

MJERENJE BRZINE:

PODJELA:

Obzirom na tip gibanja:

- pretvornici za mjerenje **linearne** brzine (translacija)
- pretvornici za mjerenje **kutne** brzine (rotacija)

MJERENJE BRZINE KORIŠTENJEM PRETVORNIKA POMAKA:

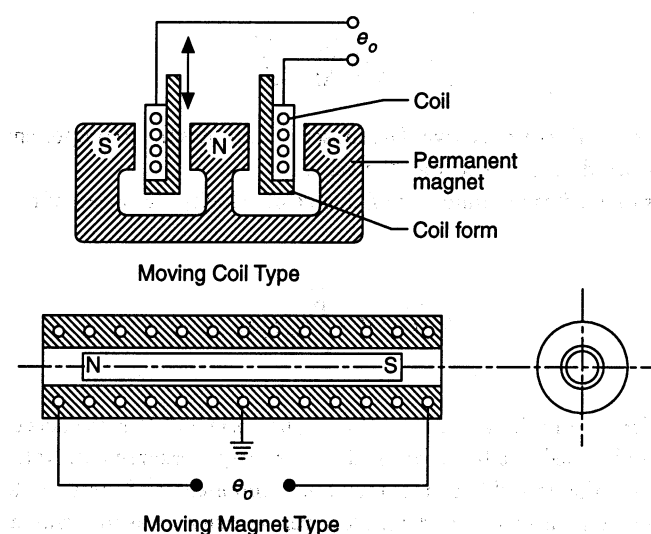
$$v = \frac{dx}{dt}, \quad [m/s]$$

$$\omega = \frac{d\varphi}{dt}, \quad [^\circ/s], \quad [rad/s]$$

- voditi računa o izboru adekvatne metode mjerenja pomaka obzirom na brzinu
- posebnu pažnju treba obratiti smanjenju šuma (derivacija ističe šum)

PRETVORNICI LINEARNE BRZINE (LVT – LINEAR VELOCITY TRANSDUCERS)

Princip rada:



Uslijed relativnog pomaka permanentnog magneta i zavojnice generira se napon proporcionalan brzini pomaka:

$$e_o = vBl$$

Raspon: 1.5 cm ÷ 60 cm

Izlazni napon: 2 ÷ 22 mV/(mm/s)

Koriste se za:

- mjerenje brzine translatornog gibanja
- za mjerenje brzine vibracija

FIGURE 16.2 Velocity transducers (LVT).

Izvedba:

Series 100

Linear Velocity Transducers

TRANS-TEK SERIES 100 Linear Velocity Transducers provide a simple yet accurate means of measuring linear velocity. They consist of high coercive force permanent magnet cores which induce sizable DC voltage while moving concentrically within shielded coils. The basic design permits operation **without external excitation** while the generated output voltage varies linearly with core (magnet) velocity. These transducers are ideal for seismology, hydraulic ram speed, drilling rate, and any other application where an instantaneous velocity measurement is required.



Key Features

Self-Generating DC Voltage Output
High Sensitivity

Magnetically Shielded
High Frequency Response

ELECTRICAL SPECIFICATIONS

MODEL NUMBER	MAGNET DIMENSIONS Inches (mm)		NOM. OUTPUT SENSITIVITY mV/in/sec (mV/mm/sec)	ELECTRICAL IMPEDANCE Coils Connected in Series		REPLACEMENT MAGNETS	FREQUENCY RESPONSE Hz	
	WORKING RANGE	USABLE RANGE	Open Circuit	R Ohms	L Henries	Magnet Number	Load = 10R	Load = 100R
0100-0000	0.5 (12)	1.3 (33)	120 (5)	2000	0.085	M000-0000	350	1500
0100-0001	0.5 (12)	1.3 (33)	54 (2)	2000	0.085	M000-0008	350	1500
0101-0000	1.0 (25)	1.9 (48)	90 (4)	2500	0.065	M000-0001	600	1500
0101-0001	1.0 (25)	1.9 (48)	40 (2)	2500	0.065	M000-0009	600	1500
0111-0000	1.0 (25)	2.3 (58)	550 (22)	13000	1.6	M000-0002	120	600
0111-0001	1.0 (25)	2.3 (58)	250 (10)	13000	1.6	M000-0010	120	600
0112-0000	2.0 (50)	3.4 (86)	550 (22)	19000	2.9	M000-0003	100	500
0112-0001	2.0 (50)	3.4 (86)	250 (10)	19000	2.9	M000-0011	100	500
0113-0000	3.0 (75)	4.2 (107)	550 (22)	25000	3.2	M000-0004	120	500
0113-0001	3.0 (75)	4.2 (107)	250 (10)	25000	3.2	M000-0012	120	500
0114-0000	4.0 (100)	5.5 (140)	550 (22)	32000	4.0	M000-0005	120	400
0114-0001	4.0 (100)	5.5 (140)	250 (10)	32000	4.0	M000-0013	120	400
0122-0000	6.0 (150)	8.0 (203)	425 (17)	11500	1.9	M000-0006	95	450
0122-0001	6.0 (150)	8.0 (203)	160 (6)	11500	1.9	M000-0014	95	450
0123-0000	9.0 (225)	11.0 (279)	425 (17)	17000	2.8	M000-0007	95	450
0123-0001	9.0 (225)	11.0 (279)	160 (6)	17000	2.8	M000-0015	95	450
0124-0001	12.0 (300)	15.0 (381)	175 (7)	22000	3.7	M000-0023	95	450
0125-0001	16.5 (412)	18.5 (470)	175 (7)	29000	5.1	M000-0024	90	430
0126-0001	20.0 (500)	22.0 (559)	175 (7)	34000	6.2	M000-0025	90	430
0127-0001	24.0 (600)	26.0 (660)	175 (7)	42000	7.3	M000-0028	90	430

Operating Temperature Range: -50°F to 200°F (-46°C to 93°C)

Maximum Non-Linearity: < ±2.5% of Reading

* Output voltage is attenuated < 1% of the constant velocity value.

MJERENJE BRZINE TEMELJENO NA DOPLEROVOM EFEKTU:**Princip rada:**

Odašiljač šalje val frekvencije f_0 prema mjernom objektu. Ako se mjerni objekt kreće određenom brzinom v prijemnik će primati val promijenjene frekvencije. Promjena frekvencije f je proporcionalna brzini v .

1. Prijemnik se kreće u odnosu prema izvoru brzinom v_p

Ako je brzina ultrazvučnog vala c , tada je rezultatna brzina dolaska vala do prijemnika $v_p \pm c$.

$$f_0 = \frac{c}{\lambda_0} \quad \text{frekvencija odaslanog vala}$$

$$f = \frac{c \pm v_p}{\lambda_0} = \frac{c}{\lambda_0} \left(1 \pm \frac{v_p}{c} \right) \Rightarrow f = f_0 \left(1 \pm \frac{v_p}{c} \right) \quad \text{frekvencija koju "čuje" prijemnik}$$

gdje je: c – brzina rasprostiranja vala
 f_0 – frekvencija odaslanog vala
 λ_0 – valna duljina

2. Izvor se kreće u odnosu prema prijemniku brzinom v_i

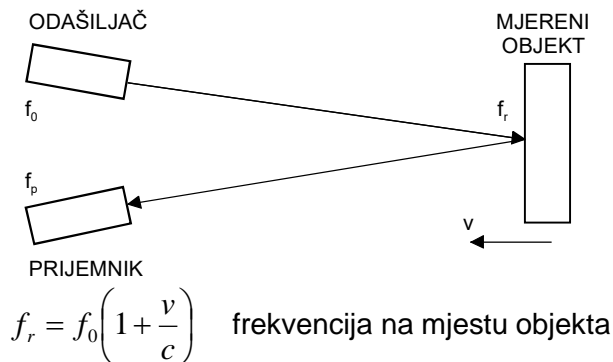
Mijenja se valna duljina λ za iznos puta kojeg je izvor prešao prema prijemniku za vrijeme trajanja jedne periode vala T .

$$\lambda = \lambda_0 \mp v_i T$$

$$f = \frac{c}{\lambda_0 \mp v_i T} = \frac{c}{\lambda_0} \frac{1}{1 \mp \frac{v_i T}{\lambda_0}} = \frac{c}{\lambda_0} \frac{1}{1 \mp \frac{v_i}{c}} = f_0 \frac{1}{1 \mp \frac{v_i}{c}}$$

$$\text{ako vrijedi } v_i \ll c \Rightarrow f \approx f_0 \left(1 \pm \frac{v_i}{c} \right) \quad \text{frekvencija koju "čuje" prijemnik}$$

