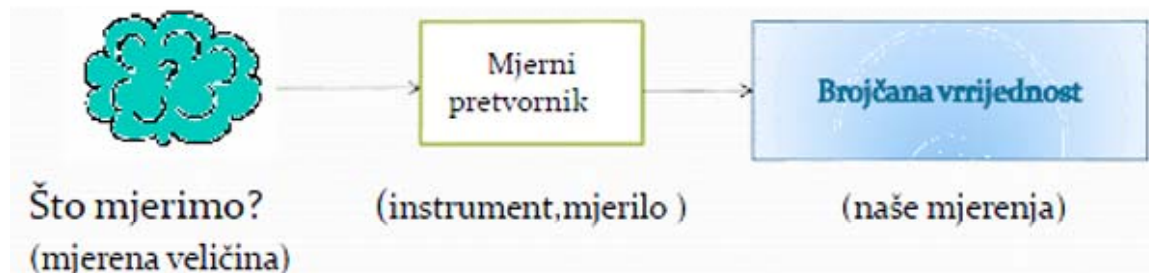


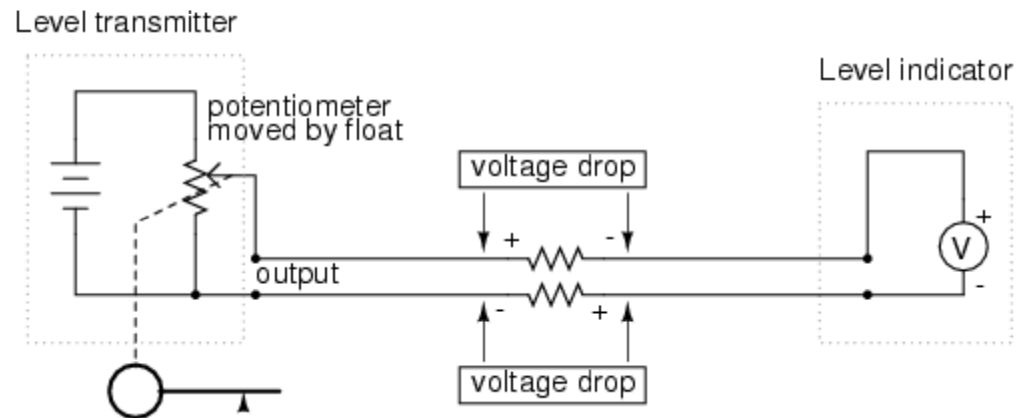
Mjerni pretvornici



- pretvaranje mjerene veličine u signal koji predstavlja brojčanu vrijednost mjerene veličine
- **mjerni pretvornici električnih veličina** - pretvaraju iz jedne električne veličine u drugu pa se koriste za snižavanje napona ili struje za sigurno mjerenje ili za pretvaranje izmjenične struje u istosmjernu za lakše mjerenje - naponski ili strujni transformatori
- **mjerni pretvornici neelektričnih veličina** - služe za pretvaranje neke druge vrste energije u električnu

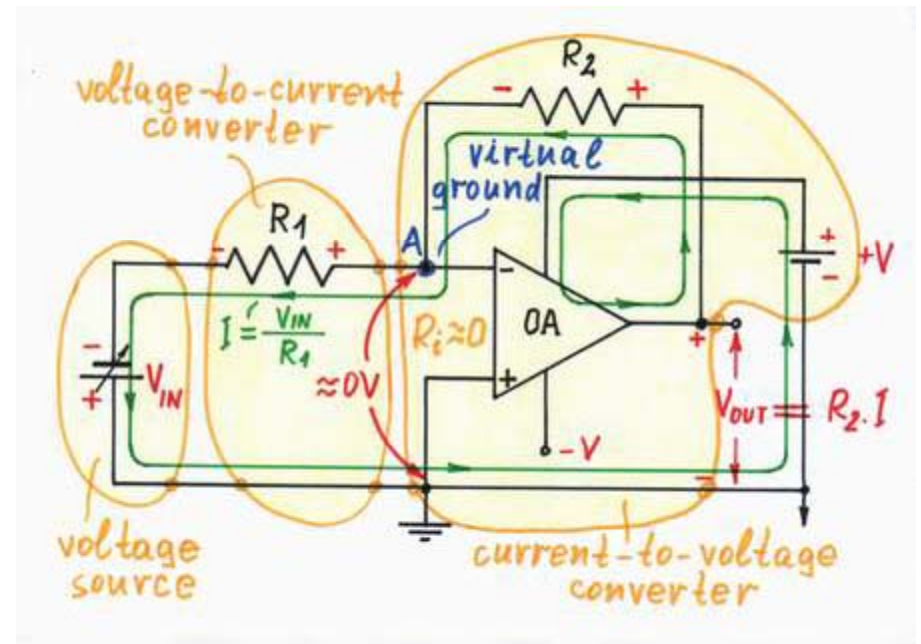
Naponski signali

- na izlazu iz mjernog pretvornika najčešće se nalazi **naponski signal**, a vrijednost napona je proporcionalna mjerenoj veličini - naponski signali se generiraju naponskim izvorima, a strujni strujnim izvorima
- naponski signali su podložniji smetnjama i opadanju vrijednosti zbog duljine voda - pad napona u vodu koji ima određeni otpor može se smanjiti postavljanjem voda većeg presjeka
- najčešće se mjeri u području 0-5 V , 1-5 V ili 0-10 V
- 1-5 V - 1 V je 0 %, a 5 V je 100 % vrijednosti mjerenja
- 0-10 V - 0 V je 0% mjerenja, 5 V je 50% mjerenja, 10 V je 100% vrijednosti mjerenja



