

Sensori di Posizione, Velocità, Accelerazione

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

Sensori di posizione/velocità

POSIZIONE:

- Potenzimetro
- Trasformatore Lineare Differenziale (LDT)
- Encoder

VELOCITA'

- Dinamo tachimetrica

ACCELERAZIONE

- Dinamo tachimetrica

Grandezza in ingresso: spostamento lineare o angolare

Grandezza in uscita: grandezza elettrica analogica o digitale

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

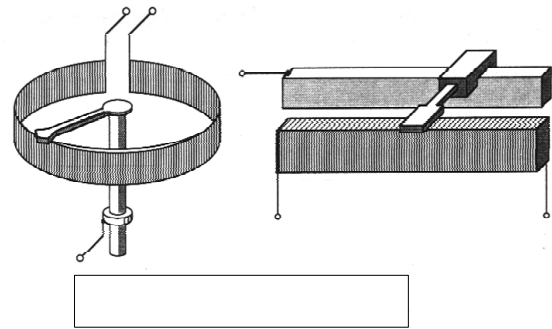
Potenzimetri

Grandezza misurata (ingresso): rotazione o spostamento lineare

Grandezza di uscita: tensione

Tipo di sensore: modulante

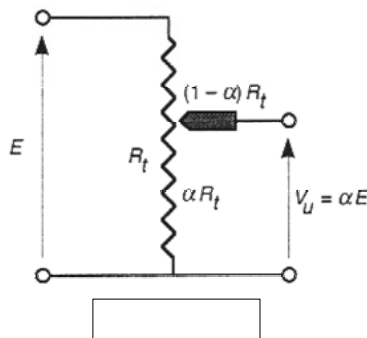
Il potenziometro è costituito da un cursore con contatto mobile e da un resistore posto su un supporto di materiale isolante.



La sagoma del materiale isolante può essere circolare per misurare spostamenti angolari o rettilinea per spostamenti lineari.

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

Potenzimetri



Grandezza caratteristica:

$$\alpha = V_u / E$$

Attenuazione

Tipi di potenziometro:

Lineare: α è funzione lineare di x (spostamento lineare) o θ (rotazione angolare):

$$\alpha(x) = Kx \text{ o } \alpha(\theta) = K\theta \Rightarrow V_u = KEKx \text{ o } V_u = KEK\theta$$

Non lineare: $\alpha(x)$ o $\alpha(\theta)$ funzione non lineare

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

Tipico utilizzo di potenziometri lineari:
servomeccanismi di posizione.

Caratteristiche dei potenziometri:

- | | |
|--------|--|
| PRO | <ul style="list-style-type: none">• precisi• leggeri• poco ingombranti |
| CONTRO | <ul style="list-style-type: none">• Facile usura• Scarsa affidabilità• Funzionamento a basse frequenze |

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

Trasduttori di posizione a induzione

Dispositivi costituiti da avvolgimenti elettrici accoppiati fra loro per effetto trasformatore.

Funzionano in regime stazionario o lentamente variabile.

Tipi di trasduttori a induzione:

- *Trasformatore differenziale lineare*
(spostamenti lineari)
- *Sincro*
(spostamenti angolari)
- *Resolver*
(spostamenti angolari e trasformazione di coordinate polari in coordinate cartesiane)

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

Trasformatore Differenziale Lineare

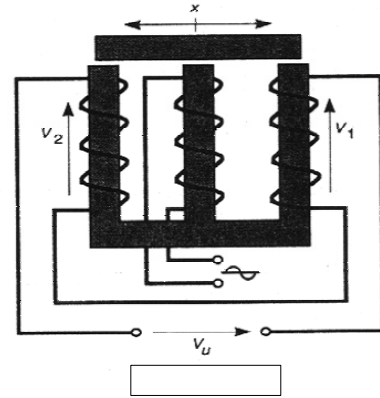
Grandezza misurata (ingresso): spostamento

Grandezza di uscita: segnale analogico modulato

Tipo di sensore: modulante (campo magnetico)
sensore (coppia di avvolgimenti)

Avvolgimento centrale detto di eccitazione. È alimentato in c.a.

Rami laterali secondari identici collegati tra loro e avvolti in senso opposto.