Npr. ako izvor odašilje ultrazvučni val frekvencije f_0 , a objekt se približava izvoru brzinom v :



$$f_p = \frac{f_r}{\left(1 - \frac{v}{c} \right)} \approx f_r \left(1 + \frac{v}{c} \right) \quad \text{frekvencija na mjestu prijemnika}$$

$$f_p = f_0 \left(1 + \frac{v}{c} \right)^2 = f_0 \left(1 + 2 \frac{v}{c} + \left(\frac{v}{c} \right)^2 \right) \approx f_0 + 2 f_0 \frac{v}{c} = f_0 + 2 \Delta f$$

$$\Delta f = f_0 \frac{v}{c} \Rightarrow \Delta f \propto v \quad \text{promjena frekvencije proporcionalna je brzini}$$

MJERENJE KUTNE BRZINE:

TAHOGENERATORI:

- **istosmjerni** tahogenerator - električki stroj male snage koji generira istosmjerni napon proporcionalan brzini vrtnje
 - o linearna karakteristika $U(\omega)$
 - o polaritet generiranog napona ovisi o smjeru vrtnje
 - o imaju kolektor i četkice - održavanje
- **izmjenični** tahogenerator – električki stroj male snage koji generira izmjenični napon čija amplituda (i frekvencija kod sinkronog generatora) je proporcionalna brzini vrtnje.
Za određivanje smjera vrtnje potreban je sinkrodemodulator.

Dvije izvedbe:

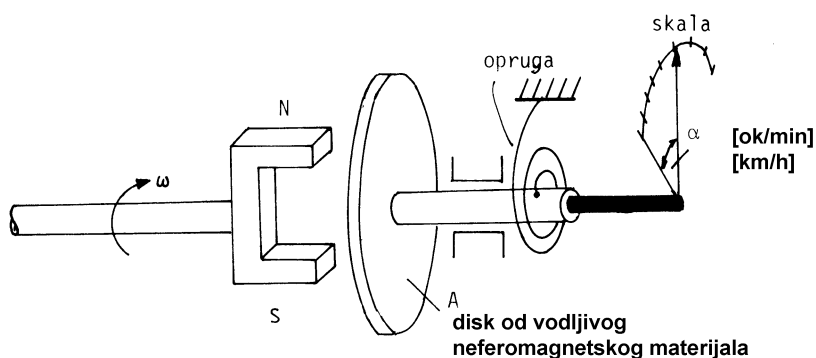
- **asinkroni** – generira izmjenični signal amplitude proporcionalne brzini vrtnje
- **sinkroni** – generira izmjenični signal amplitude i frekvencije proporcionalne brzini vrtnje

Karakteristike

- o linearna karakteristika $U(\omega)$ i $f(\omega)$
- o nema kolektora, četkica ili kliznih kontakata – nema potrebe za održavanjem
- o za određivanje smjera vrtnje potreban je sinkrodemodulator

MJERENJE KUTNE BRZINE POMOĆU VRTLOŽNIH STRUJA:

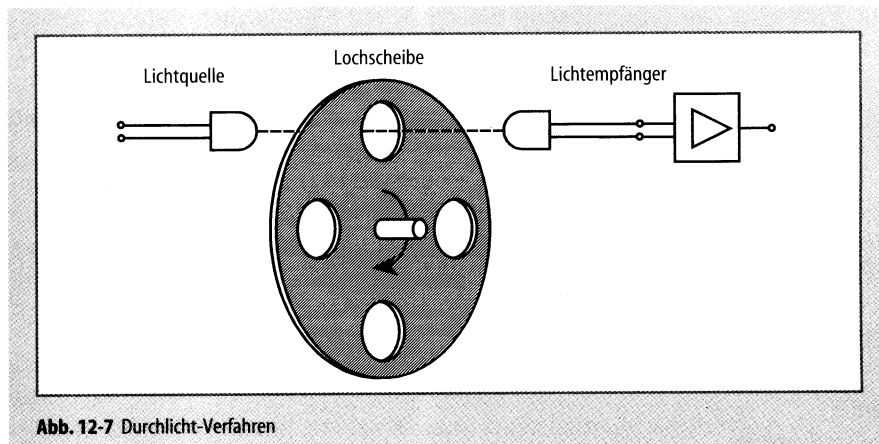
Na osovinu koja se okreće pričvršćen je permanentni magnet. Pod utjecajem promjenjivog magnetskog polja u vodljivom disku od neferomagnetskog materijala (alumijski disk) se induciraju vrtložne struje. Uslijed međudjelovanja magnetskog polja magneta koji se okreće i induciranih vrtložnih struja javlja se sila koja nastoji zakrenuti disk u smjeru okretanja magneta. Ovoj sili se suprotstavlja sila spiralne opruge pa se disk otklanja za kut proporcionalan kutnoj brzini okretanja magneta.



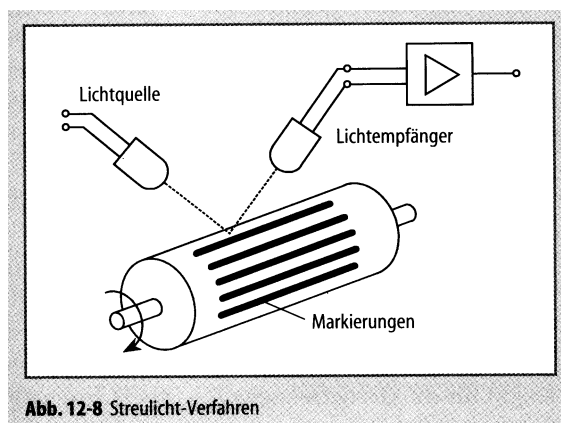
Sl. 5.30. Pretvornik za mjerenje brzine motornih vozila na bazi vrtložnih struja

OPTIČKO MJERENJE BROJA OKRETAJA

S propuštanjem svjetla



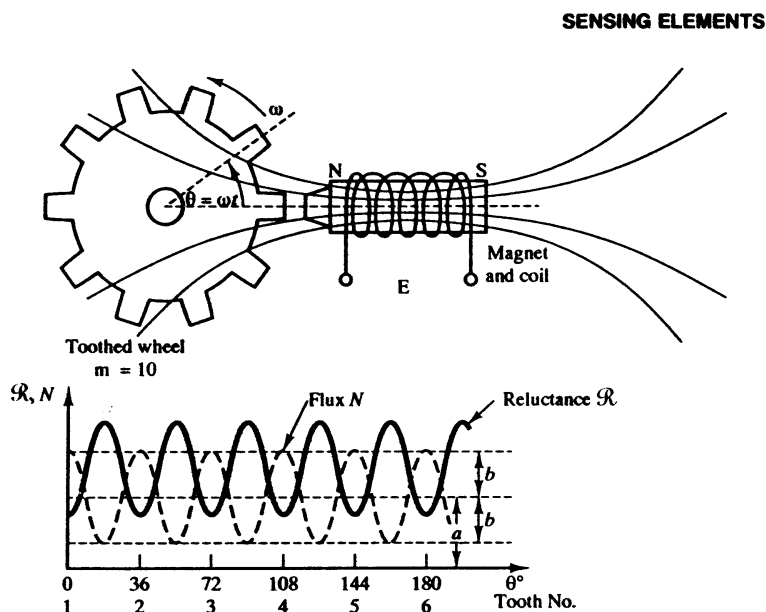
S refleksijom svjetla



MAGNETSKO MJERENJE BROJA OKRETAJA

Tahogenerator s promjenjivom reluktancijom

Fig. 8.8 Variable reluctance tachogenerator, angular variations in reluctance and flux



Mjerenje broja okretaja korištenjem Wiegandovog efekta

Nagla promjena magnetskog polja u kojem se nalazi specijalno procesirana feromagnetska žica (malog promjera) generira oštri naponski impuls (Wiegandov impuls).

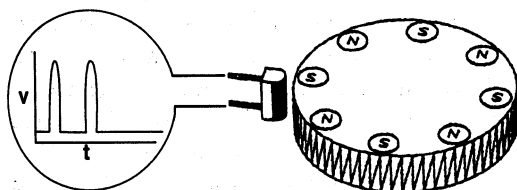


FIGURE 16.13 Small magnets cause sudden reversal in the ferromagnetic wire in a Wiegand sensor. (Courtesy: HID Corporation, North Haven, CT.)