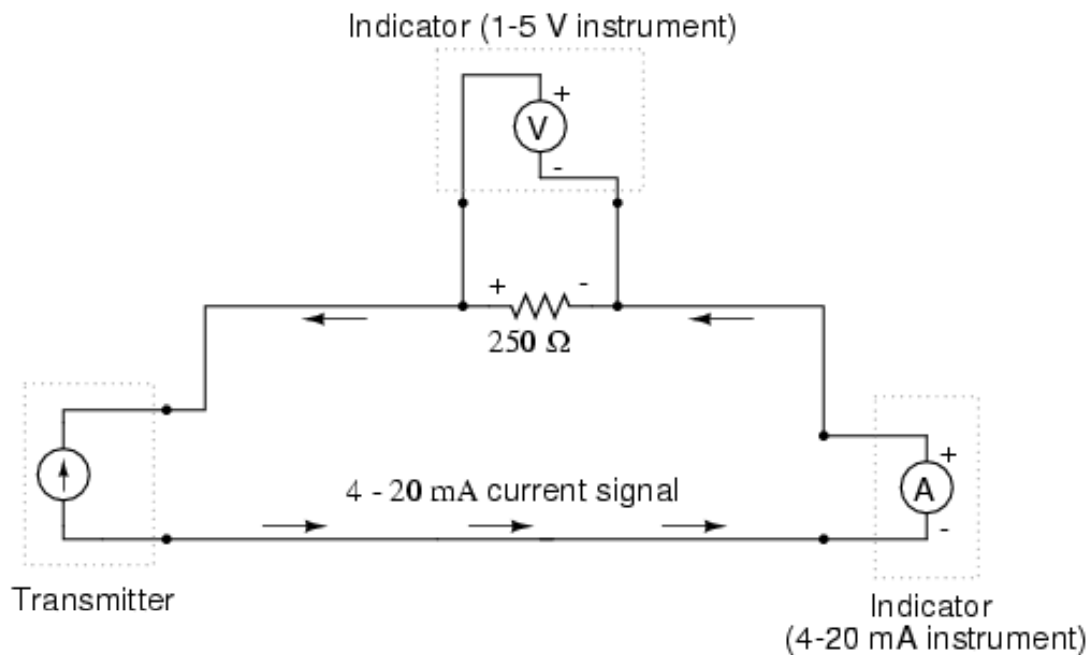
Strujni signali

- umjesto naponskog izlaza na mjernom pretvorniku, može se koristiti i strujni kod kojeg je vrijednost struje proporcionalna mjerenoj veličini - **strujni signali** su manje podložni smetnjama i pogodniji za dalji prijenos signala
- standardi strujnih signala: 0-20 mA, 4-20 mA
- danas se koristi područje 4–20 mA umjesto 10–50 mA - manja mogućnost ozljede ili iskrenja zbog manje struje
- nema problema s padom napona i znatno je bolje očuvanje signala pri prijenosu
- korištenjem operacijskih pojačala može se napraviti strujni izvor koji proizvodi konstantnu struju



Strujni i naponski signali

- upotrebom preciznog otpornika od 250 ohma strujni signal 4-20 mA se vrlo lako može konvertirati u naponski signal 1-5 V i prikazivati na različitim mjernim instrumentima (ampermetru ili voltmetru)



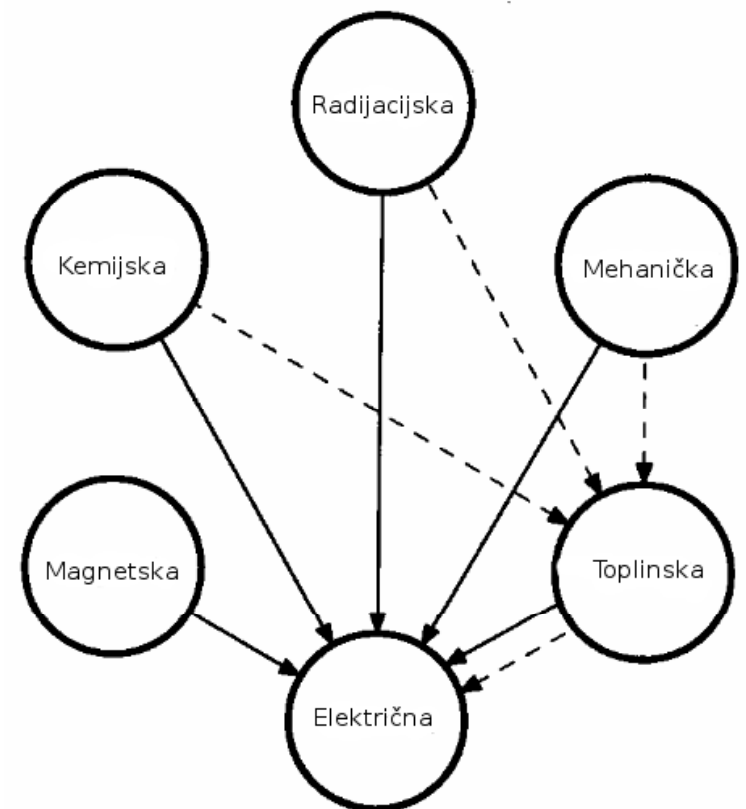
Percent of measurement	4-20 mA signal	1-5 V signal
0	4.0 mA	1.0 V
10	5.6 mA	1.4 V
20	7.2 mA	1.8 V
25	8.0 mA	2.0 V
30	8.8 mA	2.2 V
40	10.4 mA	2.6 V
50	12.0 mA	3.0 V
60	13.6 mA	3.4 V
70	15.2 mA	3.8 V
75	16.0 mA	4.0 V
80	16.8 mA	4.2 V
90	18.4 mA	4.6 V
100	20.0 mA	5.0 V

Signali sa živom nulom

- minimalna vrijednost mjerenja (0) ne daje vrijednost 0 V na izlazu nego neku drugu (npr. 1 V) pa se tako može uočiti razlika između kvara ili vrijednosti 0 na ulazu u mjerni pretvornik - ako je na ulazu 0, na izlazu će biti 1 V, a ako je na ulazu kvar, na izlazu će biti 0 V
- **izlazi sa živom nulom** (1-5 V ili 4-20 mA) označavaju 0 s 1 V ili 4 mA, a izlaz s vrijednošću 0 V ili 0 mA označava prekid ili pogrešku
- **signali s pomaknutim početkom** - ne počinju s vrijednošću 0 nego nekom drugom

Mjerni pretvornici neelektričnih veličina

- **mjerni pretvornik** se sastoji od osjetila i samog pretvornika
- **osjetilo** je tehnički element koji osjeća promjene u fizičkom procesu i na svom izlazu daje odziv koji je analogan ulaznoj fizikalnoj veličini, a **pretvornik** je tehnički element koji izlaznu veličinu osjetila pretvara u izlazni signal
- **mjerni pretvornici neelektričnih veličina** pretvaraju mehaničku, toplinsku, kemijsku, radijacijsku ili magnetsku energiju u električnu
- svrha pretvaranja u električnu veličinu je lakše mjerenje (lako daljinsko mjerenje bez tromosti), pohranjivanje, prijenos i obrada mjernih podataka pomoću računala



Podjela mjernih pretvornika neelektričnih veličina

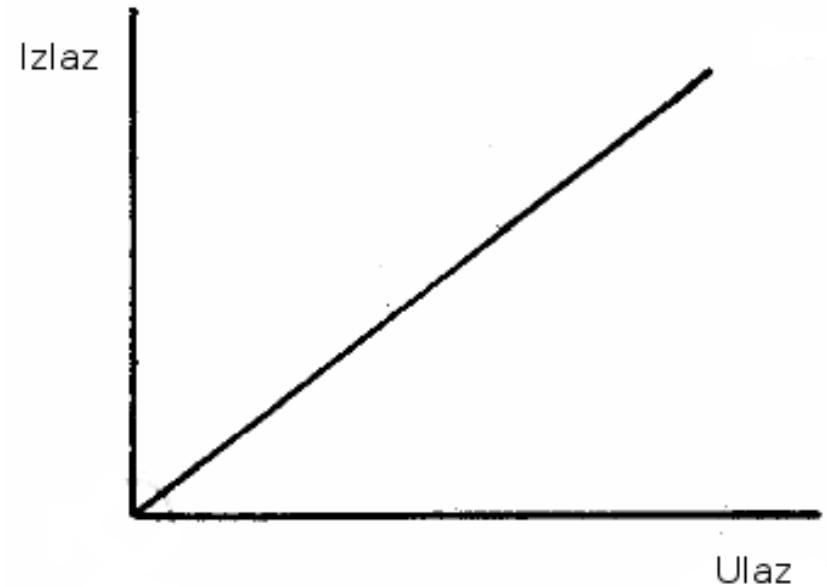
- osnovna podjela mjernih pretvornika neelektričnih veličina je na **aktivne i pasivne pretvornike**
- **pasivni pretvornici** trebaju napajanje jer mjere veličine koje izazivaju promjenu otpora, kapaciteta ili induktiviteta
- **aktivni pretvornici** fizikalnim efektima pretvaraju određenu energiju u električnu i time generiraju izlaznu vrijednost te za pretvorbu ne trebaju napajanje
- aktivnim pretvornicima se vrši pretvorba mehaničke, toplinske, svjetlosne ili kemijske energije na osnovama indukcijskog, piezoelektričnog, termoelektričnog ili fotoelektričnog djelovanja

