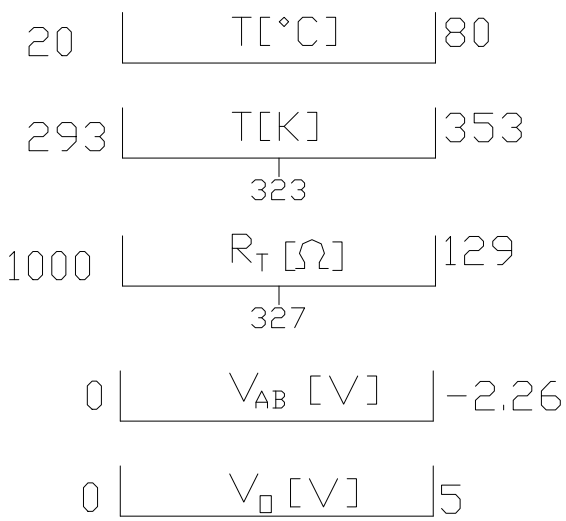
$$Iz = \frac{12 - Vz}{R_4}$$

Il termistore NTC

impongo la condizione Iz<3 [mA] e ricavo la R4

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

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

$$R_4 \geq 2333\Omega$$

scelgo R4=2400 [Ω]