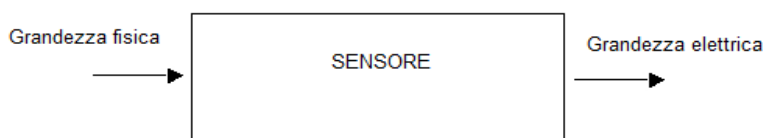
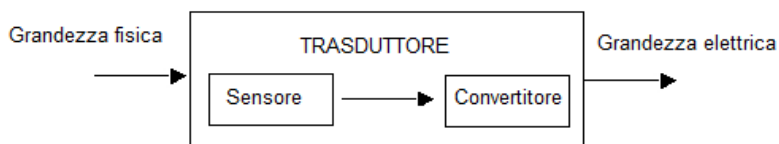


Trasduttori

Un *seniore* è un dispositivo o elemento sensibile in grado di rilevare le variazioni di una grandezza fisica (temperatura, umidità, pressione, posizione, luminosità, ecc.), e di fornire in uscita una grandezza elettrica (resistenza, capacità, ecc.) senza utilizzo di fonti di energia.



Il sensore ed il convertitore formano, nel loro insieme, un trasduttore che trasforma l'energia termica d'ingresso in energia elettrica utilizzabile in uscita.



Parametri dei trasduttori

I trasduttori sono dispositivi che forniscono in uscita una grandezza elettrica proporzionale all'entità o alla variazione della grandezza fisica in esame. Un trasduttore può essere classificato in base al principio fisico sul quale si basa il suo funzionamento, in base alla grandezza da misurare, oppure in base al fatto che il trasduttore sia attivo o passivo.

Nel primo caso, per effetto della grandezza fisica applicata in ingresso generano autonomamente una tensione o una corrente, mentre nel secondo caso il trasduttore, per essere impiegato, richiede una sorgente di alimentazione esterna, chiamata eccitazione.

I principali parametri che caratterizzano un trasduttore sono:

- **Grandezza fisica** che misurano;
- **Sensibilità** esprime il rapporto fra la variazione della grandezza di uscita e la corrispondente variazione della grandezza d'ingresso. Lo strumento risulterà essere molto sensibile quando a parità di grandezza d'ingresso la grandezza di uscita è molto elevata. $S = \Delta o / \Delta i$
- **Range di funzionamento o campo di funzionamento**: è l'intervallo di valori entro cui il trasduttore lavora secondo i parametri stabiliti. Appena esce dal range il trasduttore non funziona più, e ritorna a lavorare appena rientra nell'intervallo. Il range di ingresso definisce i limiti entro cui può variare l'ingresso; mentre il range di uscita definisce i limiti entro cui può variare l'uscita.
- **Segnale di uscita**: indica il tipo di segnale che il sensore offre in uscita; può essere analogico o digitale, una tensione, una corrente, una resistenza, ecc.
- **Precisione**: ci fornisce l'errore tra l'uscita teorica e quella reale del trasduttore.
- **Funzione di trasferimento**: è la relazione fra la grandezza da rilevare e la grandezza dall'uscita del trasduttore; può essere descritta da una relazione matematica o da una tabella di valori.
- **Errore di misura**: rappresenta la differenza fra il valore reale della grandezza ed il valore misurato. Tale differenza può dipendere, oltre che da errori di calibrazione e linearità, dalle imperfezioni costruttive, da variazioni termiche o di alimentazione, dall'invecchiamento del dispositivo e dalle sollecitazioni a cui è sottoposto.

- **Caratteristiche dinamiche:** esprimono il funzionamento del sensore in presenza di rapide variazioni di grandezza di ingresso o di grandezze d'ingresso periodiche. I principali parametri sono il *tempo di risposta*, il *tempo di salita* e il *tempo di assestamento*.
- **Isteresi:** alcuni trasduttori presentano una caratteristica diversa a seconda se l'ingresso passi dal valore minimo al massimo o viceversa.
- **Risoluzione:** è la minima variazione della grandezza misurata che produce una variazione del segnale dall'uscita, cioè esprime la variazione minima di uscita rispetto al fondoscala: $R = 1/\Delta_{\text{min}}$. Un buon trasduttore presenta una bassa risoluzione (cioè può apprezzare segnali di piccolo valore riferiti alla portata del dispositivo).
- **Ripetibilità:** è la capacità di fornire in uscita un identico segnale applicando il medesimo ingresso in tempi diversi. Inoltre, indica la costanza nel tempo delle caratteristiche del trasduttore (la sua resistenza all'invecchiamento).

Criteri pratici di scelta dei trasduttori

Un trasduttore ideale dovrebbe avere le seguenti specifiche:

- caratteristica di trasferimento (I/O) lineare
- range di funzionamento ampio
- alta sensibilità
- bassa risoluzione
- tempo di risposta nullo
- assenza di isteresi

In realtà, un generico trasduttore presenta solo alcune di queste specifiche. E' compito del progettista scegliere il dispositivo che meglio si adatta all'apparato da realizzare. In ogni caso nella scelta non si può prescindere dal costo e dalla reperibilità del componente per eventuali, e a volte inevitabili, interventi di riparazione. Spesso la scelta di un trasduttore risulta condizionata da un compromesso tra le varie specifiche.

In generale un buon trasduttore deve avere:

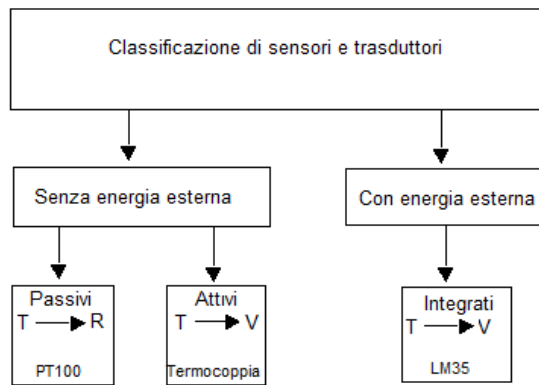
- elevato range della grandezza da controllare
- perfetta linearità per ottenere la massima precisione
- piccolo tempo di risposta
- bassa resistenza di uscita

Le altre specifiche possono essere valutate per ottimizzare il rapporto costo/prestazioni.