Karakteristike mjernih pretvornika

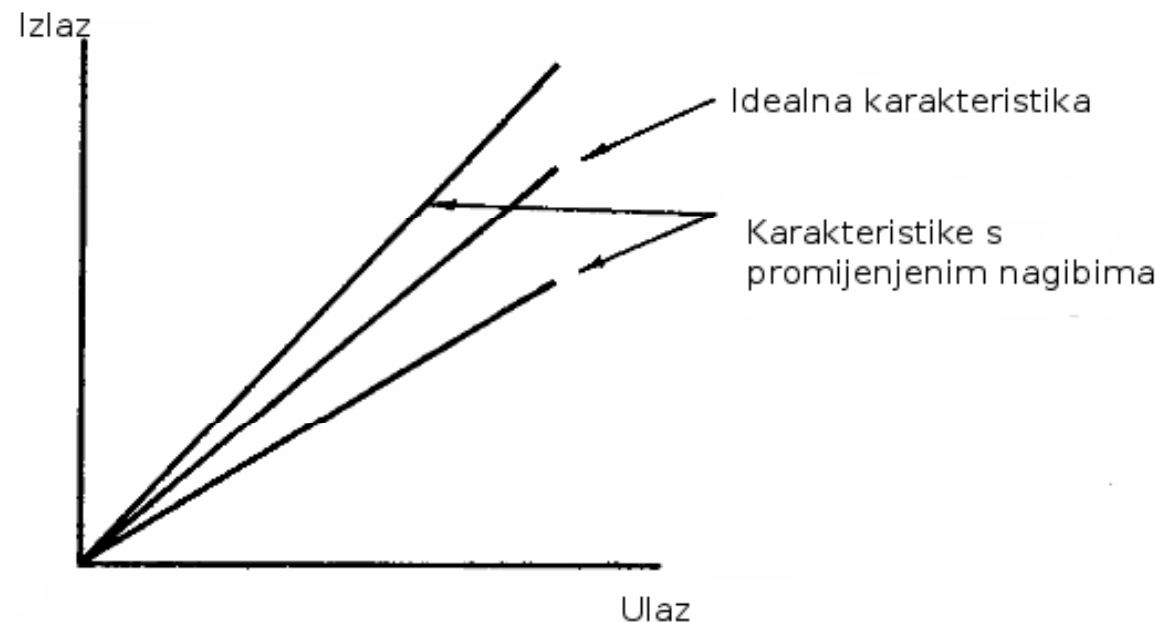
- mjerni pretvornici imaju **normirane izlaze** - na izlazu im se nalaze normirane vrijednosti struje ili napona (npr. 0-20 mA, 4-20 mA, 0-10V,...)
- prednost normiranih izlaza je u mogućnosti mjerenja raznih neelektričnih veličina istim tipom instrumenta (voltmetrom ili ampermetrom)
- s obzirom na promatranje odnosa ulaza i izlaza pretvornika postoje **statičke i dinamičke karakteristike**
- **statičke karakteristike** se ne mijenjaju s vremenom, a dobiju se pobuđivanjem određene promjene na pretvorniku te se nakon ustaljivanja sustava u stacionarnom stanju određuje nastala promjena izlazne veličine

Statičke karakteristike

- **idealna statička karakteristika** prikazuje linearni rast izlazne veličine iz pretvornika pri linearnom rastu ulazne veličine u mjerni pretvornik

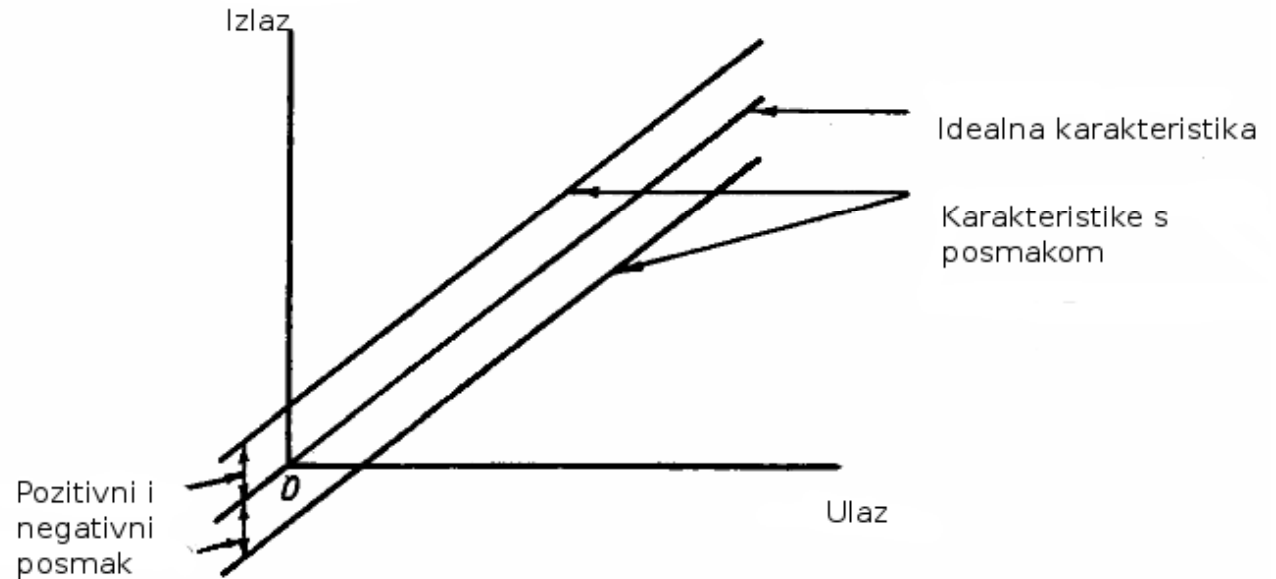


- ako se pretvorniku mijenja osjetljivost na ulaznu veličinu, mijenja mu se i nagib idealne ulazno – izlazne karakteristike