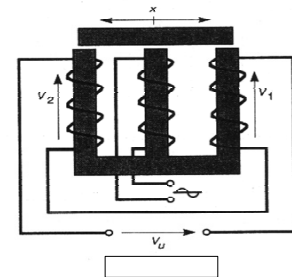


Tecnologie dei Sistemi di Controllo - A. Bemporad - A.a. 2007/08

Trasformatore Differenziale Lineare

Se la posizione della barra ferromagnetica è simmetrica rispetto ai secondari:

$$V_1 = -V_2 \Rightarrow V_U = 0$$



Se la barra non è centrata \Rightarrow flussi concatenati diversi \Rightarrow tensioni diverse nei due avvolgimenti secondari $\Rightarrow V_U \neq 0$

$$V_U = V_m(x) \sin(\omega t + \phi) \quad \phi = \begin{cases} 0 & \text{se } x > 0 \\ \pi & \text{se } x < 0 \end{cases}$$

A causa di inevitabili asimmetrie sono presenti tensioni residue $\Rightarrow V_U$ mai completamente nulla.

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

Trasformatore Differenziale Lineare

Caratteristiche essenziali

PRO

- Sensibilità: $50 \div 100 \text{ mV}_{\text{out}} / (\text{mmV}_{\text{in}})$
- Linearità: $0.1 \div 0.5 \%$
- Risoluzione: $2 \div 20 \mu\text{m}$ (lineare)
- Campo di misura: $1 \div 10 \text{ cm}$

CONTRO

- Demodulazione dell'uscita
- Stabilità del generatore di riferimento

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

Encoder

Grandezza misurata: rotazione angolare

Grandezza di uscita: segnale digitale

Tipo di sensore: modulante (campo luminoso)
sensore (effetto fotoelettrico)

Tipi di encoder:

- *Incrementali*
- *Assoluti*

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

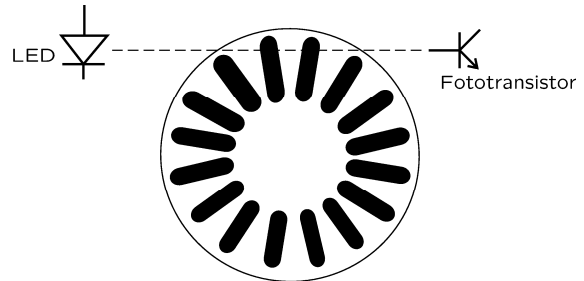
Encoder incrementale

Possano essere di due tipi:

- Magnetici
- Ottici

Encoder incrementali ottici:

Sul disco (di vetro o plastica) sono presenti N zone trasparenti.



In uscita al fototransistor si ottiene un treno di impulsi. Contando il treno d'impulsi si è in grado di determinare di quanto il disco è ruotato.

$$\text{Risoluzione angolare: } \frac{360^\circ}{N}$$

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

Encoder incrementale

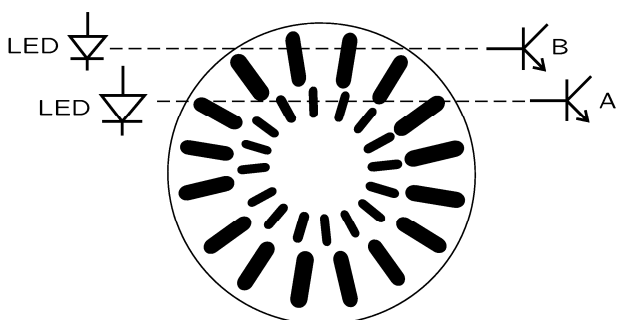
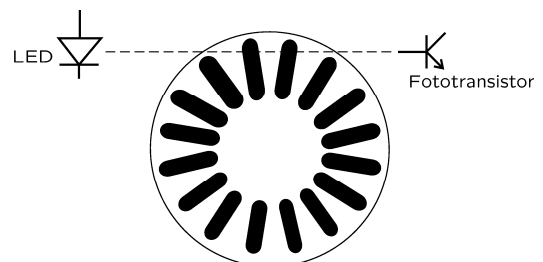
In questa configurazione l'encoder viene utilizzato per misurare la velocità di rotazione !

Velocità di rotazione:

$$n = \frac{f}{N} \text{ giri/secondo}$$

f = frequenza del segnale generato

N = numero dei fori

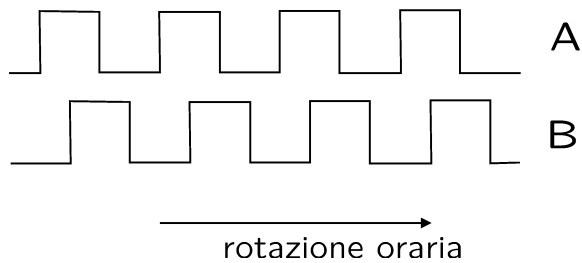


Per rilevare il verso di rotazione si considerano 2 ghiera concentriche di settori trasparenti. Le ghiera hanno lo stesso numero di settori ma i settori sono sfasati di un angolo corrispondente a mezzo settore.