Classificazione dei trasduttori

Esistono diverse classificazioni dei trasduttori, ognuna delle quali è riferita a particolari elementi presi in considerazione, quali il tipo del segnale d'uscita, il principio fisico di funzionamento, la natura della grandezza d'ingresso, ecc.

Una prima classificazione dei trasduttori è basata sulla presenza o meno di una fonte di energia esterna, necessaria al loro funzionamento.

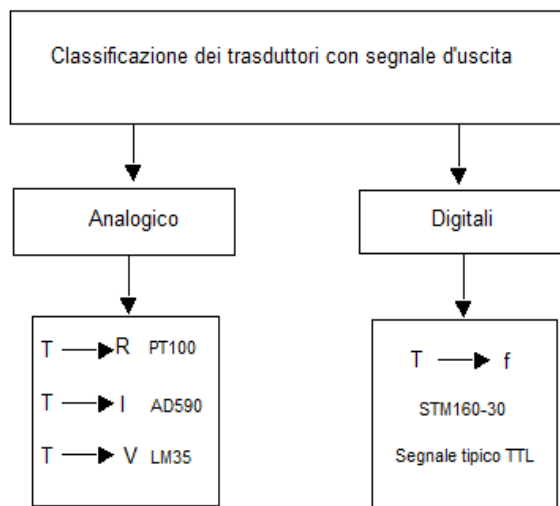


Trasduttori passivi (sensori). Sono sensori ai quali bisogna fornire energia esterna perché la grandezza fisica d'ingresso possa essere trasformata in una grandezza elettrica d'uscita. Alcuni esempi sono: la fotoresistenza, la termoresistenza e il potenziometro, che producono in uscita variazioni di resistenza in relazione a variazioni, rispettivamente, della luminosità, della temperatura e della posizione assunta dal cursore mobile.

Trasduttori attivi (trasduttori autogeneranti). Forniscono in uscita una grandezza elettrica direttamente utilizzabile senza consumo di energia esterna. In taluni casi il trasduttore fornisce in uscita una grandezza elettrica che può essere manipolata dai circuiti elettronici di elaborazione. E' il caso delle celle fotovoltaiche e delle termocoppie che generano una tensione d'uscita in funzione, rispettivamente, della luminosità e della temperatura.

Trasduttori integrati. Forniscono in uscita una grandezza elettrica (tensione o corrente). Questi trasduttori, a volte complessi e costosi, integrano nel chip alcuni componenti elettronici che trasformano la generica grandezza fisica rilevata in una grandezza elettrica (tensione o corrente).

Una classificazione basata sul tipo di segnale d'uscita distingue i trasduttori come riportato di seguito.



Analogici. Presentano una caratteristica ingresso/uscita costituita da una funzione continua. La grandezza d'uscita e quella d'ingresso variano con continuità assumendo tutti i valori appartenenti a un sottoinsieme dei numeri reali. E' il caso di molti trasduttori passivi (termistori NTC, fotoresistenza, ecc.) e di svariati trasduttori in forma integrata che forniscono in uscita, come grandezza elettrica, una tensione o una intensità di corrente.

Digitali. Presentano una caratteristica ingresso/uscita che può assumere solo due distinti valori: alto o basso. Al valore alto si associa il livello logico "1", mentre a quello basso si associa il livello logico "0". La lamina bimetallica è un esempio di trasduttore digitale, vista come un relè termico, o l'encoder incrementale che genera un treno d'impulsi.

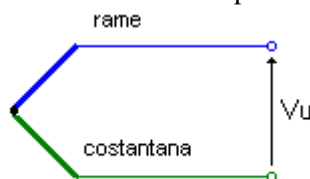
Trasduttori di temperatura

Sono dispositivi che convertono una temperatura in una grandezza elettrica.

Termocoppia

Questo sensore basa il suo funzionamento sull'effetto Seebeck: se due conduttori diversi sono uniti alle estremità e le due giunzioni si trovano a temperatura diversa, si genera una corrente proporzionale alla differenza di temperatura.

Le due giunzioni vengono definite *giunzione calda* e *giunzione fredda*. Comunemente la giunzione calda, in figura, viene inserita nel punto in cui si vuole rilevare la temperatura.



I terminali, invece, vengono posti a temperatura ambiente: la differenza di potenziale tra essi è proporzionale alla differenza tra la temperatura da rilevare e quella ambiente.

Chiamando α il coefficiente di Seebeck, espresso in $\mu V/^\circ C$, avremo che la differenza di potenziale e sarà data dalla formula:

$$e = \alpha (T_c - T_r)$$

Dove T_c è la temperatura della zona da misurare dove viene posta la giunzione calda, mentre T_r è la temperatura di riferimento delle estremità della termocoppia.



Esistono sul mercato diversi tipi di termocoppie. Ad esempio, le termocoppie di tipo T (rame-costantana), di tipo J (ferro-costantana), di tipo N (nichel-silicio) e di tipo K (cromo-alluminio). Le differenze principali tra un tipo di termocoppia e l'altro sono l'intervallo di temperatura in cui operano linearmente ed il coefficiente di Seebeck. Per esempio la termocoppia di tipo K lavora linearmente da $-200^\circ C$ a $+1200^\circ C$ con $\alpha = 40 \mu V/^\circ C$ circa.