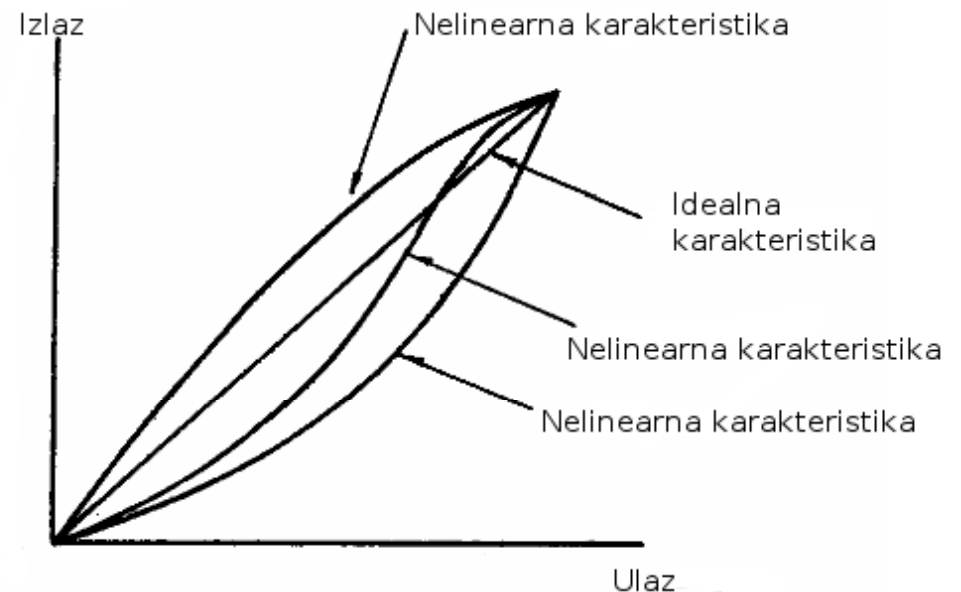


Statičke karakteristike

- u ulazno–izlaznim karakteristikama pretvornika može doći i do **efekta posmaka nule** - karakteristika sa **živom nulom**

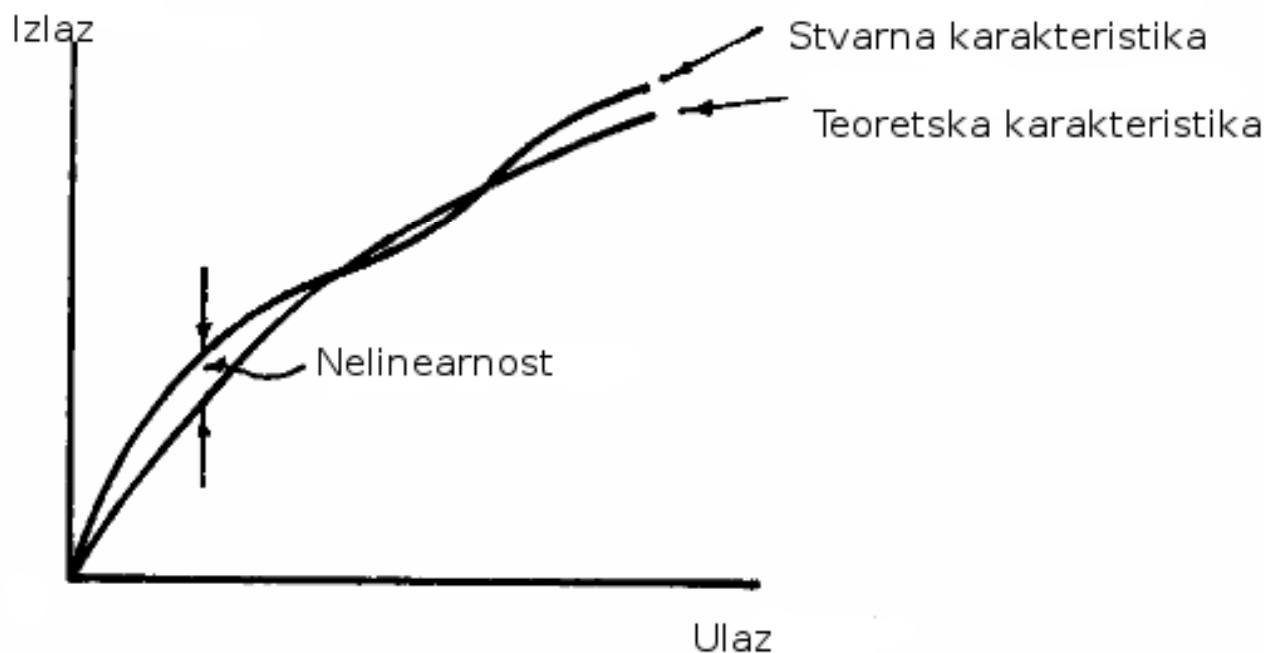


- vrlo često karakteristika pretvornika nije linearna nego nelinearna krivulja - ne dobiva se linearna ovisnost izlazne veličine o ulaznoj nego nelinearna



Statičke karakteristike

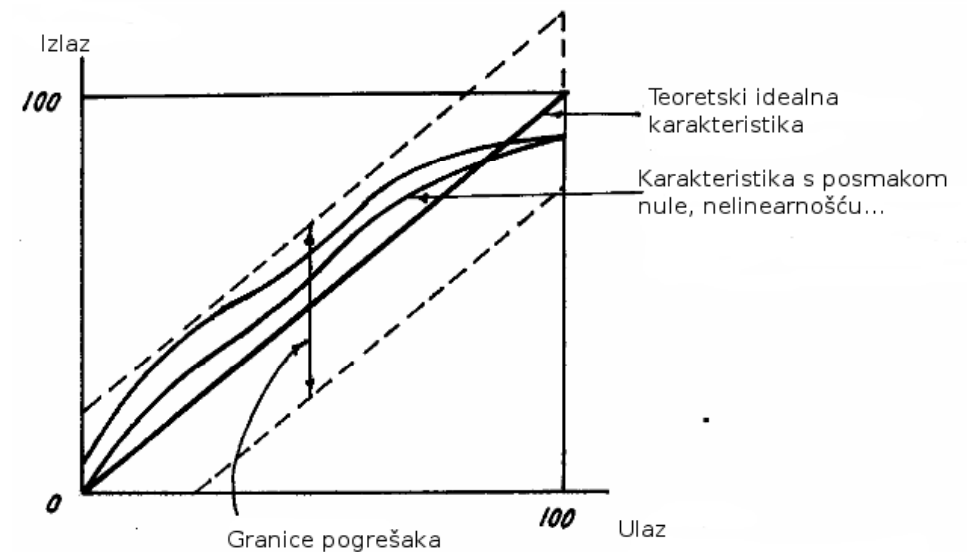
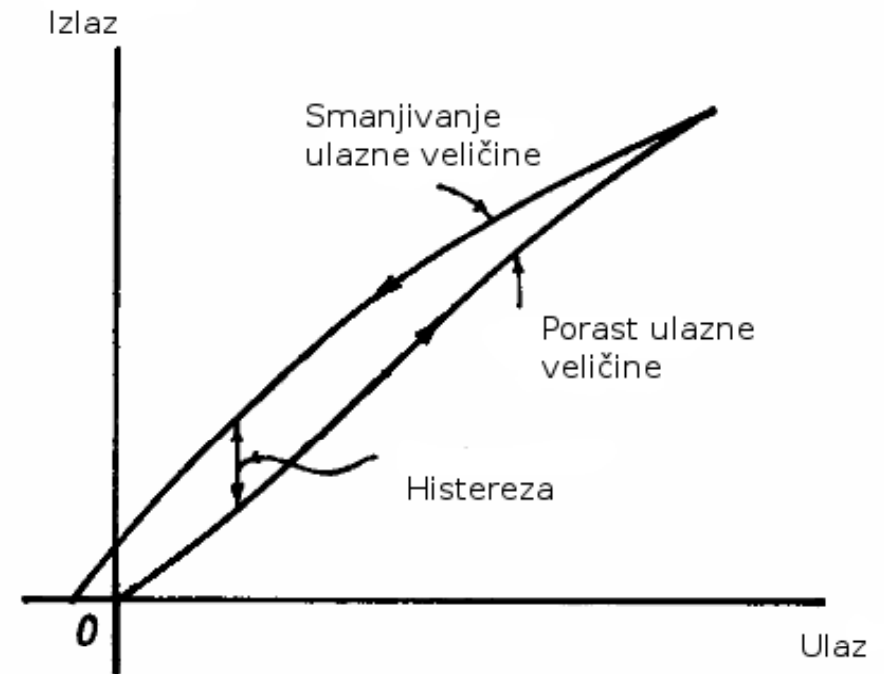
- nelinearnost ne mora postojati samo kod karakteristika koje su u teoretskom slučaju linearne