- Karakteristike:**
- ne treba vanjskog napajanja
 - dvije žice
 - beskontaktno mjerenje
 - 20 kHz
 - napon relativno visoke razine, reda veličine nekoliko volti
 - $80^{\circ}\text{C} \div 260^{\circ}\text{C}$

Mjerenje broja okretaja pomoću reed-relaya ili Hallove sonde

MJERENJE UBRZANJA (AKCELERACIJE) - AKCELEROMETRI:

MJERENJE UBRZANJA KORIŠTENJEM PRETVORNIKA POMAKA:

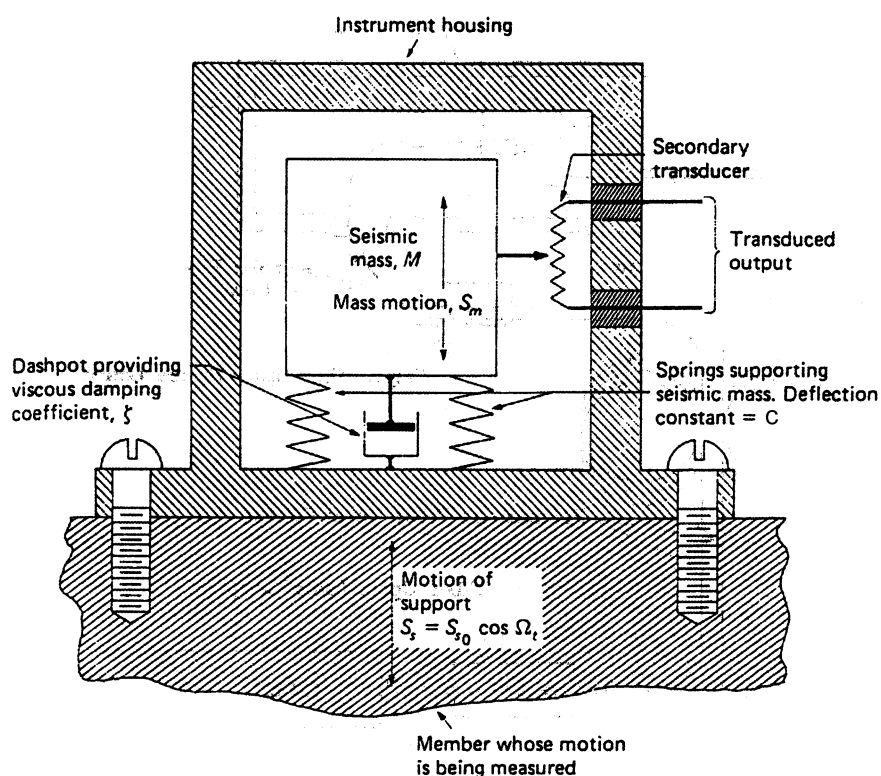


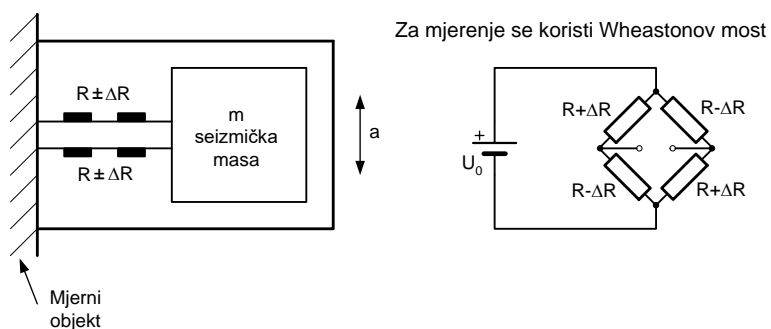
FIGURE 16.5 Seismic type of motion-measuring instrument. (From T. Beckwith et al., *Mechanical Measurements*, 4th ed., Reading, MA: Addison-Wesley. With permission.)

Rezonantna frekvencija akcelometra mora biti puno manja od frekvencije vibracija mjerenog objekta (velika masa m i mala konstanta opruge c).

$$F = ma = cx$$

$$a = \frac{c}{m} x = kx \quad \text{ubrzanje proporcionalno pomaku}$$

MJERENJE UBRZANJA KORIŠTENJEM TENZOMETARA



PIEZOELEKTRIČKI AKCELEROMETRI

Piezoelektrički efekt:

a Einheitszelle eines Quarzkristalle aus positiv geladenen Silizium- und negativ geladenen Sauerstoffatomen.

b Eine Verformung durch die Kraft \vec{F} führt zu einer Verschiebung der Ladungen gegeneinander.

$$q = \alpha F = \alpha m a$$

α - piezoelektricki koeficijent

$$a = \frac{q}{\alpha m} = k q$$

ubrzanje proporcionalno naboju

Abb. 3-2

- kvarc:	- piezoelektrički keramički materijali:
<ul style="list-style-type: none"> ne pokazuje piroelektrički efekt nema histereze piezoelektrički koeficijent: $\alpha = 2.3 \text{ pC/N}$ (longitudinalni), $\alpha = 4.6 \text{ pC/N}$ (smični) veliki izolacijski otpor dielektrička konstanta: $\epsilon = 4.5$ mala promjena osjetljivosti s temperaturom: manje od 1% za 100°C 	<ul style="list-style-type: none"> osim piezoelektričkog pokazuju i piroelektrički efekt imaju histerezu piezoelektrički koeficijent: $\alpha = 100 \text{ do } 800 \text{ pC/N}$ izolacijski otpor manji od kvarca dielektrička konstanta: $\epsilon = 100 \text{ do } 2000$ piezoelektrička svojstva se gube iznad Currie-temperature (200-400°C)

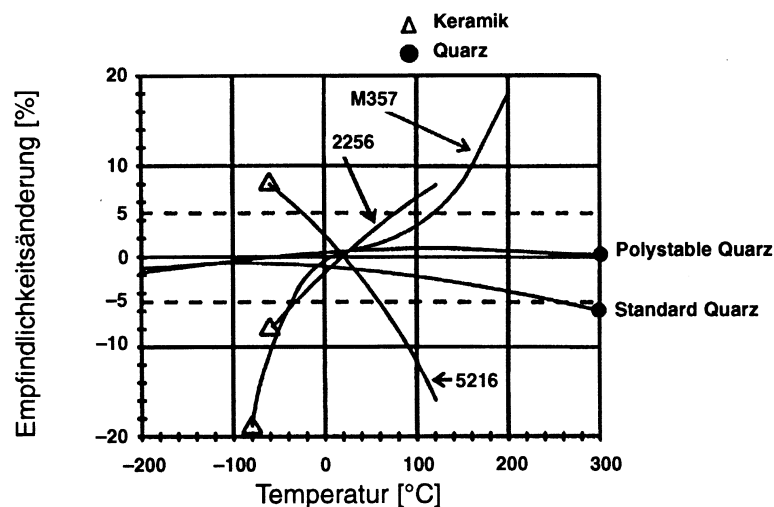


Bild 3: Temperaturabhängigkeit verschiedener piezoelektrischer Materialien.

Načini deformacije kristala:

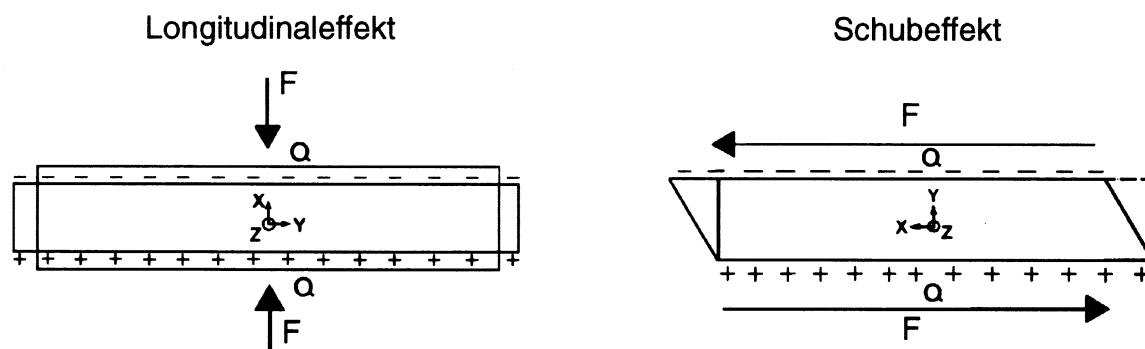


Bild 2: Piezoelektrische Effekte in Quarz.