Termoresistenza

Le termoresistenze sono sensori costituiti da un filamento di un unico metallo (tipicamente il Platino o il Nichel), la cui resistenza elettrica (ohm) è, a parità di altre circostanze, unicamente funzione della temperatura a cui si trova il filamento stesso:

$$R = R_0 (1 + \alpha T)$$

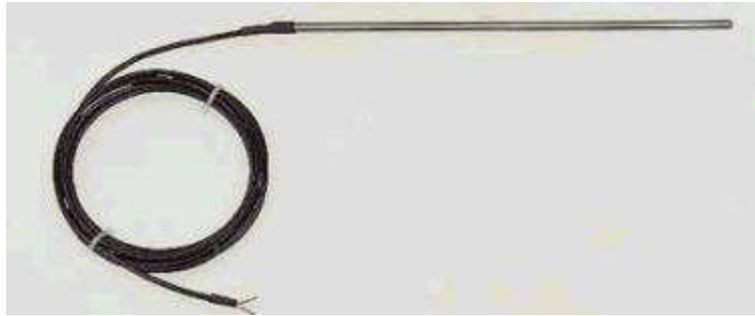
dove R_0 è la resistenza a $0^\circ C$, e α il coefficiente di temperatura, espresso in $1/^\circ C$ ($^\circ C^{-1}$), e T è la temperatura in $^\circ C$.

Il rilevamento del valore è realizzato con il classico ponte di Wheatstone. I campi di lavoro (range) delle termoresistenze vanno da $-200^\circ C$ a $900^\circ C$, hanno una buona linearità, sono precisi e stabili.

I metalli che si utilizzano sono rame, nichel e platino. Le termoresistenze, quando realizzate col platino ($\alpha=0,0039/^\circ C$), hanno il pregio di non corrodarsi, quindi si prestano bene all'utilizzo in ambienti gravosi.

Il difetto principale è che " α " è piccolo per cui sono necessari circuiti amplificatori con forte amplificazione.

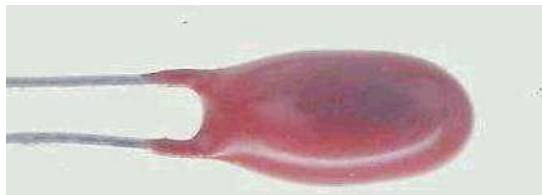
Inoltre per trasformare la variazione di resistenza in una variazione di tensione occorre farli attraversare da corrente e ciò comporta una variazione di resistenza per effetto joule che introduce un errore nella misura.



Una delle termoresistenze più diffuse è la PT100 al platino in figura che presenta 100 Ω a 0 °C e 375 Ω a 800 °C.

Termistore

Come nella termoresistenza, nel termistore si sfrutta la variazione di resistenza nel dispositivo in conseguenza alla variazione di temperatura. I termistori si suddividono in NTC (*negative temperature coefficient*) ed in PTC (*positive temperature coefficient*). I primi diminuiscono la loro resistenza all'aumentare della temperatura, mentre i secondi l'aumentano. Rispetto alle termoresistenze i termistori hanno una sensibilità maggiore; tuttavia essi sono meno lineari delle prime ed hanno un limitato intervallo di temperatura d'impiego (fino a circa 150°C).



I termistori NTC sono realizzati con miscele di semiconduttori composti (ossidi di Nichel e Manganese) e non con silicio o germanio. La resistenza di questi ultimi materiali è infatti troppo sensibile alla presenza di impurità nel cristallo.

La caratteristica di un termistore NTC è del tipo:

$$R = R_0 e^{B(1/T - 1/T_0)}$$

Dove:

T è la temperatura ASSOLUTA

T₀ è una temperatura assoluta di riferimento (298 °K)

B è una costante.

La caratteristica dei resistori è pesantemente non lineare: si prestano perciò a lavorare bene solo dove la linearità non è importante (controlli di temperatura) o dove i range di lavoro sono ristretti (termometria clinica).

Possono anche venire utilizzati in alcuni trasduttori secondari come dei misuratori di flusso per fluidi.

Termistori PTC

Materiali semiconduttori fortemente drogati possono presentare comportamento simile a quello dei metalli: avere cioè un coefficiente di temperatura POSITIVO, col vantaggio rispetto a quello dei metalli di essere più molto grande.

La maggiore sensibilità va a scapito tuttavia della minore linearità.

All'aumentare della temperatura aumenta la resistenza.

Differenze fra PTC e NTC

Il PTC è più sensibile ma meno lineare e inoltre ha un range che varia fra -50 e 150 °C.

Sensori allo stato solido

Sono trasduttori che sfruttano la proprietà delle giunzioni a semiconduttore polarizzate direttamente di variare la tensione ai loro capi al variare della temperatura. Spesso vengono realizzati sensori integrati che forniscono all'uscita una tensione, come l'integrato LM35 (sensibilità di 10mV/°C), o una corrente, come l'integrato AD590 (sensibilità di 1µA/°K).



La temperatura massima di lavoro di questi dispositivi è limitata a valori dell'ordine di 150°C.

Sensori di Temperatura Integrati "AD590"

Esistono sul mercato dei dispositivi integrati che comprendono oltre al sensore a semiconduttore, degli appositi circuiti per amplificare il segnale fornito dal sensore e per linearizzarlo.

Il più noto è l'AD 590 della Analog Devices, il quale si comporta come un *generatore di corrente*.

Tale dispositivo va alimentato con una tensione fra 4 e 30 volt e produce ai suoi poli una corrente che dipende linearmente dalla temperatura:

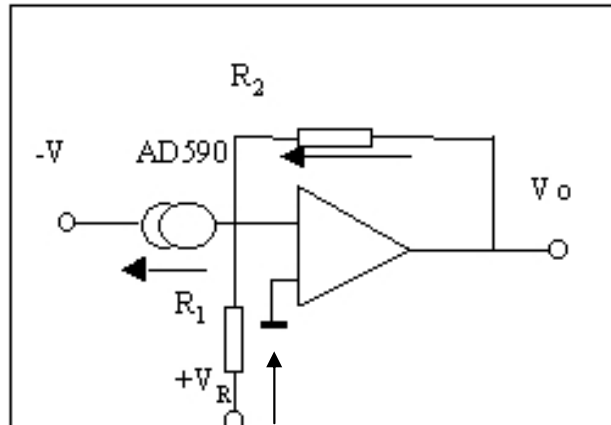
$$I=KT \text{ con } T \text{ in gradi Kelvin}$$

$$\text{e } K=1 \mu\text{A} / ^\circ\text{K}$$

Il funzionamento in corrente presenta il vantaggio di rendere il segnale di uscita indipendente da eventuali variazioni della tensione di alimentazione (pila parzialmente scarica oppure alimentazione disturbata) .