- neke su karakteristike u teoretskom slučaju već nelinearne, no i tada postoji odstupanje od te teoretske karakteristike
- odmak od linearnosti je problem pri radu s pretvornicima te se karakteristika uvijek pokušava svesti na što linearniju, tj. vrši se **linearizacija karakteristike** - zamjena nelinearne krivulje linearnom, tj. pravcem

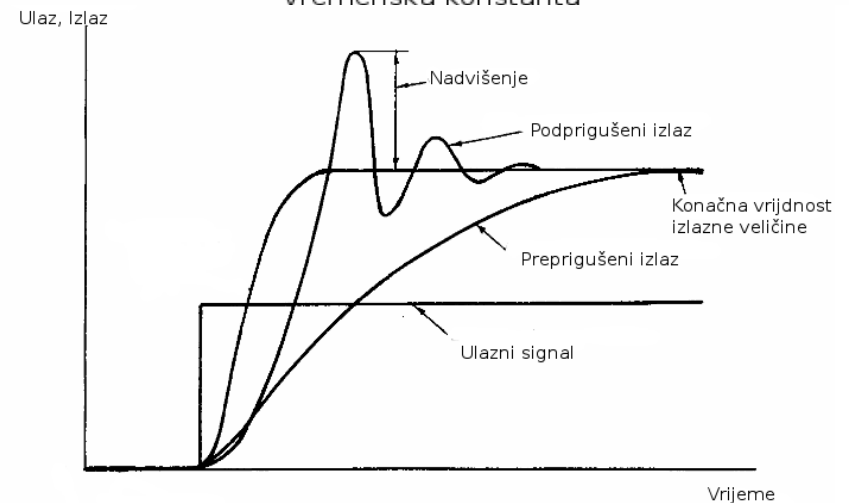
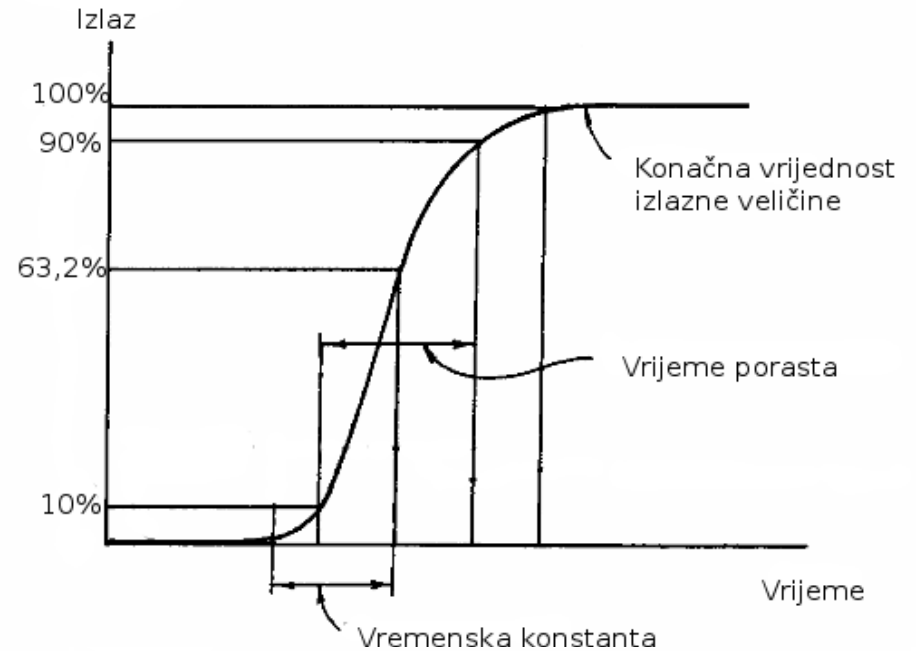
Statičke karakteristike

- mjerni pretvornici mogu imati ulazno–izlaznu karakteristiku s **histerezom** kod koje izlaz osim o ulaznoj veličini ovisi i o internom stanju sustava
- za određivanje stanja na izlazu potrebno je znati i prethodno mijenjanje ulazne veličine
- definiranje granica pogrešaka mjernih pretvornika vrši se uzimajući u obzir realnu karakteristiku pretvornika u odnosu na teoretski idealnu karakteristiku



Dinamičke karakteristike

- **dinamičke karakteristike** su rezultat dinamičke analize pri čemu se ispituju vremenske promjene izlaznih veličina u odnosu na vremenske promjene ulaznih veličina
- **vremenska konstanta pretvornika** (vrijeme potrebno da izlaz dostigne vrijednost od 63,2% konačne vrijednosti)
- **vrijeme porasta** (vrijeme dok izlazna veličina prođe od 10% - 90% konačne izlazne vrijednosti)
- odziv na skokovitu promjenu ulazne veličine ili **prijelazna karakteristika** - analiza da li je izlaz preprigušen pa je odziv spor ili je prebrz odziv pa dolazi do velikog nadvišenja