Izvedba akcelerometra koji koristi longitudinalni efekt

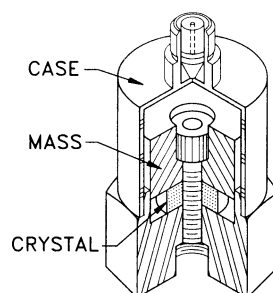


FIGURE 7.7. A basic schematic of a piezoelectric accelerometer. Acceleration of the case moves it relative to the mass, which exerts a force on the crystal. The output is directly proportional to the acceleration or vibration level. (Reprinted with permission from Sensors Magazine, ©1992.)

Izvedba akcelerometra koji koristi posmačni efekt

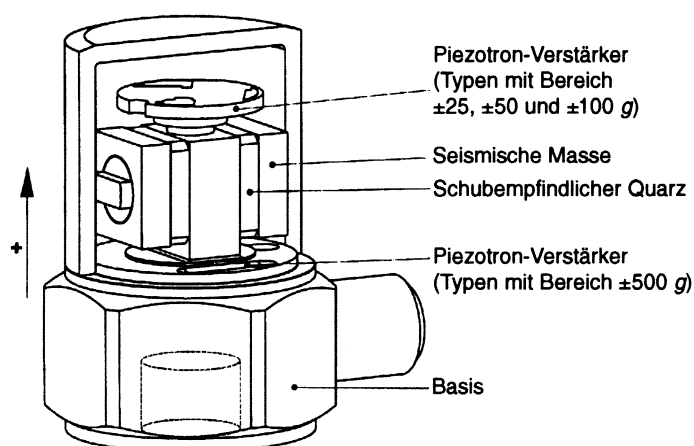


Bild 10: Aufbau der K-SHEAR-Beschleunigungssensoren.

Amplitudno-frekvencijska karakteristika piezoelektričkog akcelerometra

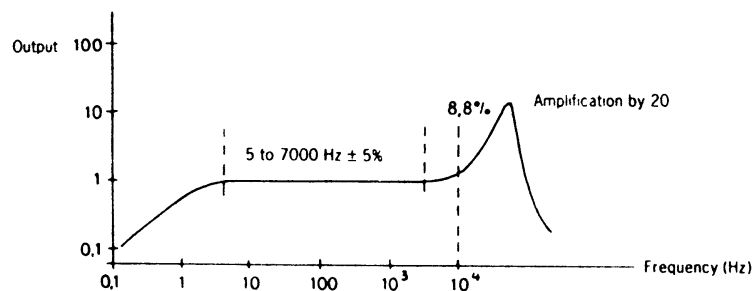
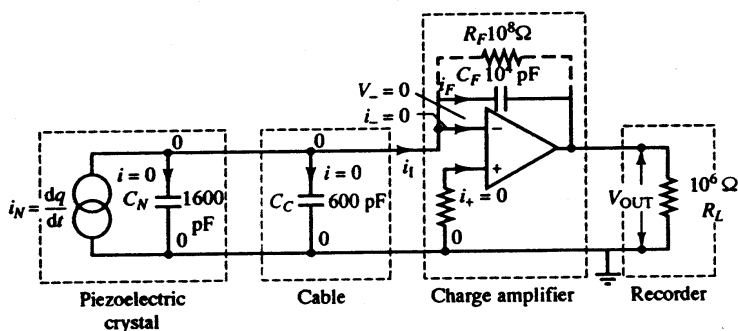
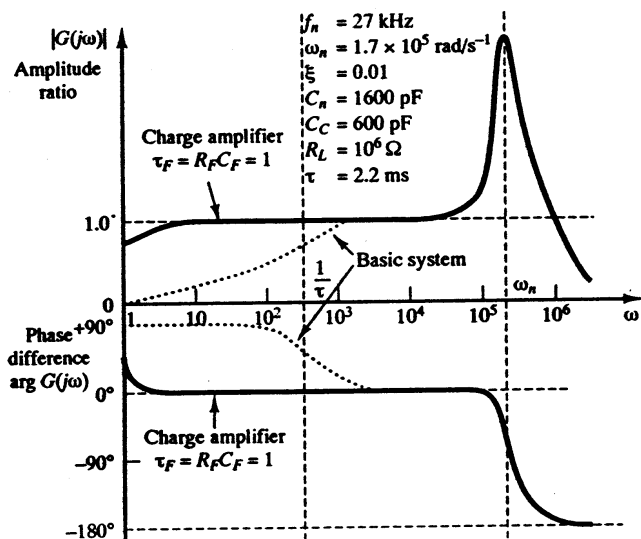


Figure 6.17 Frequency response for a piezoelectric accelerometer displaying a large resonance and lack of dc response.

Nije moguće mjeriti statičke akceleracije.

Nabojsko pojačalo



bez nabojskog pojacala

$$\Delta U = \frac{q}{C_N + C_C}$$

s nabojskim pojacalom

$$\Delta U = \frac{q}{C_N + C_C + AC_F}$$

$$U_{OUT} = A\Delta U = \frac{Aq}{C_N + C_C + AC_F} \approx \frac{q}{C_F}$$

izlazni napon ne ovisi o kapacitetu kristala i kabla

Koristi se priključni kabel s velikim otporom izolacije i koji svojim savijanjem ne stvara dodatni naboj.

Usporedba izvedbi: nabojsko pojačalo ugrađeno u senzor ili odvojeno

Senzor s odvojenim nabojskim pojačalom:

- temperaturno područje senzora (npr. turmalin i litij-niobat) iznosi preko 500°C, dok bi s ugrađenom elektronikom bilo ograničeno na 120 – 165°C.
- jednostavno se može mijenjati mjerno područje što omogućava potpuno korištenje cijelog dinamičkog područja akcelometra
- nabojska pojačala su relativno skupa
- kabel između akcelometra i pojačala treba imati veliki izolacijski otpor i niski šum.

Senzor s ugrađenim nabojskim pojačalom:

- niskoimpedancijski izlaz – priključni kabel može biti po volji dugačak (do par stotina metara) bez utjecaja na osjetljivost akcelometra
- manja osjetljivost na smetnje

INTEGRIRANI AKCELEROMETRI

Piezorezistivni

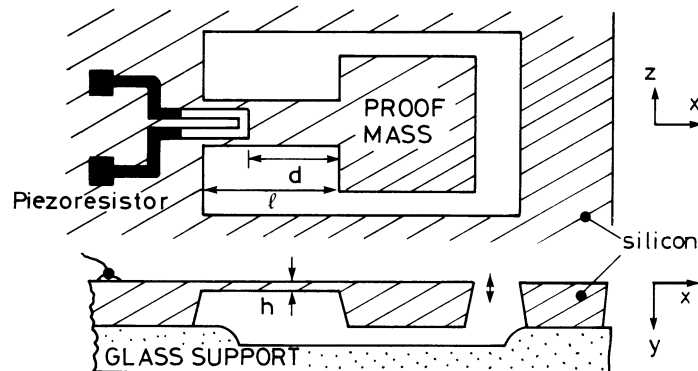


Figure 7.18 Basic design of a cantilever silicon microaccelerometer with piezoresistive read-out.

Deformacijom kristalne rešetke dolazi do promjene otpora materijala.

Najveće naprezanje je u bazi nosača. Prenosi se na piezootpornik.

- lateralna osjetljivost
- temperaturna osjetljivost

Kapacitivni (diferencijalni):

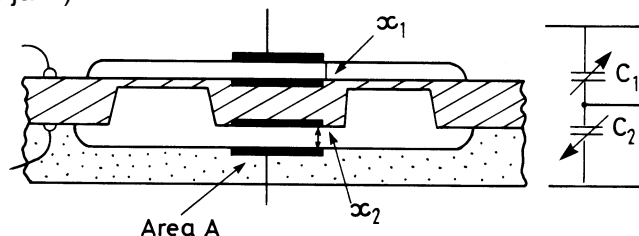


Figure 7.19 Cross-section of a silicon microaccelerometer with capacitive read-out.

Može mjeriti statičku akceleraciju npr. ubrzanje sile teže.