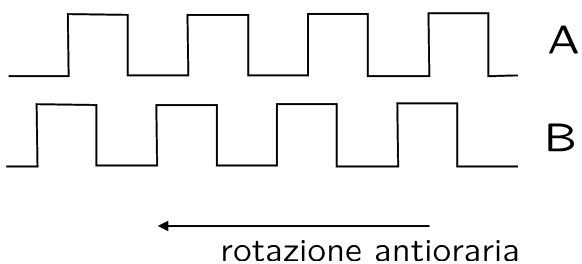
Tecnologie dei Sistemi di Controllo - A. Bemporad - A.a. 2007/08

Encoder incrementale

Se l'encoder ruota in senso orario il treno di impulsi di A anticipa quello di B. Se la rotazione è antioraria B anticipa A



Per indicare il verso di rotazione con un segnale digitale si può utilizzare un Flip-Flop di tipo D.



Uscita alta corrisponde a rotazioni orarie, quella bassa a rotazioni antiorarie.

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

Encoder incrementale

Pregi:

- costo contenuto
⇒ incremento di costo limitato con la risoluzione
- Affidabilità

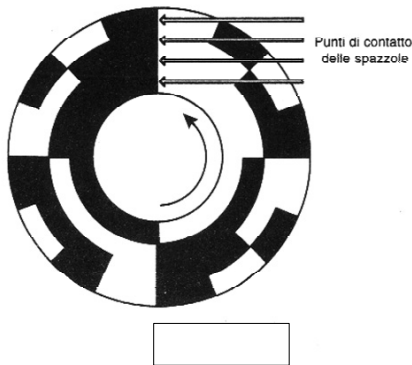
Difetti:

- Sensore incrementale
⇒ elettronica esterna di conteggio e discriminazione del verso di rotazione
- Necessita di azzeramento (sensore incrementale)
- Perde l'informazione di posizione in assenza di alimentazione

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

Encoder assoluto

Forniscono la posizione angolare assoluta dell'asse



Le combinazioni trasparente/opaco riproducono la numerazione binaria

Codici utilizzati negli encoders assoluti:

- Binario
- Gray

Problema: nel passaggio da 7 (0111) a 8 (1000) se la prima spazzola entra in conduzione prima che le altre tre escano di conduzione si presenta 15 (1111) e non 8.

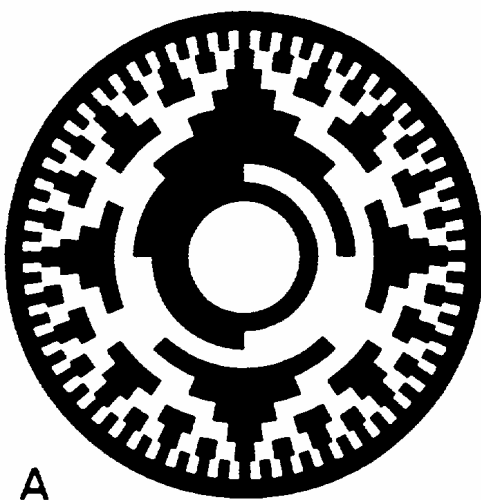
Soluzione: Utilizzo del codice Gray dove i numeri adiacenti differiscono di un solo simbolo.

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

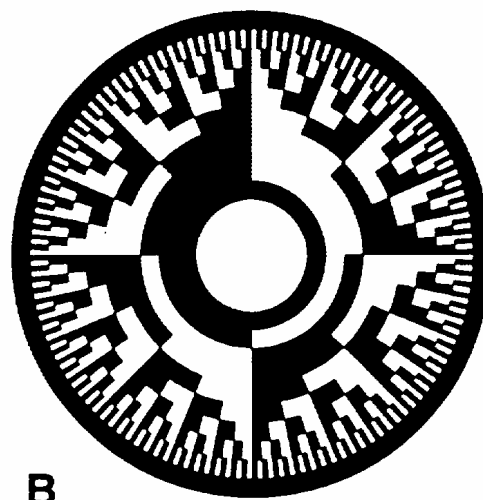
Encoder assoluto

A = Gray-code

B = Binary code



A



B

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

Encoder assoluto

Pregi:

- uscita direttamente utilizzabile dall'unità di elaborazione
- non necessita di azzeramento (sensore assoluto)
- mantiene l'informazione di posizione anche in assenza di alimentazione

Difetti:

- Costo elevato
- Costo crescente con la risoluzione
⇒ il numero di bit utilizzati per la codifica ($\leq 12/14$)
- Sensore assoluto nel giro
⇒ elettronica esterna se utilizzato su più giri

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

Sensori di velocità

Tipici sensori:

- Dinamo tachimetrica
- Giroscopi

Grandezza misurata (ingresso): velocità di rotazione

Grandezza di uscita: tensione

Tipo di sensore: autoeccitante

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

Dinamo tachimetrica

Motore a collettore usato al contrario: se fatto ruotare genera una tensione.