Il contenitore metallico di tipo TO52 consente una elevata velocità di risposta (costante di tempo termica bassa: la costante di tempo termica è la costante di tempo dell'esponenziale che esprime l'andamento dell'uscita nel tempo quando la temperatura subisce una variazione a gradino).

Un circuito ad operazionale che utilizza un AD590 è quello di figura:



A zero gradi centigradi (273 °K) il componente fornisce 273 μ A.

Se R_1 è percorsa da questa corrente allora I_{R_2} è nulla ed il circuito fornisce $V_o=0$.

Ad una temperatura qualsiasi $I_{R_2}=I_s-I_{R_1}$

$$V_o=R_2 (I_s-V_R/R_1)$$

$$\text{Allora } \Delta V_o / \Delta T = R_2 I_s / \Delta T = R_2 K$$

Volendo avere, ad esempio 10 V a 100 °C occorre che sia:

$$\Delta V_o / \Delta T = 10/100 = 0.1 \text{ volt}/^\circ\text{C}.$$

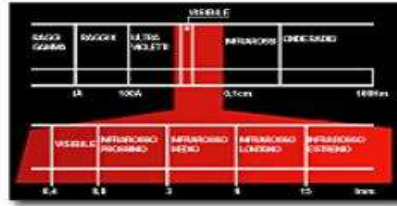
$$\text{Segue } R_2 = 0.1 / 10^{-6} = 100 \text{ K } \Omega$$

La tensione V_R deve essere rigorosamente stabilizzata.

Termometro a radiazione

Un termometro a radiazione rileva la temperatura di un corpo misurando la radiazione elettromagnetica che esso emette.

Questa radiazione è la risultante dell'energia contenuta in tutti i corpi e viene emessa in un campo molto ampio di lunghezze d'onda, che va dai raggi gamma, attraverso i raggi X, i raggi ultravioletti, il visibile, i raggi infrarossi fino alle onde radio.



La tabella fornisce una rappresentazione grafica di questo campo di lunghezza d'onda (zona rossa) e mette in risalto la piccola banda degli infrarossi in cui si ha una relazione energia-temperatura razionalmente utilizzabile a scopi di misura.

In questa banda di lunghezza d'onda è possibile coprire la maggior parte delle misure di temperatura nelle diverse applicazioni industriali. Pertanto si può considerare un termometro a radiazione uno strumento che quantifica questa energia e la esprime con una uscita elettrica proporzionale alla temperatura del corpo di misura.

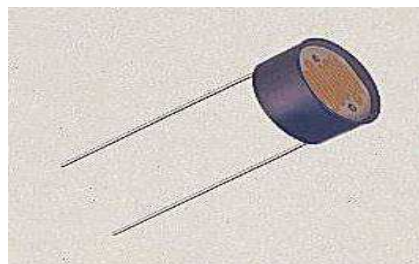
I vantaggi maggiori di questi dispositivi sono la capacità di rilevare la temperatura di un sistema senza la necessità di un contatto fisico tra il sistema ed il trasduttore (lo spettro termico può essere trasmesso al sensore attraverso una fibra ottica) e la possibilità di misurare temperature elevate, fino a 3000°C. Lo svantaggio maggiore è costituito dalla scarsa precisione del dispositivo.

Trasduttori di luminosità

Sono dispositivi che permettono la conversione di un segnale luminoso in un segnale elettrico. Per definire la sensibilità di questi dispositivi si utilizza come unità di misura il lux (lx), corrispondente al flusso di un lumen per ogni metro quadrato di superficie. Il lumen (lm) a sua volta *rappresenta la quantità di luce prodotta dalla radiazione di potenza 1/680W e di lunghezza d'onda 0,555 μm*. A questa lunghezza d'onda, corrispondente al colore giallo-verde, l'occhio umano ha la sensibilità maggiore.

Fotoresistenza

La fotoresistenza è costituita da materiali fotoconduttivi, come il solfuro di cadmio ed il solfuro di piombo, caratterizzati dalla proprietà di diminuire la loro resistenza al crescere della radiazione luminosa incidente.



Ciò è dovuto al fatto che quando un fotone colpisce un elettrone impegnato in un legame covalente viene ceduta energia che può risultare sufficiente per liberare l'elettrone dal legame. Se ciò accade si genera nel semiconduttore una nuova coppia elettrone-lacuna, utile per la conduzione elettrica.

Perciò maggior radiazione luminosa colpisce la fotoresistenza, maggior coppie elettrone-lacuna si liberano. La resistenza del sensore può passare da un valore di circa 1 MΩ, in condizioni di totale oscurità, ad un valore dell'ordine di 100Ω, quando sottoposto a forti flussi luminosi. Questi trasduttori presentano lo svantaggio di avere tempi di salita superiori ai 50-100 ms, per cui non sono adatti a misurare rapide variazioni di luce.

Fotodiiodo

Questo dispositivo è costituito da una giunzione PN che, colpita da luce, genera coppie di elettroni e lacune. Posto in un circuito polarizzato inversamente, la sua corrente inversa sarà funzione dell'energia luminosa incidente.

Essa, in condizioni di buio, è dell'ordine di qualche decina di nA , se il fotodiiodo è al silicio, è di qualche μA , se il fotodiiodo è al germanio. La sensibilità è di alcune decine di nA/lx .

La sensibilità spettrale del fotodiiodo interessa le radiazioni comprese tra 0.7 e 0.9 μm . L'occhio umano percepisce le radiazioni comprese tra 0,38 e 0,78 μm , quindi il fotodiiodo può essere usato anche con radiazioni non percepibili dal nostro apparato visivo.