INTEGRIRANI AKCELEROMETAR S DIGITALNIM IZLAZOM ADXL202/ADXL210

Izveden je s diferencijalnim kondenzatorom – omogućava mjerenje i **statičkih ubrzanja**, npr. ubrzanje sile teže – može se koristiti za mjerenje nagiba (*engl. tilt sensor*)

Omogućava mjerenje dinamičkih akceleracija (npr. vibracije). Frekvencijski pojas na digitalnim izlazima iznosi 500 Hz, a na analognim 5 kHz.

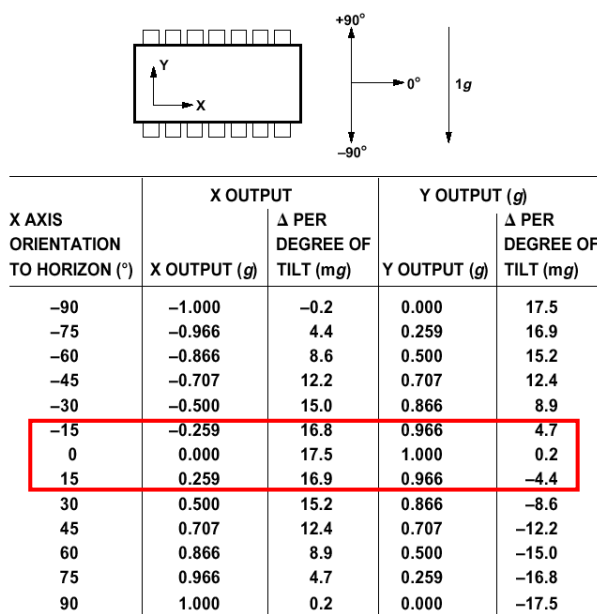
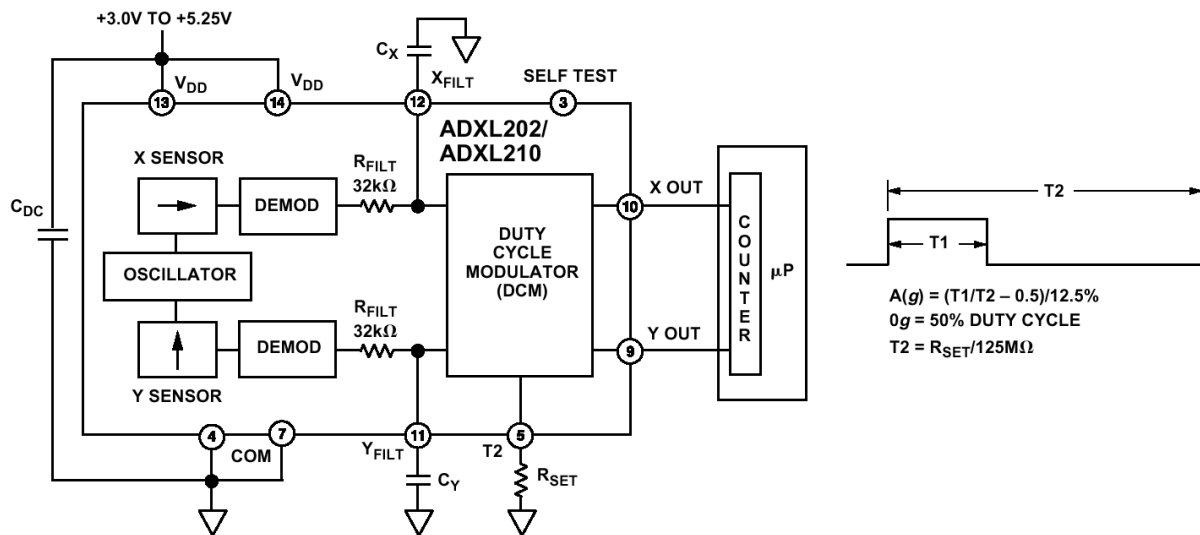


Figure 14. How the X and Y Axes Respond to Changes in Tilt

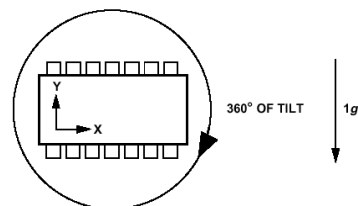
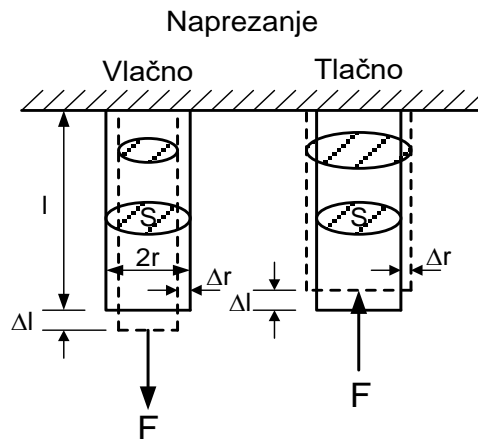
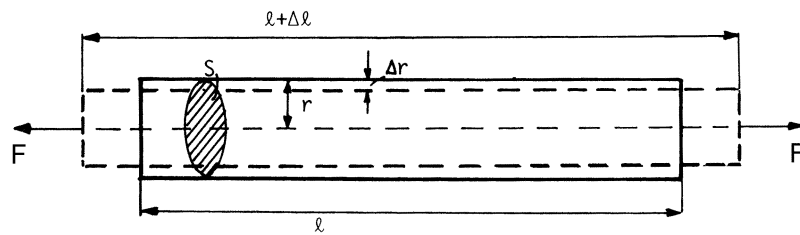


Figure 15. Using a Two-Axis Accelerometer to Measure 360° of Tilt

Najveća osjetljivost na promjenu nagiba postiže se kada je os akcelerometra paralelna s površinom zemlje.

MJERENJE NAPREZANJA:



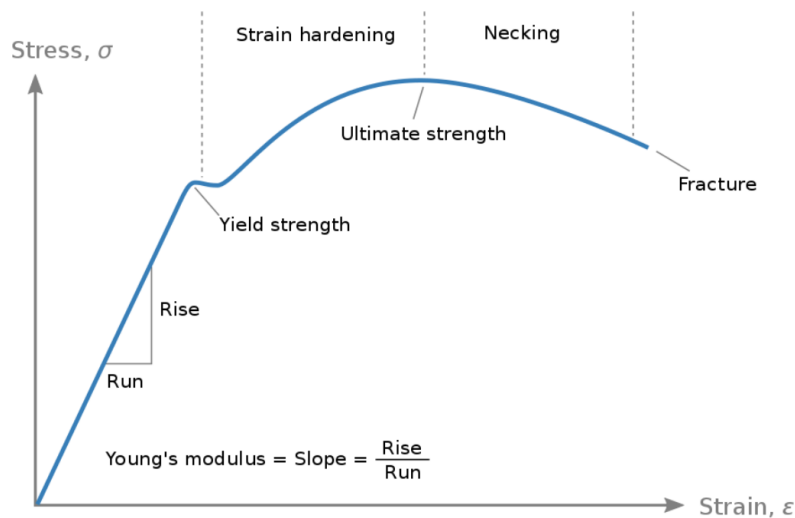
$$\sigma = \frac{F}{S}, \quad [\text{N/m}^2] \quad \text{- naprezanje}$$

$$\varepsilon_l = \frac{\Delta l}{l} \quad \text{deformacija u smjeru djelovanja sile (longitudinalno)}$$

$$\varepsilon_r = \frac{\Delta r}{r} \quad \text{deformacija okomito na smjer djelovanja sile (transverzalno)}$$

$$\varepsilon_r = -\mu \varepsilon_l, \quad \mu = 0.25 \text{ do } 0.4 \text{ za metale (Poissonov koeficijent)}$$

Za naprezanja manja od granice elastičnosti relativno produljenje je linearno proporcionalno naprezanju.



Veza između σ i ε_l je Youngov modul elastičnosti E .

$$\text{Hookov zakon: } \varepsilon = \frac{\sigma}{E}$$

TENZOMETRI (STRAIN GAUGE):

Pretvornici koji koriste svojstvo promjene otpora uslijed promjene dimenzija.

