

Trasduttori e Attuatori

Classificazione I trasduttori sono dispositivi in grado di trasformare la variazione di una grandezza qualsiasi nella variazione di una grandezza elettrica; in genere producono piccole variazioni della grandezza elettrica o segnali deboli che necessitano di successivi trattamenti. Si dicono **attivi** i trasduttori che generano direttamente una tensione o una corrente, **passivi** quelli che modulano un altro parametro elettrico (resistenza, capacità, induttanza) e necessitano, quindi, di essere alimentati. I trasduttori sono, in grande maggioranza, **analogici**, in quanto producono variazioni continue in relazione ai valori della grandezza rilevata; ne esistono però con uscita binaria (on/off), che indicano solo il superamento di una certa soglia nella grandezza trasdotta, e con uscita digitale, che forniscono il valore della grandezza trasdotta già codificato. I trasduttori possono essere classificati in base al fenomeno fisico sfruttato o in base alla grandezza rilevata.

Caratteristiche Vi sono alcuni parametri che si prestano abbastanza bene a caratterizzare le prestazioni di un gran numero di trasduttori. Essi sono: il **range di ingresso**, cioè i limiti di variabilità ammessi per la grandezza trasdotta; la **grandezza di uscita**, che può essere una tensione, una corrente, una variazione di resistenza o di frequenza o altro ancora; la **caratteristica di trasferimento** o di **taratura**, cioè il legame tra grandezza trasdotta e grandezza in uscita, espresso in forma di equazione, di grafico o di tabella; l'**errore di misura**, cioè lo scostamento massimo tra valore teorico dell'uscita e valore effettivo; la **sensibilità**, cioè il rapporto fra variazione della grandezza in uscita e variazione di quella in ingresso; la **linearità**, cioè la possibilità di approssimare la caratteristica di trasferimento a una relazione di primo grado; la **risoluzione**, intesa come la minima variazione apprezzabile della grandezza all'ingresso. Vi sono poi altri parametri, come l'**offset all'uscita**, l'**isteresi** e le caratteristiche dinamiche, quali il **tempo di risposta** o la **costante di tempo**.

Ponte di Wheatstone La soluzione circuitale più diffusa per la rilevazione di variazioni di resistenza di un componente sensibile è il **ponte di Wheatstone**, che permette di trasformare tali variazioni in una tensione approssimativamente proporzionale. La sensibilità del ponte aumenta al crescere della tensione di alimentazione; essa può essere raddoppiata, a parità di alimentazione, ponendo due elementi variabili identici nei due lati diametralmente opposti del ponte. 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 di resistenza causata dalla temperatura.

T. di posizione Numerosi trasduttori sono stati messi a punto per il rilievo di posizione, in movimenti sia rettilinei sia rotatori. I **potenziometri**, rettilinei o circolari, selezionano una quota variabile della loro resistenza in funzione della posizione del cursore, vincolato all'oggetto mobile; questa viene trasformata in tensione alimentando il potenziometro stesso fra i due estremi o inserendolo in un ponte. I **trasduttori a induttanza variabile** trasformano in variazione dell'induttanza di due bobine lo spostamento di un nucleo magnetico mobile al loro interno. I **trasformatori differenziali (LVDT)**, variando l'accoppiamento magnetico fra un primario e due secondari contrapposti in funzione dello spostamento del nucleo, generano una tensione alternata con ampiezza proporzionale allo spostamento stesso. I **resolver** sono trasformatori i cui avvolgimenti possono ruotare l'uno rispetto all'altro e forniscono una tensione di uscita alternata con valore di picco dipendente dalla posizione angolare dell'elemento rotante. I **synchro** sono simili ai resolver, ma dispongono di tre secondari sfasati di 120°; essi, usati a coppie, permettono di ottenere un segnale di ampiezza proporzionale alla differenza tra le due velocità di rotazione. Gli **inductosyn**, costituiti da due conduttori sagomati in posizione sovrapposta e scorrevoli l'uno rispetto all'altro, alimentati in alternata producono un segnale armonico in uscita dipendente dalla posizione reciproca dei conduttori. I **trasduttori a effetto Hall** sono in grado di fornire un segnale dipendente dalla distanza fra il sensore e un magnete permanente; vi sono realizzazioni lineari e molte versioni on/off. Gli **encoder**, infine, sono strisce o dischi sui quali sono riportate suddivisioni regolari chiare e scure, che vengono lette con dispositivi optoelettronici; il loro movimento genera segnali impulsivi che sono interpretati con circuiti digitali.

Tras. di velocità Per la rilevazione della velocità di moti rettilinei di piccola ampiezza, si usano i **trasduttori lineari di velocità (LVT)**, costituiti da coppie di induttori entro i quali si muove un magnete permanente, che genera una fem proporzionale alla velocità. Per moti rotatori vengono impiegate piccole dinamo che generano una tensione proporzionale alla velocità di rotazione, dette **dinamo tachimetriche**, oppure gli **encoder incrementali**, i cui segnali digitali in uscita hanno frequenza proporzionale alla velocità di rotazione.