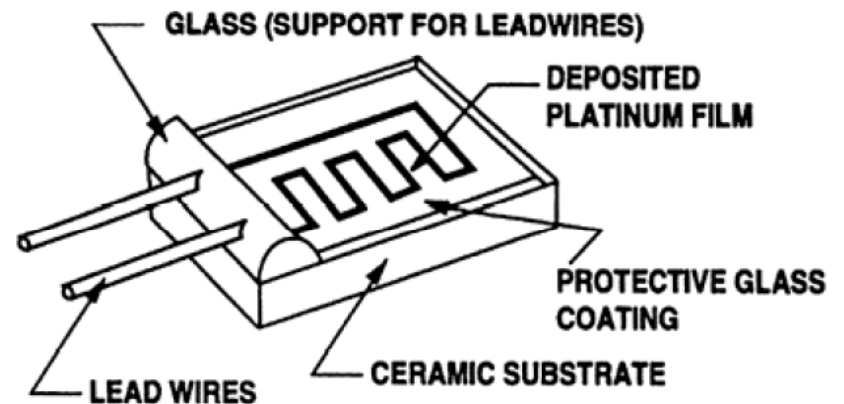
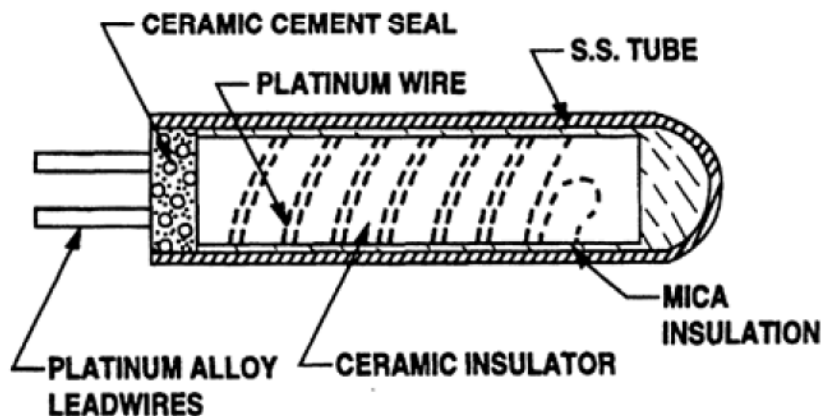


Primjeri mjernih pretvornika

- mjerenje temperature
- mjerenje pomaka
- mjerenje brzine
- mjerenje ubrzanja
- mjerenje naprezanja i sile
- mjerenje tlaka

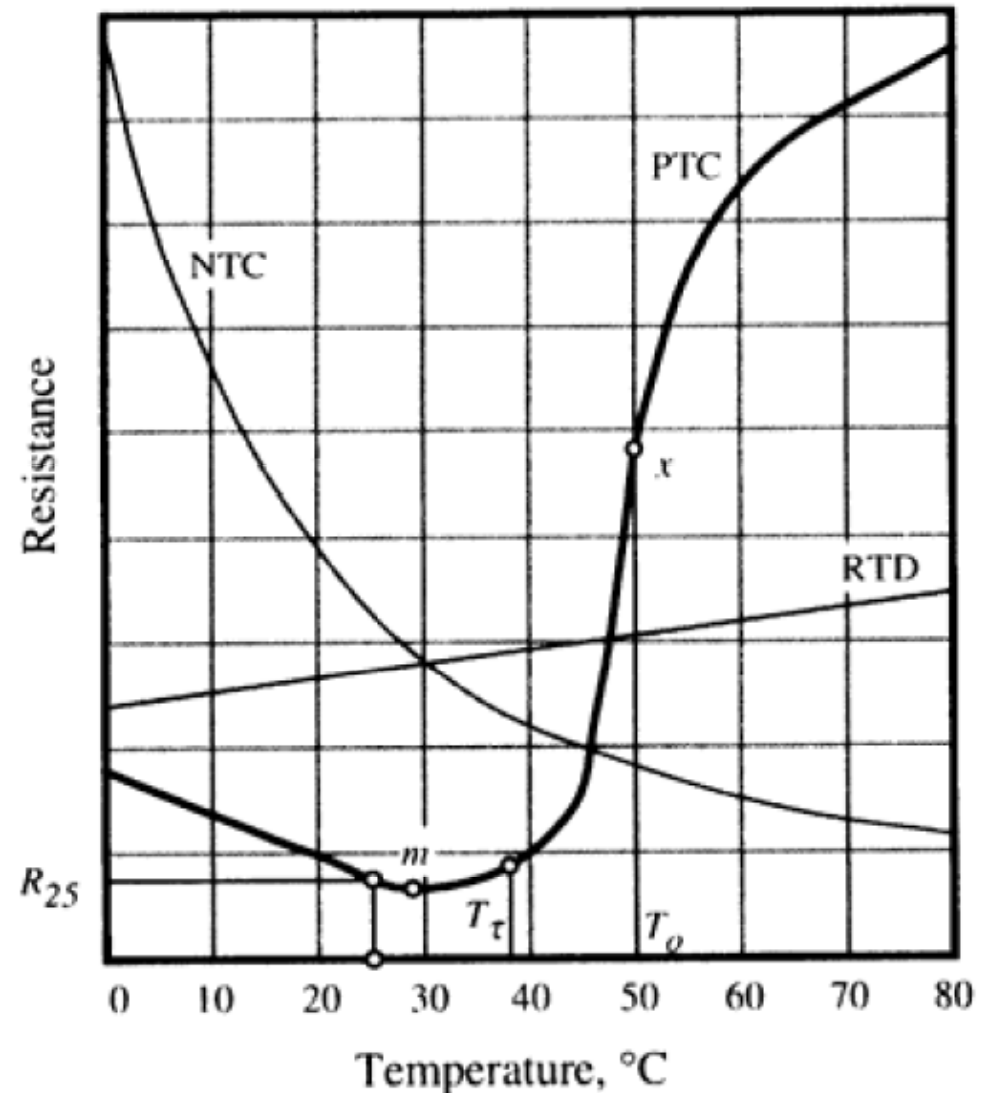
Mjerenje temperature

- pasivni mjerni pretvornici za mjerenje temperature - pretvornici koji promjenom temperature mijenjaju svoj otpor - **otpornički elementi** i **termistori**
- najpoznatiji primjer otporničkog elementa - **platinski termometar Pt100** (Pt – platina, 100 označava 100 Ω na 0 $^{\circ}\text{C}$) koji može mjeriti od -200 do 850 $^{\circ}\text{C}$
- izvedbe - vrlo tanka žica platine debljine 7-50 μm se namata na keramičko tijelo (zbog tanke žice osjetljivo na prekid) ili se tanki film platine nanosi na keramičku podlogu



Mjerenje temperature

- **termistori** - imaju za red veličine veći temperaturni koeficijent od otporničkih pretvornika (RTD), a može biti negativan (NTC - otpor pada s povećanjem temperature) ili pozitivan (PTC - otpor raste s povećanjem temperature)
- zbog vrlo strme nelinearne karakteristike $R(T)$ ne koriste se za mjerenje temperature nego kao element za zaštitu