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

$$dR = \frac{\partial R}{\partial \rho} d\rho + \frac{\partial R}{\partial l} dl + \frac{\partial R}{\partial S} dS$$

$$dR = \frac{l}{S} d\rho + \frac{\rho}{S} dl - \frac{l}{S^2} \rho dS$$

$$dR = \frac{\rho l}{S} \frac{d\rho}{\rho} + \frac{\rho l}{S} \frac{dl}{l} - \rho \frac{l}{S} \frac{dS}{S}$$

$$\frac{dR}{R} = \frac{d\rho}{\rho} + \frac{dl}{l} - \frac{dS}{S}$$

$$S = r^2 \pi, \quad dS = 2r\pi dr, \quad \frac{dS}{S} = \frac{2}{r} dr$$

$$\frac{dR}{R} = \frac{d\rho}{\rho} + \frac{dl}{l} - 2 \frac{dr}{r}$$

$$\frac{\frac{dR}{R}}{\frac{dl}{l}} = \frac{\frac{d\rho}{\rho}}{\frac{dl}{l}} + 1 + 2 \left(- \frac{\frac{dr}{r}}{\frac{dl}{l}} \right) = \mathcal{G} + 1 + 2\mu = K$$

\mathcal{G} – piezorezistivni član

μ – Poissonov koeficijent

K – koeficijent pretvorbe (*engl. gauge factor*)

$$\frac{\Delta R}{R} = K \frac{dl}{l} = K\varepsilon$$

Konstantan:	$K \approx 2$ (dominira $1 + 2\mu$)
Pt-Ptlr:	$K \approx 6$ (temperaturno područje do 1000°C)
Poluvodički	$K \approx 120$ (dominira \mathcal{G} , vrlo izražena temperaturna ovisnost)

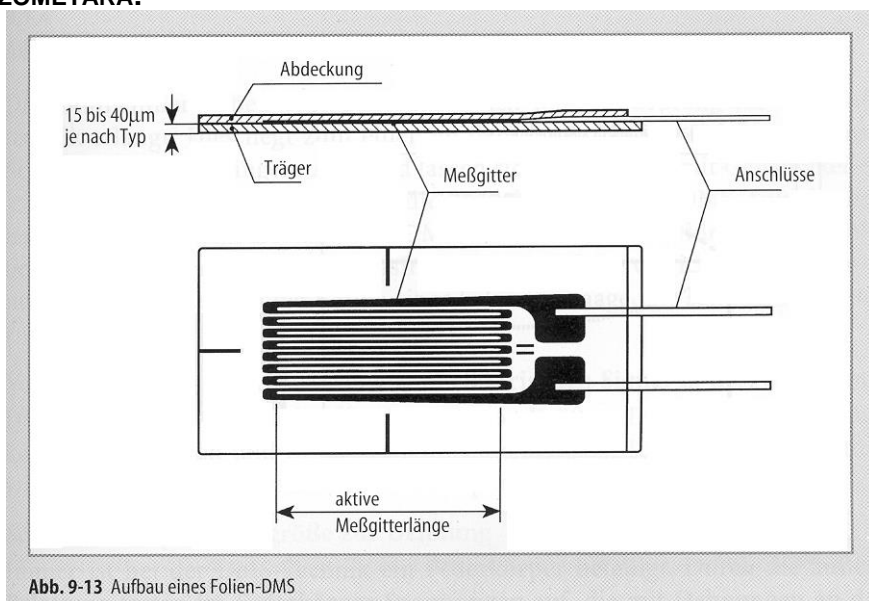
Mjerenje naprezanja pomoću tenzometara:

$$\frac{\Delta R}{R} = K\varepsilon \quad \Rightarrow \quad \varepsilon = \frac{\frac{\Delta R}{R}}{K} \quad \text{uz poznati } E \text{ možemo izračunati } \sigma = \varepsilon E$$

Promjenom temperature dolazi i do promjene dimenzija tenzometara.

Zbog toga, tenzometre treba odabrati takve da imaju isti temperaturni koeficijent rastezanja kao i podloga na koju se lijepe (npr. konstantan ima približno jednaki temperaturni koeficijent rastezanja kao čelik).

IZVEDBE TENZOMETARA:



Ovakvom izvedbom ostvarujemo veću osjetljivost u longitudinalnom smjeru ($n \cdot \Delta l$). U transverzalnom smjeru dolazi samo do razmicanja pojedinih vodiča, promjena otpora je zanemariva.

Vrijednosti otpora: 120, 350, 700, 1000 Ω .

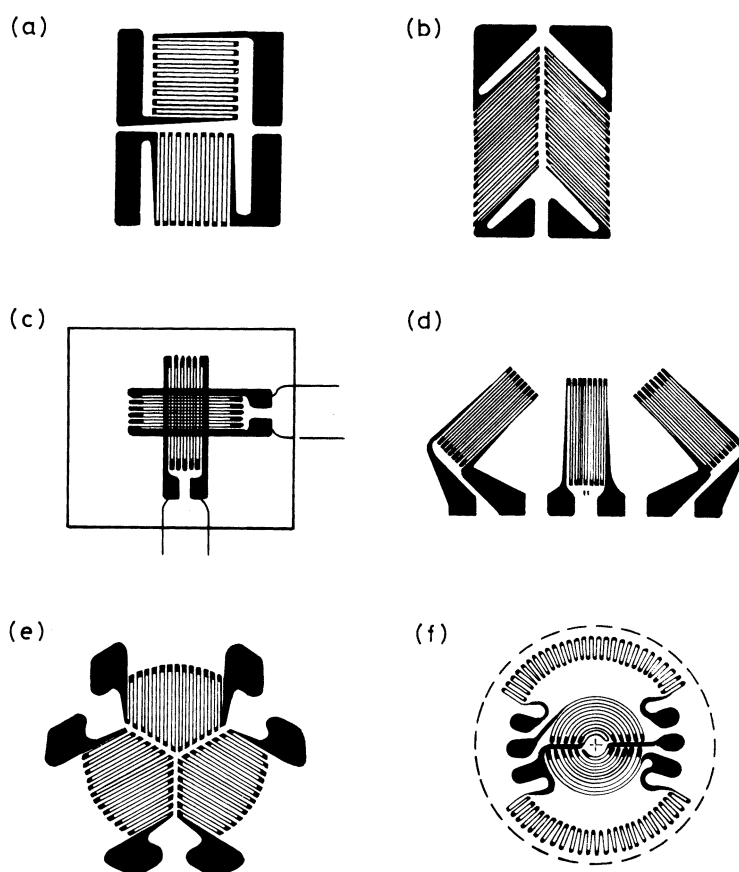


Figure 7.27 Six designs of thin foil strain-gauges.

TEMPERATURNNA OVISNOST TENZOMETARA

Posebno je izražena kod poluvodičkih tenzometara.

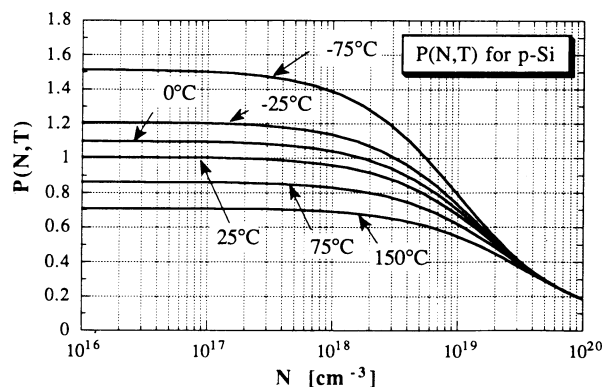
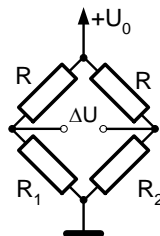
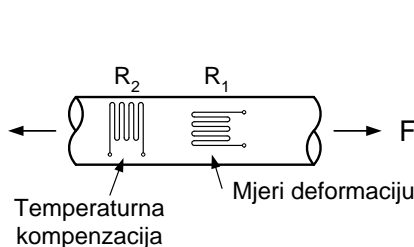


Fig. 10 Piezoresistance factor $P(N, T)$ as a function of impurity concentration and temperature for p -type silicon. (After Ref. 49)

Konstantan: $\alpha = -3 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$

Tenzometri se redovito koriste u mosnom spoju. Ako postoji samo jedan aktivni tenzometar, obavezno se lijepi i jedan neaktivni koji služi za temperaturnu kompenzaciju:

- Jedan tenzometar u mostu sa temperaturnom kompenzacijom

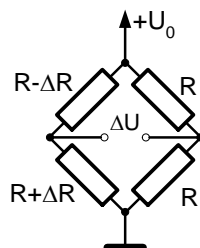
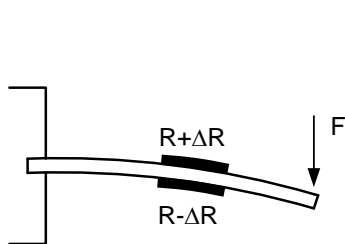


uz $\frac{\Delta R}{R}$ malo, vrijedi:

$$\Delta U = \frac{U_0}{4} \frac{\Delta R_1}{R_1}$$

$$\Delta U = \frac{U_0}{4} K \varepsilon$$

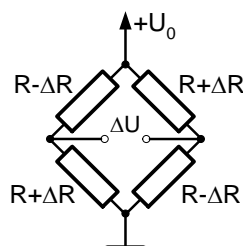
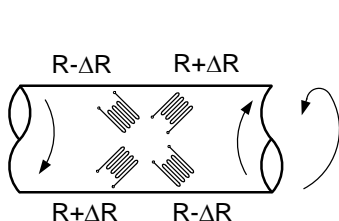
- Dva tenzometra u mostu



$$\Delta U = \frac{U_0}{2} K \varepsilon$$

Postignuta je dvostruko veća osjetljivost nego u prvom slučaju.