Tensione d'uscita:

$$V_u = K_t \Omega$$

K_t costante tachimetrica

Ω velocità angolare del rotore

Caratteristiche tecniche essenziali:

- linearità: 0.5÷1 %
- sensibilità: 5÷10V/1000 rpm
- ampiezza del ripple: 1÷2 %

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

Dinamo tachimetrica

Pregi:

- Sensore assoluto
- Costo contenuto
- Idoneo al funzionamento in ambienti ostili: all'interno di motori.

Difetti:

- La tensione d'uscita presenta una certa ondulazione residua (ripple): dipende dal numero di lamelle del collettore
- Corrente assorbita in uscita piccola (per evitare smagnetizzazioni)
- Usura delle spazzole
- Misura solo la velocità

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

Accelerometri

Grandezza misurata (ingresso): accelerazione lineare e inclinazione

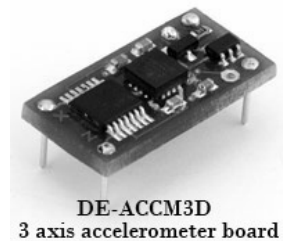
Grandezza di uscita: tensione

Principio di funzionamento

1. Misura l'accelerazione *dinamica* (es: vibrazione, shock) di una massa nota sospesa ad un elemento elastico

$$a = \frac{k}{m} \Delta x$$

Note k, m , si risale ad a misurando Δx con un sensore di posizione



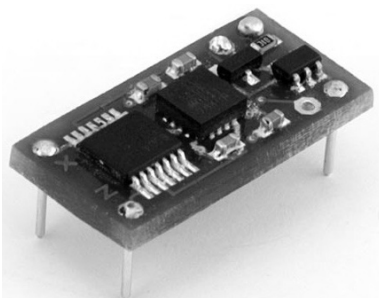
2. Per le accelerazioni di tipo *statico* (es: misura forza di gravità):

$$g \cos \theta = \frac{k}{m} \Delta x \quad (\text{inclinometro})$$

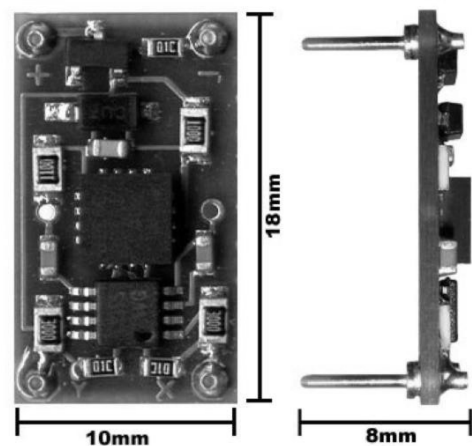
Tecnologie dei Sistemi di Controllo - A. Bemporad - A.a. 2007/08

Accelerometri

Integrano al loro interno l'elettronica per il condizionamento del segnale (per amplificazione e filtraggio)



Accelerometro a tre assi x, y, z



Applicazioni: utilizzo molto ampio date le piccole dimensioni

(es: attivazione airbag)