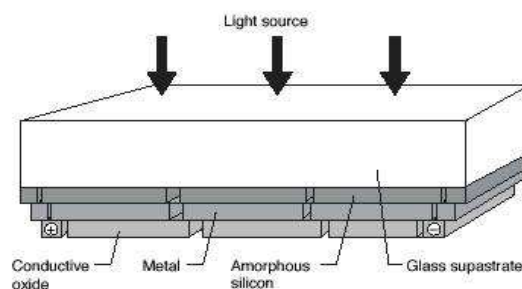
I vantaggi dei fotodiiodi, rispetto alle fotoresistenze, consistono in una risposta spettrale in frequenza più elevata, una migliore linearità di funzionamento ed una minore sensibilità ai rumori. Gli svantaggi sono la forte dipendenza dalla temperatura (pure l'aumento di temperatura, infatti, causa l'aumento della corrente inversa) e la bassa intensità di corrente fotoelettrica.

Fototransistor

Il fototransistor, come il transistor, è formato da due giunzioni. L'energia luminosa, colpendo la base (di grande superficie), genera una corrente tra base ed emettitore per lo stesso principio del fotodiiodo. Essa permette il passaggio di una corrente di collettore che è funzione della luce incidente. La sensibilità del dispositivo è notevolmente maggiore di quella del fotodiiodo (dell'ordine di alcuni $\mu\text{A/lx}$), ed aumenta ancor più ricorrendo alla struttura del fotodarlington. I fototransistor vengono spesso impiegati in abbinamento ad una sorgente luminosa, ad esempio negli encoder.

Cella fotovoltaica

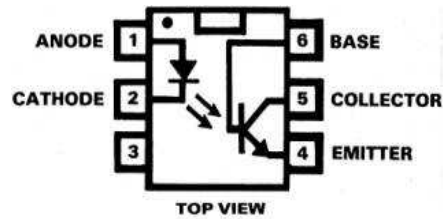
Si tratta di un fotodiiodo ottimizzato per generare una f.e.m. fotovoltaica. Infatti, se un fotodiiodo non polarizzato viene colpito da un radiazione luminosa, si origina in esso una differenza di potenziale dell'ordine di 0,5V, se il materiale usato è il silicio. La resistenza di una cella fotovoltaica è di circa 100Ω , a cui corrisponde una corrente di cortocircuito di circa 5mA. Per ottenere tensioni e correnti maggiori si collegano più celle fotovoltaiche in serie ed in parallelo.



Tali dispositivi vengono utilizzati, oltre che per misurare l'intensità luminosa, anche per rifornire di energia apparecchiature indipendenti come i satelliti artificiali.

Fotoaccoppiatore

E' un dispositivo che raggruppa in un unico contenitore un diodo LED ed un fotorivelatore. Facendo scorrere una corrente elettrica attraverso il LED, questo si illumina e determina l'origine di una fotocorrente nel fotorivelatore. In questo modo è possibile convertire un segnale elettrico in un altro attraverso accoppiamento ottico. Questo sistema viene largamente utilizzato quando vi è la necessità di tenere isolati tra di loro un circuito di comando, a bassa tensione, e un circuito di potenza, a tensione di rete: nel caso che quest'ultimo si guasti, il primo non verrà danneggiato.



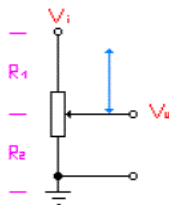
La tensione di isolamento tra il LED ed il fotorelizzatore è superiore a 1000V. Un esempio di applicazione è rappresentato dagli azionamenti per motori elettrici.

Trasduttori di posizione

Sono trasduttori che trasformano una posizione lineare od angolare in segnale elettrico.

Potenzimetri

Sono dispositivi costituiti da un elemento resistivo provvisto di due terminali agli estremi, e da un cursore al quale è collegato un terzo terminale. Applicando una tensione V_i agli estremi dell'elemento resistivo si può prelevare sul cursore una tensione V_u proporzionale allo spostamento del cursore stesso, secondo il principio del partitore di tensione.



$$V_u = V_i \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

Ipotizzando che il potenziometro (ancorato ad esempio ad un pistone idraulico) possa svolgere una corsa di 200mm e che la tensione di alimentazione V_i sia di 10V, il valore della corsa l svolta dal pistone mi viene data dalla formula

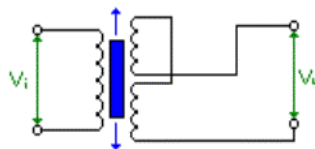
$$l = 200 \frac{V_u}{V_i}$$

I vantaggi offerti da questi trasduttori sono la semplicità, il basso costo, la possibilità di avere tensioni d'uscita elevate e di lavorare sia con tensioni continue, sia con tensioni alternate.

Gli svantaggi sono l'attrito elevato, l'usura, la sensibilità alle vibrazioni, il rumore.

Trasformatori differenziali (LVDT)

I trasduttori LVDT (linear variable differential transformer) vengono impiegati per misurare piccoli spostamenti. Essi si basano sul principio dell'induzione elettromagnetica: ai capi di un avvolgimento, interessato da un campo magnetico, si genera una f.e.m.i. allorché il flusso concatenato è soggetto a variazione.



Il primario del trasformatore viene alimentato con una tensione alternata sinusoidale V_i .

All'interno del nucleo ferromagnetico è inserita una traversa mobile. Se la traversa è perfettamente centrale al nucleo, nei due avvolgimenti secondari si creeranno 2 forze elettromotrici indotte di valore uguale ed opposto, che si annulleranno a vicenda fornendo all'uscita V_u una tensione nulla.

Se, viceversa, la traversa si sposta in un verso o nell'altro le f.e.m.i. dei due avvolgimenti non avranno più un valore uguale: non annullandosi più reciprocamente si avrà quindi all'uscita una tensione V_u alternata di valore proporzionale allo spostamento della traversa.