- Četiri tenzometra u mostu

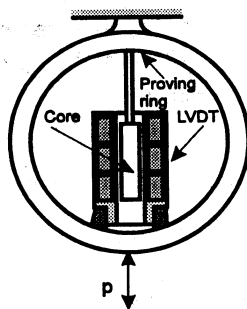


$$\Delta U = U_0 K \varepsilon$$

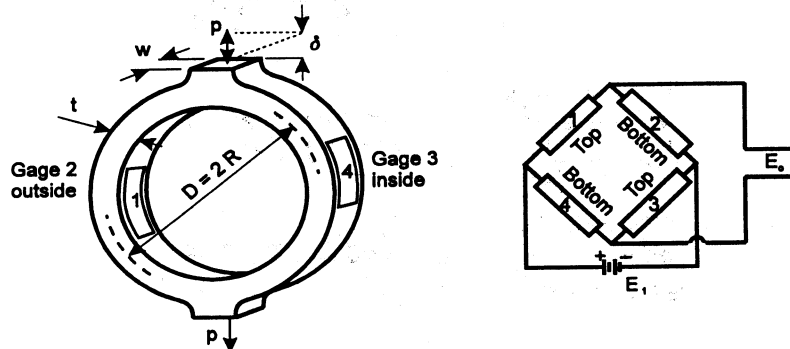
Četverostruka osjetljivost

MJERENJE SILE:

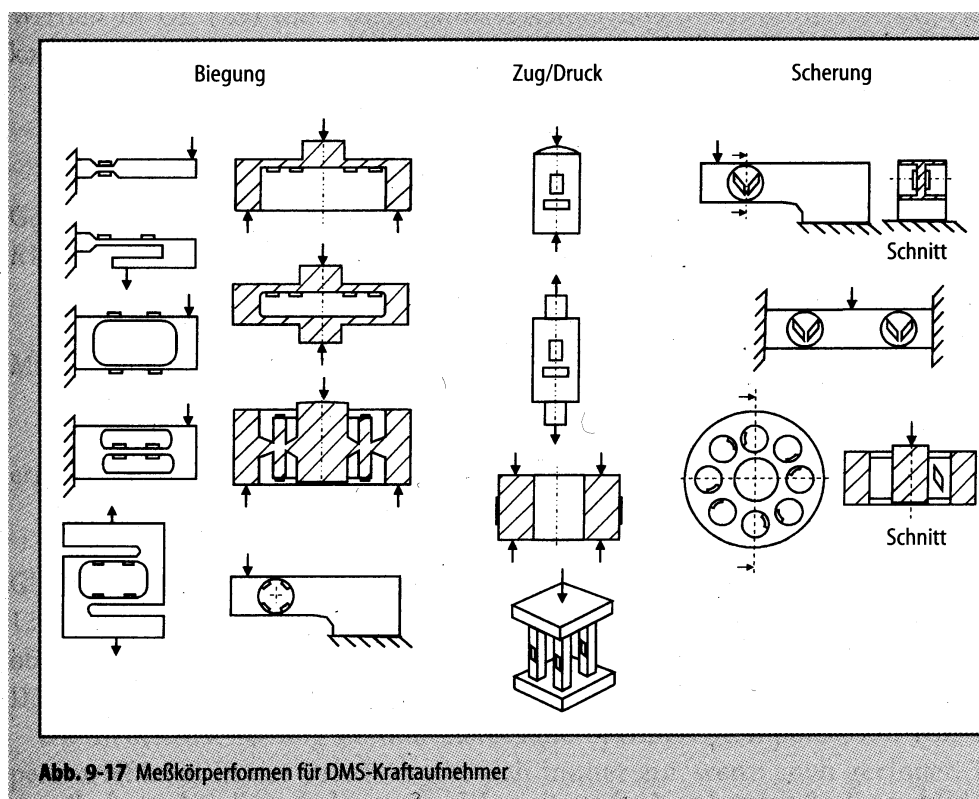
MJERENJEM POMAKA ELASTIČNOG ELEMENTA (OPRUGE):



MJERENJE SILE POMOĆU TENZOMETARA



Različiti oblici elastičnih tijela (omogućavaju mjerenje statičkih sila):



Primjena koda vaga.

MJERENJE SILE POMOĆU PIEZOELEKTRIČKIH PRETVORNIKA

Omogućavaju mjerenje dinamičkih sila praktički bez pomaka.

Mogućnost izvedbe 3D pretvornika sile primjenom kristala rezanih u različitim smjerovima.

Po jednoj osi se koriste dva kristala spojena tako da im se generirani naboj pomaže.

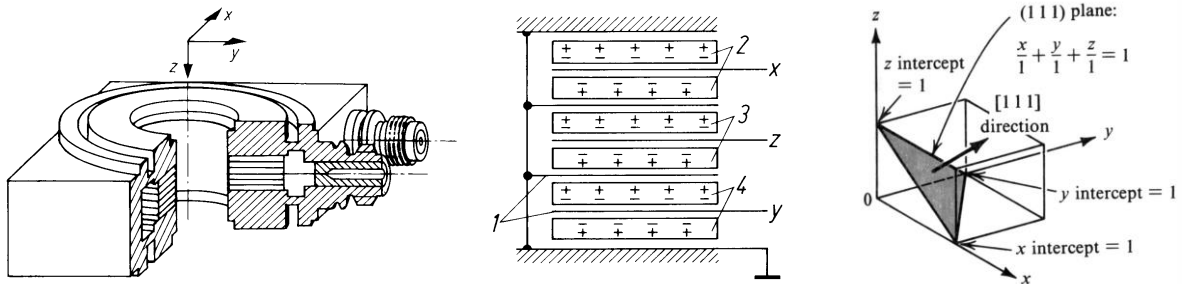


Bild 9.11. Aufbau eines Dreikomponenten-Kraftaufnehmers (nach Kistler). 1 Elektroden; 2 Quarzplatten für den Schubeffekt, messen die x-Komponente; 3 Quarzplatten für den Longitudinaleffekt, messen die z-Komponente; 4 Quarzplatten für den Schubeffekt, messen die y-Komponente



Bild 9.12

Bild 9.12. Dreikomponenten-Kraftaufnehmer (Werkbild Kistler)

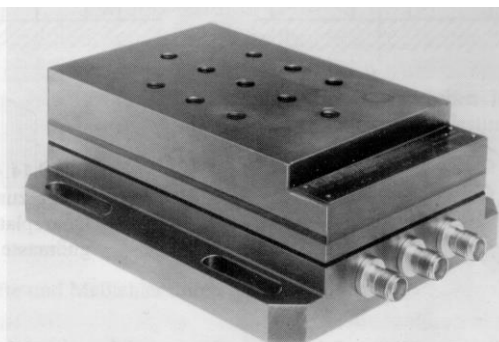


Bild 9.13

Bild 9.13. Dreikomponenten-Dynamometer (Werkbild Kistler)

MJERENJE SILE POMOĆU OTPORNIKA OSJETLJIVOG NA SILU (FORCE SENSING RESISTORS – FSR)

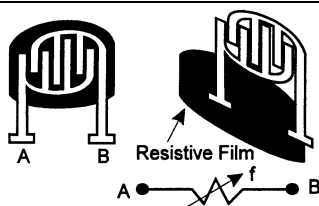


FIGURE 23.13 Diagram of a typical force sensing resistor (FSR).