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

Accelerometri: Caratteristiche

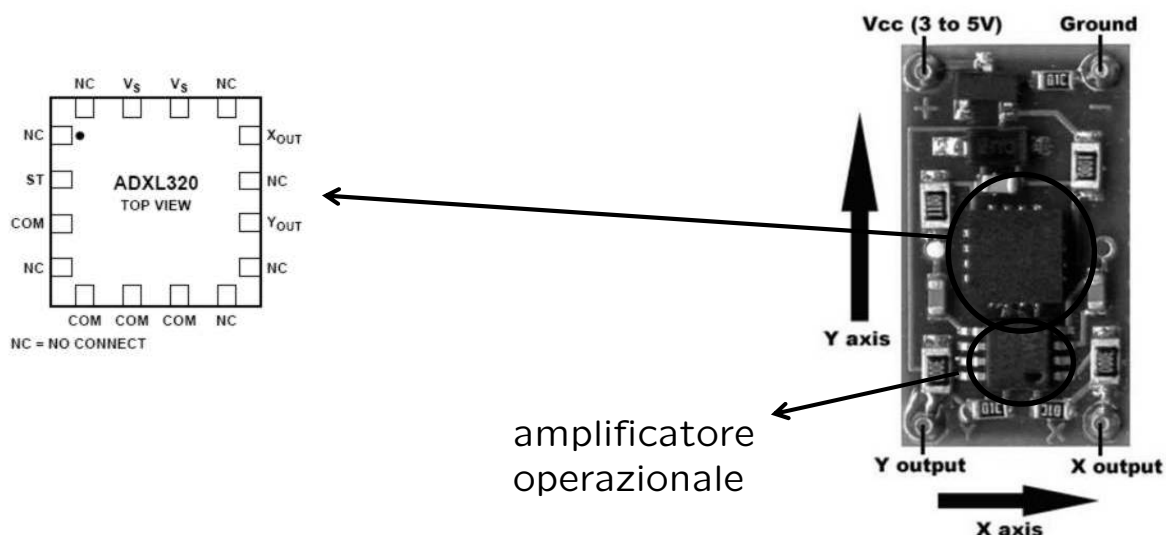
- *Numero di assi.* Spesso bastano 2 assi. Esistono accelerometri a 3 assi. Oppure coppia di accelerometri a 2 assi posti ortogonalmente)
- *Accelerazione massima.* $\pm 1.5g$ è sufficiente per misurare l'inclinazione tramite gravità. Per autoveicoli o robot $\pm 2g$. Esistono anche accelerometri fino a $\pm 5g$
- *Sensitività.* Maggiore la variazione del segnale rispetto ad una variazione di accelerazione, più accurata la misura.
- *Banda.* Per misure di inclinazione va bene 50Hz (passa basso). Per misure di vibrazione, centinaia di Hz.
- *Impedenza di uscita.* Per effettuare propriamente la conversione A/D l'impedenza di uscita dovrebbe essere sotto i $10k\Omega$, quindi potrebbe essere necessario un buffer che diminuisca tale impedenza.

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

Accelerometri: ADXL320

L' **ADXL320** della Analog Device è composto da un singolo chip, con sensibilità su due assi x e y .

Necessita del circuito di condizionamento che permette di sfruttare i segnali in uscita dal chip.



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

Accelerometri: ADXL320

Le caratteristiche principali dell'accelerometro:

Table 1.

Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
SENSOR INPUT					
Measurement Range	Each axis		±5		g
Nonlinearity	% of full scale		±0.2		%
Package Alignment Error			±1		Degrees
Alignment Error	X sensor to Y sensor		±0.1		Degrees
Cross Axis Sensitivity			±2		%
SENSITIVITY (RATIOMETRIC) ²					
Sensitivity at X_{out}, Y_{out}	$V_s = 3\text{ V}$	156	174	192	mV/g
Sensitivity Change due to Temperature ³	$V_s = 3\text{ V}$		0.01		%/°C
ZERO g BIAS LEVEL (RATIOMETRIC)					
0 g Voltage at X_{out}, Y_{out}	$V_s = 3\text{ V}$	1.3	1.5	1.7	V
0 g Offset Versus Temperature			±0.6		mg/°C
NOISE PERFORMANCE					
Noise Density	@ 25°C		250		µg/√Hz rms
FREQUENCY RESPONSE ⁴					
C_x, C_y Range ⁵		0.002		10	µF
R_{FILT} Tolerance			32 ± 15%		kΩ
Sensor Resonant Frequency			5.5		kHz
SELF-TEST ⁶					
Logic Input Low			0.6		V
Logic Input High			2.4		V
ST Input Resistance to Ground			50		kΩ
Output Change at X_{out}, Y_{out}	Self-test 0 to 1		55		mV
OUTPUT AMPLIFIER					
Output Swing Low	No load		0.3		V
Output Swing High	No load		2.5		V
POWER SUPPLY					
Operating Voltage Range		2.4		5.25	V
Quiescent Supply Current			0.48		mA
Turn-On Time ⁷			20		ms
TEMPERATURE					
Operating Temperature Range		-20		70	°C

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

Maggiori informazioni

<http://www.dimensionengineering.com/DE-ACCM5G.htm>

http://www.analog.com/UploadedFiles/Data_Sheets/ADXL320.pdf

Attività sperimentale:

disponibili accelerometri montati su sensori wireless presso il **laboratorio di automatica** dell'Università di Siena.

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