Generalmente questi trasduttori sono costituiti da un cilindro metallico, detto armatura, che contiene l'avvolgimento primario ed i 2 avvolgimenti secondari.

Il nucleo magnetico di questo trasformatore è costituito da un'asta che può scorrere all'interno dell'armatura causando con il suo spostamento la tensione V_u descritta sopra.



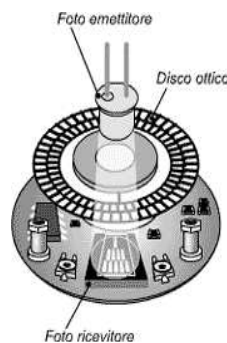
I vantaggi di questi trasduttori sono l'affidabilità, la robustezza, il ridotto attrito e la possibilità di separare le masse tra il circuito d'entrata e d'uscita.

Tra gli svantaggi vi sono il peso, l'ingombro e la sensibilità alle vibrazioni.

Encoder



L'encoder è un trasduttore rotativo che trasforma un movimento angolare in una serie di impulsi elettrici digitali. Questi possono essere utilizzati per controllare spostamenti di tipo angolare o di tipo lineare (se associati a cremagliere o viti senza fine). I segnali elettrici di rotazione vengono poi elaborati dai sistemi di controllo.

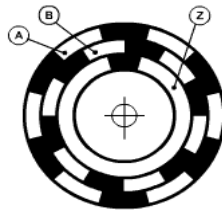


Il rilevamento dello spostamento angolare viene eseguito sul principio della scansione fotoelettrica.

Il sistema di lettura si basa sulla rotazione di un disco graduato con un reticolo radiale, formato da linee opache alternate a spazi trasparenti. Il tutto è illuminato in modo perpendicolare da una sorgente a raggi infrarossi. Il disco proietta così la sua immagine sulla superficie di vari ricevitori, opportunamente mascherati da un altro reticolo avente lo stesso passo del precedente. I ricevitori hanno il compito di rilevare le variazioni di luce che avvengono con lo spostamento del disco, convertendole in corrispondenti variazioni elettriche. Il principale utilizzo di questi trasduttori avviene nelle macchine utensili, nei robot, nei sistemi di retroazione su motori, negli apparecchi di misura e di controllo.

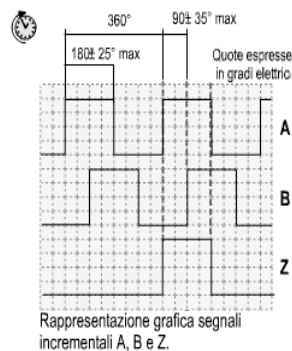
Encoder incrementali

L'encoder incrementale fornisce normalmente due forme d'onda quadrate e sfasate tra loro di 90° elettrici, le quali vengono solitamente chiamate canale A e canale B.



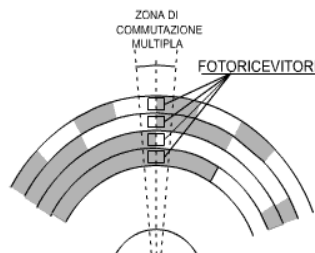
Rappresentazione segnali incrementali A, B e Z su disco ottico

Con la lettura di un solo canale, si ha l'informazione relativa alla velocità di rotazione, mentre leggendo anche il secondo si può discriminare il senso di rotazione in base alla sequenza degli stati prodotti dai due segnali. E' disponibile anche un ulteriore segnale chiamato canale Z o zero, che fornisce una posizione assoluta di zero dell'albero encoder. Questo segnale si presenta sotto forma di impulso squadrato con fasatura e larghezza centrata sul canale A.



Encoder assoluti

Rispetto agli encoder incrementali, gli encoder assoluti presentano importanti differenze dal punto di vista funzionale. Infatti, mentre negli encoder incrementali la posizione è determinata dal conteggio del numero degli impulsi rispetto alla traccia di zero, negli encoder assoluti la posizione è determinata mediante la lettura del codice di uscita, il quale è unico per ciascuna delle posizioni all'interno del giro. Di conseguenza gli encoder assoluti non perdono la posizione reale quando viene tolta l'alimentazione (anche in caso di spostamenti): ad una successiva accensione (grazie alla codifica diretta sul disco) la posizione è aggiornata e disponibile senza dover eseguire, come per gli encoder incrementali, la ricerca del punto di zero.



La scelta più ovvia per il segnale d'uscita sarebbe quella del codice binario, dato il facile accoppiamento con i dispositivi di controllo esterni. Poiché il codice è direttamente estratto dal disco (che è in rotazione) la sincronizzazione e l'acquisizione della posizione nel momento della variazione tra un codice e l'altro diverrebbe però molto problematica. Infatti, se si prendono ad esempio due codici binari consecutivi, come 7 (0111) e 8 (1000), si nota che tutti i bit del codice subiscono un cambio di stato; una lettura effettuata nel momento della transizione potrebbe quindi risultare completamente errata in quanto è impossibile pensare che le variazioni siano istantanee e avvengano tutte nello stesso momento. A causa di questo problema, viene spesso utilizzata una variante del codice binario, il "codice Gray spezzato": nel passaggio tra due codici consecutivi (anche dall'ultimo codice al primo) solamente un bit cambia il proprio stato.

POSIZIONE	GRAY
0	0011
1	0010
2	0110
3	0111
4	0101
5	0100
6	1100
7	1101
8	1111
9	1110
10	1010
11	1011

Riga ottica

La riga ottica serve per misurare spostamenti lineari di elevata precisione.