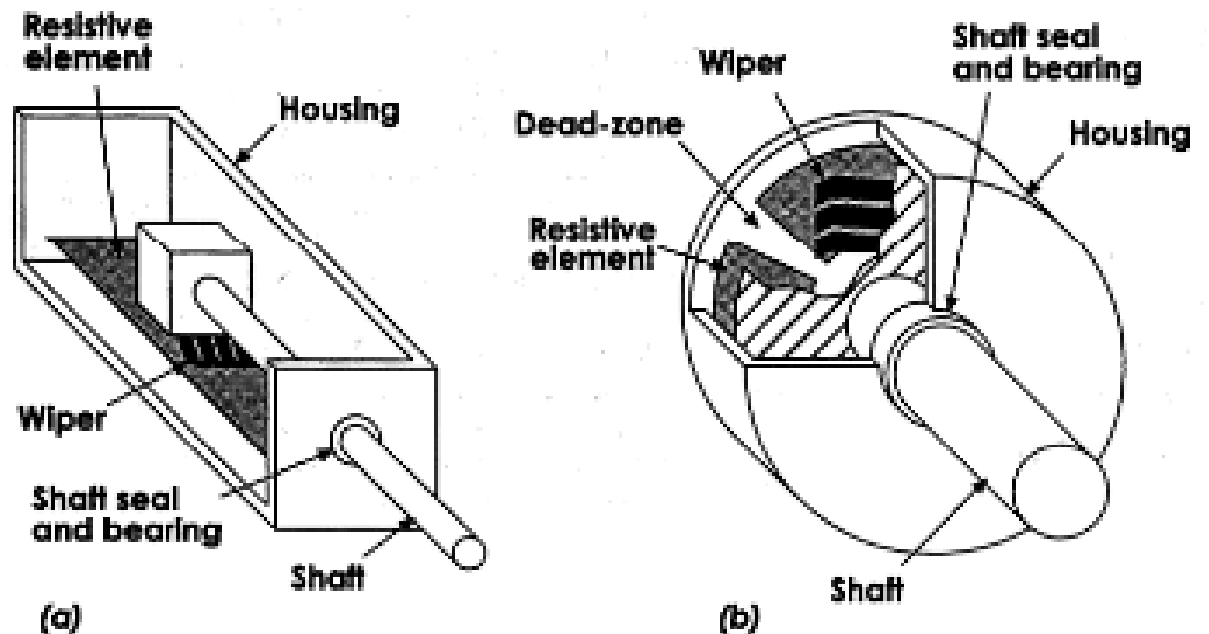


Mjerenje temperature

- **aktivni mjerni pretvornici temperature** - termoelektrični pretvornik ili termopar i piroelektrični senzor
- **termopar** je pretvornik koji na principu termoelektričnog efekta između dva metala generira napon proporcionalan temperaturi - zbog napona koji se generira, ovo je aktivni pretvornik kojem nije potrebno dodatno napajanje
- **piroelektrični senzor** - promjenom temperature piroelektrički materijal se polarizira, tj. na površini se javlja električki naboj
- za razliku od termopara kojem generirani napon ovisi o razlici temperature između dva kraja (DC senzor), piroelektrički senzor generira naboj samo kod promjene toplinskog toka (AC senzor)
- uobičajena izvedba - od dva serijski spojena senzora jedan je izložen toplinskom zračenju i prevučen crnom bojom radi bolje apsorpcije, dok je drugi zakriven od toplinskog zračenja i prevučen zlatom radi bolje refleksije toplinskog zračenja - serijski spoj dva senzora osigurava kompenzaciju promjena temperature okoline

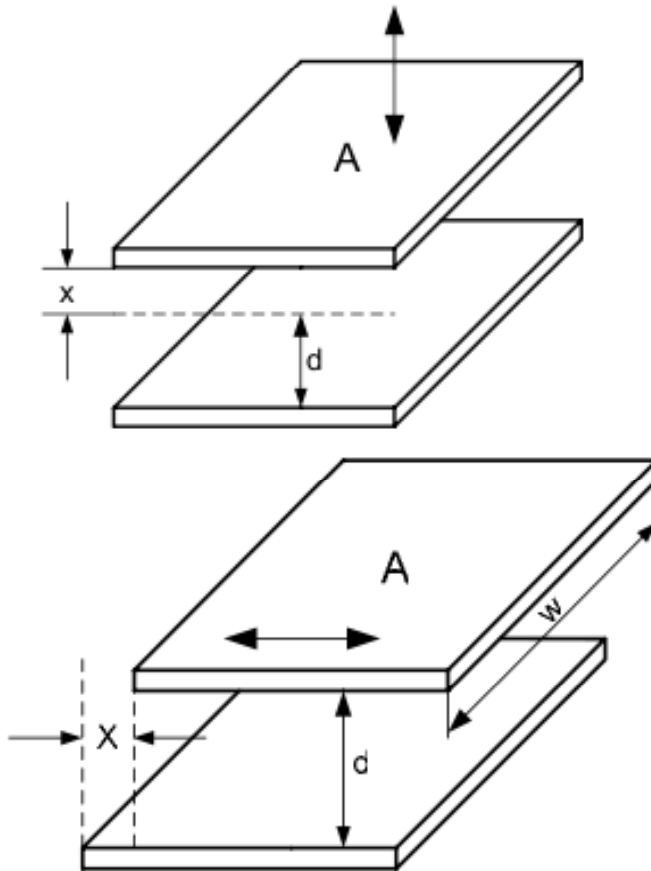
Mjerenje pomaka

- prema načinu izvedbi **pretvornici za mjerenje pomaka** dijele se na **otporničke**, kapacitivne, induktivne, magnetske, ultrazvučne, optičke i digitalne enkodere
- najjednostavniji mjerni pretvornici pomaka su pasivni pretvornici bazirani na promjeni otpora s pomakom koji rade kao potencijometri i mogu mjeriti linearni i kutni (rotacijski) pomak



Mjerenje pomaka

- kod **kapacitivnih pretvornika pomaka** mjeri se promjena kapaciteta s promjenom pomaka
- kako je kapacitet funkcija dielektrične konstante, površine ploča i udaljenosti ploča pretvornik se može izvesti da mijenja bilo koji od tih parametara s pomakom