Tras. di forza Fra i trasduttori di forze, gli **estensimetri**, o **strain gage**, si basano sull'aumento di resistenza che si produce in un filo metallico sottoposto a trazione a causa dell'aumento di lunghezza e della contemporanea riduzione di sezione. Gli estensimetri metallici vengono realizzati in forma di serpentine per ragioni di spazio e incollati sulla superficie deformabile di cui si vogliono

rilevare le sollecitazioni; in altri casi, vengono realizzati per deposizione sulla superficie stessa. Più estensimetri vengono combinati in rosette per rilevare deformazioni in direzioni diverse; le variazioni di resistenza vengono rilevate con circuiti a ponte. Gli estensimetri **piezoresistivi** sono realizzati con materiali la cui resistività varia con lo stiramento o la compressione. I **sensori piezoelettrici** usano materiali che producono una tensione quando vengono compressi, ma solo in regime variabile. Le **celle di carico** impiegano elementi deformabili tarati, la cui deformazione viene tradotta in segnale elettrico con sistemi diversi; vengono usate per forze di grande intensità. Molti trasduttori di pressione sono basati sulla deformazione causata dalla pressione stessa in dispositivi meccanici quali diaframmi, soffiotti e molti altri; tale deformazione viene poi trasformata in segnale elettrico mediante ponti estensimetrici, LVDT o altri rilevatori di posizione. Sono in commercio anche dispositivi integrati che contengono, realizzati su silicio, un diaframma deformabile dalla pressione, sul quale sono presenti elementi sensibili, e tutti i circuiti di rilevazione atti a fornire all'esterno un segnale utilizzabile.

Tras. di temperatura Molti componenti elettronici variano qualche loro parametro in funzione della temperatura; ciò facilita la realizzazione di trasduttori per questa grandezza. Per una buona misura occorre far sì che il trasduttore raggiunga facilmente la temperatura dell'ambiente in cui è posto e non tenda a scaldarsi per la potenza che esso stesso dissipa. Le **termoresistenze** sono basate sulla variazione di resistività dei metalli con la temperatura e sono caratterizzate dal coefficiente di temperatura resistivo (TCR). 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 prossima alla linearità e il range di temperature d'uso è assai più ristretto. Si possono ottenere resistenze crescenti con la temperatura (PTC) o decrescenti al crescere di essa (NTC). Le variazioni di resistenza vengono rilevate, in genere, con circuiti a ponte. Le **termocoppie**, infine, sono realizzate congiungendo a un estremo due fili di metallo diverso; se l'estremo di congiunzione (giunto caldo) viene portato a una temperatura diversa da quella degli estremi liberi (giunto freddo), si rileva tra questi una ddp dipendente dal salto di temperatura. Con opportuni accorgimenti, si può ottenere una tensione direttamente correlata alla temperatura centigrada del giunto caldo. 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 o una corrente direttamente proporzionali alla temperatura.

Tras. di luminosità Per la misurazione dell'intensità luminosa si impiegano **fotoresistenze** e **celle fotovoltaiche**. Le prime sono realizzate con materiali semiconduttori che diminuiscono di resistività con l'esposizione alla luce, a causa dell'aumento di portatori liberi; le seconde

sono realizzate con giunzioni che, esposte alla luce, producono una debole fem. Si utilizzano anche, come dispositivi on/off, fotodiodi e fototransistor.

Tras. di umidità Sono disponibili in commercio diversi tipi di sensori in grado di rilevare la percentuale di umidità o la presenza di gas diversi nell'aria. Un interessante trasduttore di umidità è basato sulla variazione di capacità di una specie di condensatore avente per dielettrico una membrana igroscopica. I rilevatori di gas, invece, si basano su reazioni chimiche favorite da catalizzatori o su scambi di ioni tra materiali.

Motori

Vengono detti **attuatori** i dispositivi in grado di agire sull'ambiente esterno comandati da segnali elettrici. La casistica è assai vasta; sono comuni i semplici azionamenti magnetici (**elettromagneti** ed **elettrovalvole**). Movimenti rotatori controllabili in velocità possono essere imposti mediante **motori in continua**, la cui velocità di rotazione è proporzionale alla tensione applicata. La tensione è portata al rotore mediante contatti striscianti (collettore e spazzole) di costruzione delicata e soggetti a usura. I **motori senza spazzole** superano questo problema usando per rotore un magnete permanente e controllando elettronicamente l'alimentazione di più avvolgimenti statorici sfasati. Un controllo "fine" della posizione di organi rotanti si ottiene, invece, con i **motori passo-passo**, nei quali più avvolgimenti statorici vengono alimentati in una successione opportuna; a ogni condizione di alimentazione degli statori corrisponde una posizione del rotore, che viene raggiunta e mantenuta. La giusta sequenza di condizioni di alimentazione produce l'avanzamento per "passi" del rotore. Le modalità di comando *wave-* e *normal-mode* producono l'avanzamento a passi interi, la *half-step* il dimezzamento del passo. I motori passo-passo vengono realizzati con rotore a magnete permanente e a riluttanza variabile (rotore dentato non magnetizzato). Questi ultimi danno coppie minori e una maggior risoluzione.

Dispositivi di comando degli attuatori

Per il comando degli attuatori di piccola potenza si impiegano relè meccanici o dispositivi elettronici di interruzione, come transistor, SCR e triac. Interessanti i **relè a stato solido**, nei quali un LED controlla un fototransistor che attiva un triac; il lato a bassa tensione è isolato dal lato di uscita. Il comando di motori in continua può essere ottenuto, con modalità on/off e inversione del senso di rotazione, con transistor connessi a semiponte o a ponte. Il controllo di velocità si ottiene in forma lineare, con dispositivi di potenza in grado di applicare una tensione variabile, o in modo "switching", chiudendo gli interruttori elettronici con un segnale a ciclo utile variabile (velocità proporzionale al ciclo utile). Sono in commercio numerosi integrati utili per il comando di attuatori: si va dai semplici buffer, che ricevono segnali ai livelli tipici delle logiche standard e permettono di gestire tensioni e correnti molto superiori, ai complessi integrati specifici, in grado di controllare la rotazione di motori con modalità lineare o switching o di gestire tutte le funzioni di pilotaggio dei motori passo-passo.