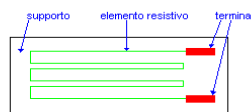


Il principio di funzionamento è simile a quello dell'encoder. Su di un elemento viene depositato tramite fotoincisione un reticolo di cromo a passo costante. Una testina di lettura, traslando, genera degli impulsi mediante la lettura ottica del reticolo di cromo. In uscita si avranno due forme d'onda sfasate tra di loro di 90 gradi su 2 canali chiamati rispettivamente canale A e B, che opportunamente interpretati da una logica, forniranno le informazioni sulla corsa e sul verso della traslazione. Un terzo canale, denominato Z, indicherà la posizione del punto di zero. La tecnologia della fotoincisione del reticolo di cromo permette alte risoluzioni di lettura e precisioni dell'ordine di circa 5 micrometri per metro.

Estensimetri

Sono sensori di posizione in grado di associare ad un piccolo spostamento una variazione di resistenza.

Sono costituiti da un elemento sensibile (un filo metallico, un semiconduttore o un deposito di materiale conduttore), da un supporto atto a trasmettere la deformazione, e da un adesivo finalizzato a fissare l'estensimetro all'elemento sottoposto a deformazione.



Quando l'estensimetro viene sottoposto ad una trazione o ad una estensione, il conduttore subisce una variazione della lunghezza e del raggio modificando la resistenza sui due terminali.

Trasduttori di velocità

Sono dispositivi che convertono una velocità lineare o rotativa in una grandezza elettrica.

I dispositivi utilizzati maggiormente per rilevare una velocità sono la dinamo tachimetrica, l'alternatore e l'encoder incrementale. Attraverso una cremagliera è possibile misurare una velocità lineare con un dispositivo che misura la velocità angolare.

Dinamo tachimetrica

Questo trasduttore ricalca il principio di funzionamento di una comune dinamo ad eccitazione indipendente. E' costituito da un rotore che ruota all'interno di uno statore, entrambi muniti di un avvolgimento.

Quello dello statore è alimentato da una tensione di eccitazione V_i ; sull'avvolgimento del rotore si origina una tensione V_o proporzionale alla velocità di rotazione dell'albero. Tale tensione vale

$$V_o = K\Phi n$$

Dove K è una costante costruttiva della macchina, Φ è il flusso magnetico originato da V_i , e n è il numero di giri dell'albero motore.

Infine la tensione V_o viene trasmessa all'esterno tramite un sistema collettore-spazzole.

Una dinamo tachimetrica presenta sostanzialmente 3 difetti:

- la tensione d'uscita è affetta da un ripple a causa del sistema collettore-spazzole;
- le spazzole sono soggette ad usura, e quindi necessitano di una manutenzione e sostituzione periodica.
- esiste un elevato errore di linearità.

Alternatore

L'alternatore è costituito da un rotore che ruota all'interno di uno statore. Entrambi i componenti sono muniti di avvolgimenti. Nell'avvolgimento del rotore, tramite spazzole, viene originato un flusso Φ . A causa della rotazione del rotore, il flusso creato origina a sua volta una tensione alternata sinusoidale lungo l'avvolgimento dello statore. La frequenza di tale tensione fornisce l'informazione della velocità dell'albero. Questo trasduttore riduce i difetti tipici della dinamo tachimetrica.

Encoder incrementale

Come descritto nella trattazione dei trasduttori di posizione, l'encoder incrementale fornisce all'uscita due forme d'onda quadrate. Il costruttore dell'encoder ci fornisce il numero di impulsi al giro, e quindi contando gli impulsi di una delle due uscite è possibile conoscere la velocità dell'albero.

Trasduttori di pressione

Sono dispositivi che convertono una pressione esercitata su una zona del trasduttore, in un segnale elettrico. Una pressione P è il rapporto tra la forza esercitata F e la superficie S dove la forza viene applicata:

$$P = F/S$$

L'unità di misura della pressione è il Pascal [Pa], che corrisponde ad $1\text{N}/\text{m}^2$, tuttavia per praticità si utilizzano altre unità di misura come il Bar ($1\text{ bar} = 10000\text{ Pa}$) o l'atmosfera ($1\text{ Atm} = 10130\text{ Pa}$).

I sensori di pressione sono generalmente costituiti da due parti: una realizzata con molle, diaframmi o sostanze a semiconduttore, che subisce una deformazione sotto l'applicazione di una pressione, e l'altra che tramite un trasduttore di posizione converte lo spostamento in un segnale elettrico.

Un tipologia di trasduttori destinati alla misura di pressioni comprese tra 0,1 e 50 Atm, è quella "a tubo di Bourbona". Questi sensori sono costituiti da un tubo sagomato a forma di C, con una estremità chiusa. L'altra estremità è connessa all'ambiente in cui si vuole misurare la pressione. Il tubo tenderà a raddrizzarsi in modo proporzionale all'entità della pressione. Un trasduttore potenziometrico misurerà quindi lo spostamento meccanico subito dall'estremità del tubo.



Per pressioni inferiori, invece, si utilizzano trasduttori realizzati come i circuiti integrati: sulla superficie di un chip viene applicato un diaframma di silicio contenente 4 resistenze collegate a ponte. La misura della grandezza fisica viene data dallo squilibrio di tensione che si crea quando sul dispositivo viene applicata la pressione. Dopo questo circuito viene inserito un amplificatore che fornisce in uscita una tensione od una corrente variabile. Per esempio, il trasduttore di pressione KP101 presenta una sensibilità di 100mV/Ba.

Trasduttori di livello

I trasduttori di livello sono trasduttori che rilevano il livello di un liquido all'interno di un recipiente.

Trasduttore a galleggiante



Un tipico sensore è quello a galleggiante: nel liquido da analizzare è inserito un galleggiante vincolato ad un sistema potenziometrico. L'aumento o la diminuzione del fluido nel contenitore determina uno spostamento in senso verticale del galleggiante: la tensione d'uscita del potenziometro varia dunque in modo proporzionale al livello del liquido.

Trasduttore a capacità

Questo sensore sfrutta il principio del campo elettrico. Due elettrodi polarizzati vengono immersi nel liquido da monitorare, il quale funge da dielettrico nel condensatore che si viene così a creare. Variando il livello del fluido, varia anche la capacità tra le due armature, per la legge

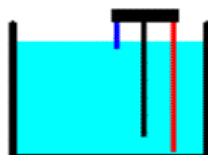
$$C = \epsilon S / d$$

Dove ϵ è la costante dielettrica, S la superficie, e d la distanza tra le armature.