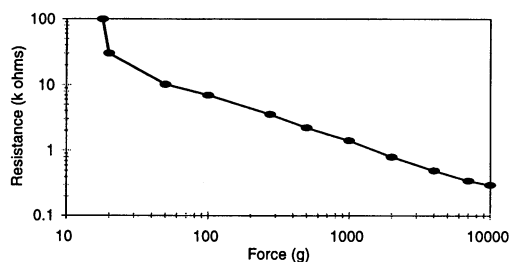


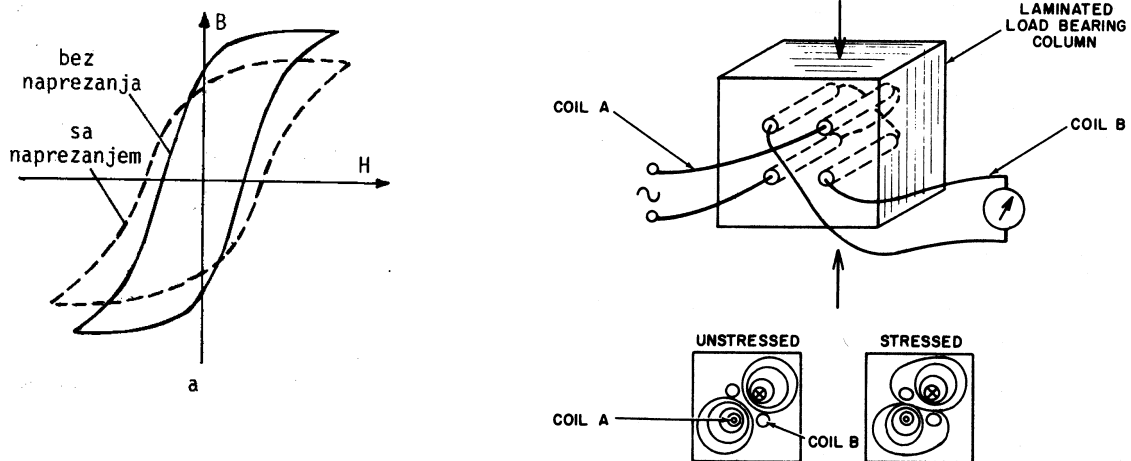
FIGURE 23.14 Resistance as a function of force for a typical force sensing resistor.

Između dviju folija nalazi se vodljiva tinta. Potrebna je linearizacija.

Odstupanje ($\pm 15\%$ u laboratorijskim uvjetima) dosta veliko, ali omogućavaju mjerenje sile u uvjetima gdje to drugi senzori ne mogu (npr. koriste se za mjerenje sile u obući).

MJERENJE SILE NA TEMELJU MAGNETOSTRIKCIJE

Dolazi do promjena magnetskih osobina materijala podvrgnutog mehaničkom naprezanju. U neopterećenom stanju oblik magnetskih silnica je takav da je rezultantni tok kroz sekundarni namot (B) jednak nuli, a time i izlazni napon. Uslijed djelovanja sile smanjuje se permeabilnost i to više u vertikalnom pravcu, tj. u pravcu djelovanja sile, zbog čega se deformiraju magnetske silnice – rezultantni tok sekundarnog namota postaje različit od nule pa se javlja i sekundarni napon proporcionalan sili. Koristi se za mjerenje sila reda veličine $2 \cdot 10^7$ N.



MJERENJE MOMENTA

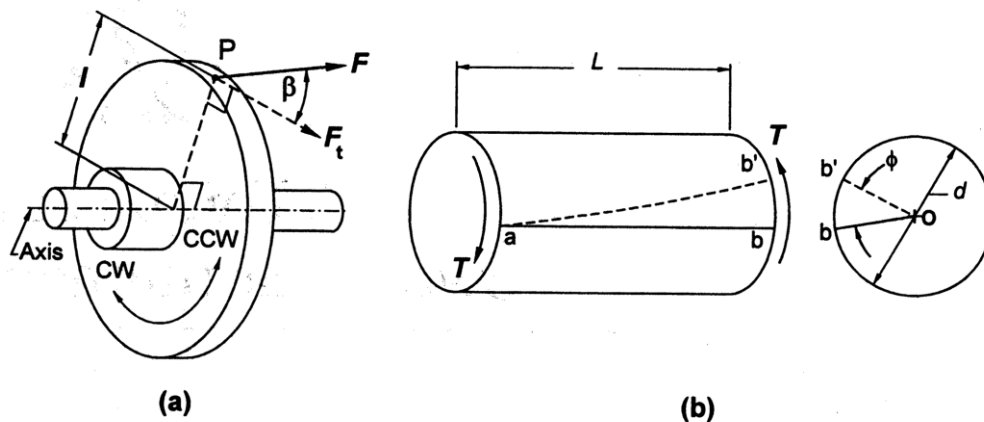
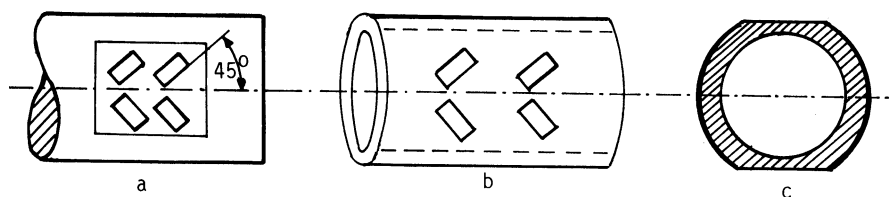


FIGURE 24.1 (a) The off-axis force F at P produces a torque $T = (F \cos \beta)l$ tending to rotate the body in the CW direction. (b) Transmitting torque T over length L twists the shaft through angle ϕ .

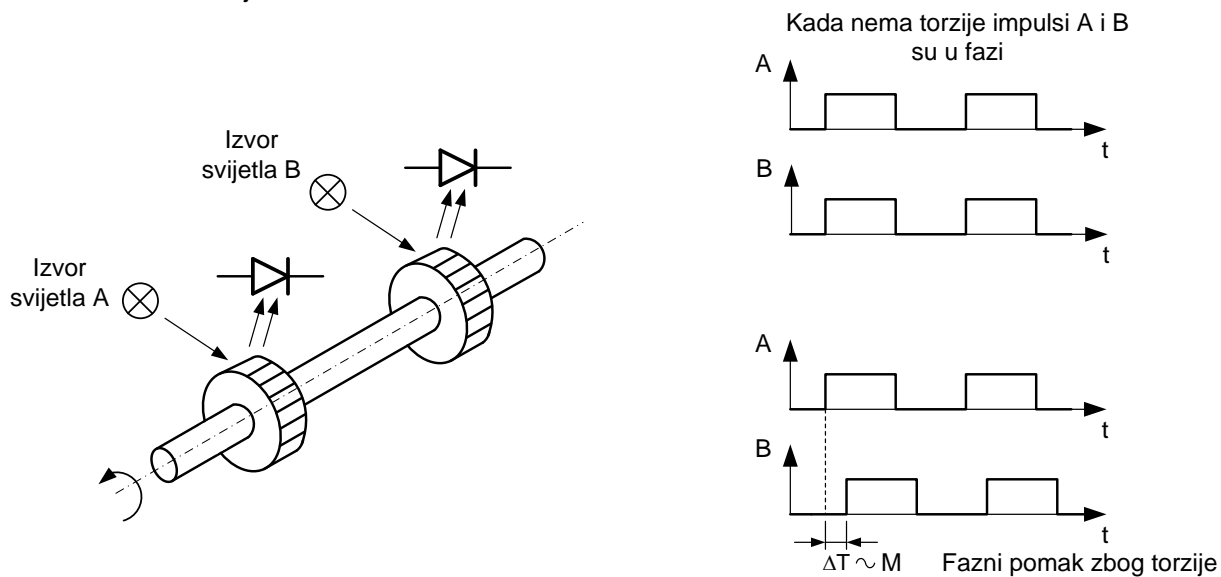
MJERENJE MOMENTA POMOĆU TENZOMETARA



Uslijed torzije otpor jednog tenzometra se povećava, dok se drugom tenzometru otpor smanjuje. Koristi se puni most.

MJERENJE MOMENTA OPTIČKIM METODAMA

- prosijavanje
- refleksija



MJERENJE MOMENTA MAGNETSKIM METODAMA

Promjenjiva reluktancija. Uslijed torzije dolazi do faznog pomaka između signala .