Tale capacità viene inserita in un oscillatore sinusoidale che varierà la sua frequenza in modo inversamente proporzionale al livello del liquido. Un frequenzimetro opportunamente tarato indicherà il livello del liquido.

Interruttore a conduzione

Tale sensore serve normalmente a monitorare che il liquido contenuto in un recipiente sia compreso tra due intervalli definiti livello minimo e livello massimo. E' costituito da 3 elettrodi di differente lunghezza, immersi dentro al fluido. Tra l'asta più lunga (colore rosso) e le altre 2 viene applicata una differenza di potenziale che farà scorrere una corrente attraverso il fluido. Ovviamente, perché ciò accada, il liquido deve essere conduttore.



Quando il livello del liquido scende, l'asta più corta (colore blu) emerge ed in essa non vi circola più alcuna corrente. Continuando a calare di livello, ad un certo punto il fluido lascerà scoperta anche l'asta di lunghezza intermedia (colore nero), interrompendo il flusso di corrente in essa e dando così l'informazione che è stato raggiunto il livello minimo. Solitamente, dopo questo segnale viene avviata una pompa che riempirà

nuovamente il recipiente fino a lambire l'asta più corta. Tale evento ripristinerà il flusso di corrente attraverso l'asta corta e la pompa verrà spenta.

Per ragioni di sicurezza la tensione tra le varie aste è di pochi volt.

Trasduttori di campo magnetico

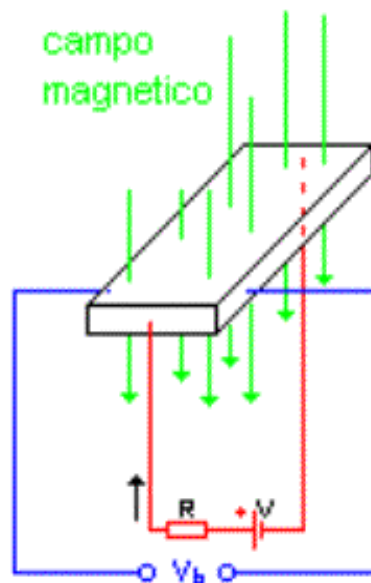
Questi dispositivi forniscono un segnale proporzionale al campo magnetico incidente.

Magnetoresistenze

Sono trasduttori sfruttano la proprietà, che alcuni materiali come il permalloy (lega di ferro e nichel) hanno, di variare la propria resistività al variare del campo magnetico che li attraversa. Le magnetoresistenze trovano largo utilizzo nelle testine di lettura di dispositivi di memorizzazione magnetici, come il disco rigido del computer.

Trasduttori ad effetto Hall

Sono sensori che si basano sull'effetto Hall: se una barretta di materiale semiconduttore, percorsa da una corrente I , è sottoposta ad un'induzione magnetica B in senso trasversale, si genera una d.d.p. V_b tra le facce opposte della barretta stessa.



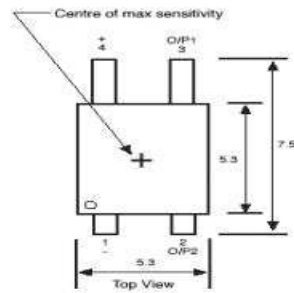
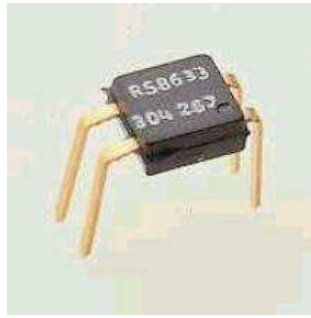
$$V_b = K B I / d$$

dove K è una costante dipendente dalle caratteristiche del semiconduttore impiegato, e d è lo spessore della barretta. I trasduttori ad effetto Hall trovano una vasta applicazione, ad esempio per misure indirette di corrente o come interruttori di prossimità.

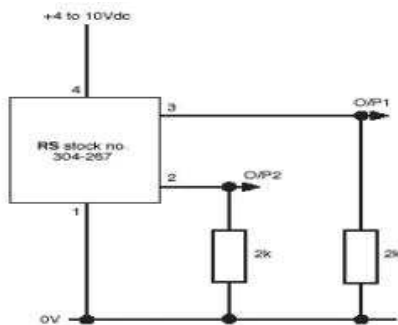
Nel primo caso, si misura il flusso magnetico causato dalla corrente che circola in un filo, e da tale misura si ottiene l'entità di tale corrente. Nel secondo caso viene generato un campo elettromagnetico che investe il trasduttore ad effetto Hall: quando un corpo arriva in prossimità del sensore, determina una variazione dell'induzione magnetica sul trasduttore.

La vicinanza dell'oggetto viene quindi segnalata con una commutazione del livello d'uscita da on ad off o viceversa.

Comunemente i trasduttori ad effetto Hall sono assemblati all'interno di un chip.



Esso può essere costituito da due piedini dove viene applicata la tensione di alimentazione, e da due che forniscono in uscita una tensione differenziale proporzionale alla densità di flusso.



Specifiche tecniche

Tensione di alimentazione	da +4 a +10 V=
Corrente di alimentazione	3,5 mA (tip.)
Corrente di uscita	10 mA
Tensione di uscita (flusso magnetico zero)	da 1,75 a 2,25 V con tensione di 5 V
Sensibilità	da 7,5 a 10,6 mV/mT
Frequenza di esercizio	da 0 a 100 kHz
Temperatura di funzionamento	da 0°C a +70°C

Per esempio, il trasduttore rappresentato sopra, in assenza di induzione magnetica presenta una tensione d'uscita compresa tra 1,75 e 2,25V, ed una sensibilità compresa tra 7,5 e 10,6 mV/mT fino ad un'induzione di ± 40 mT.