$$C = \varepsilon_0 \varepsilon_r \frac{A}{d+x}$$

$$\frac{dC}{dx} = -\varepsilon_0 \varepsilon_r \frac{A}{x^2}$$

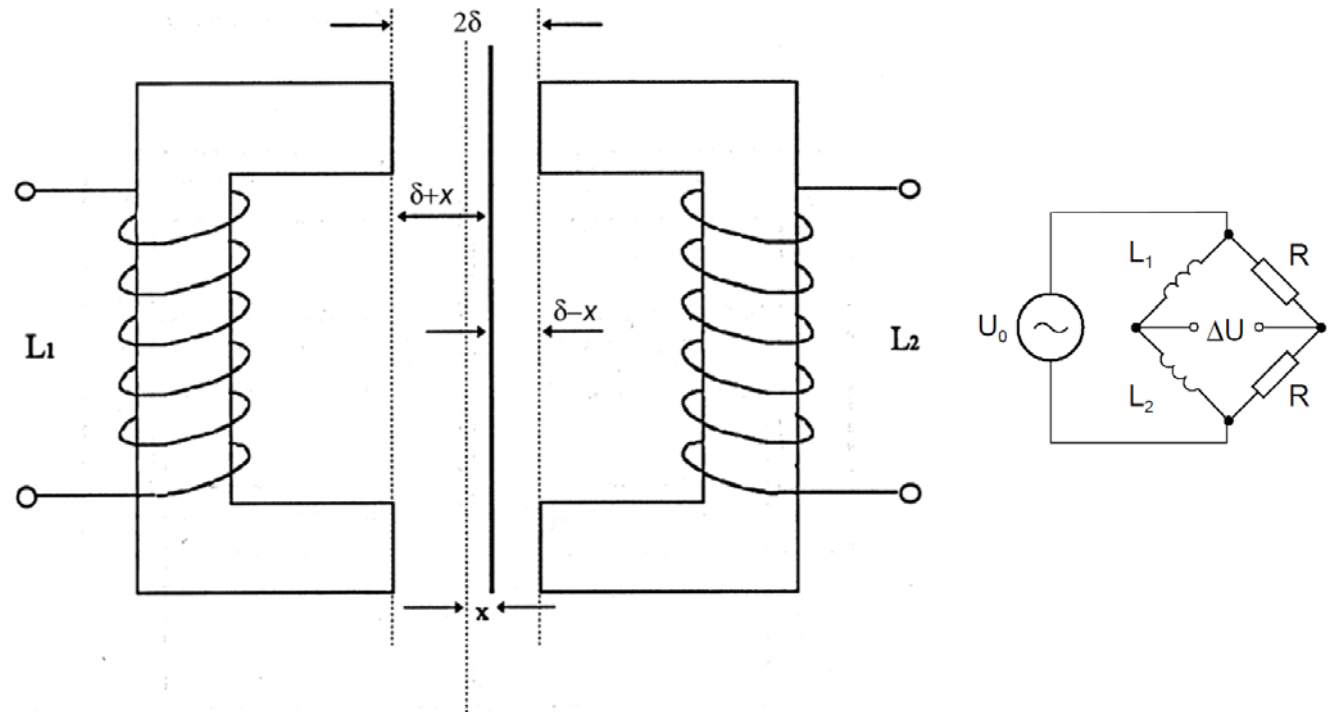
$$C = \varepsilon_0 \varepsilon_r \frac{A-wx}{d}$$

$$\frac{dC}{dx} = -\varepsilon_0 \varepsilon_r \frac{w}{d}$$

linearna ovisnost $C(x)$

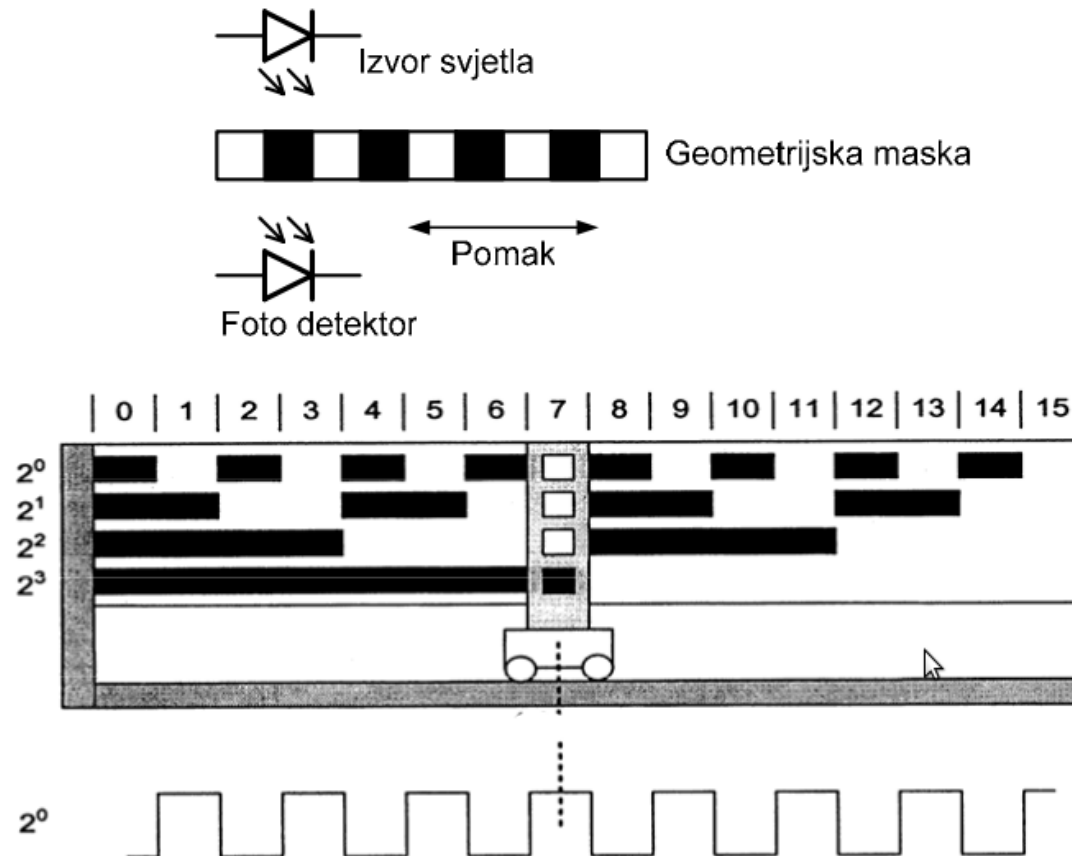
Mjerenje pomaka

- slično otporničkim i kapacitivnim pretvornicima, **induktivni pretvornici pomaka** rade na principu mjerenja promjene induktiviteta promjenom pomaka, npr. pomicanje feromagnetske jezgre transformatora zbog čega se mijenja induktivitet
- rad induktivnih pretvornika pomaka temelji se na ovisnosti induktiviteta svitka o promjeni magnetskog otpora - promjenom zračnog raspورا mijenja se otpor magnetskog kruga
- koriste se u industriji jer su robusni i kompaktni, manje osjetljivi na radne uvjete (vlaga, prašina) od kapacitivnih pretvornika



Mjerenje pomaka

- **apsolutni digitalni enkoder** za rotacijsko mjerenje pomaka funkcioniira na principu maske koja se postavlja između izvora svjetla i foto-detektora te se određuje položaj na principu binarnog koda

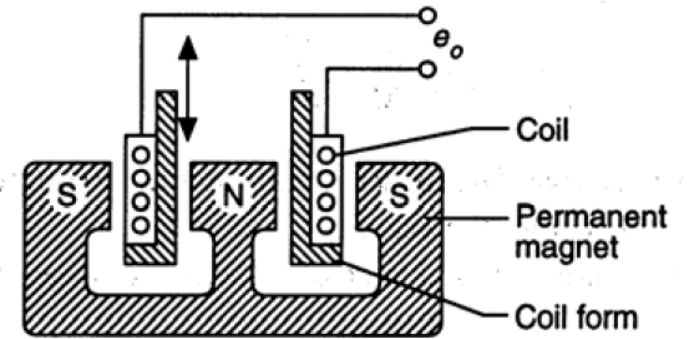


Mjerenje brzine

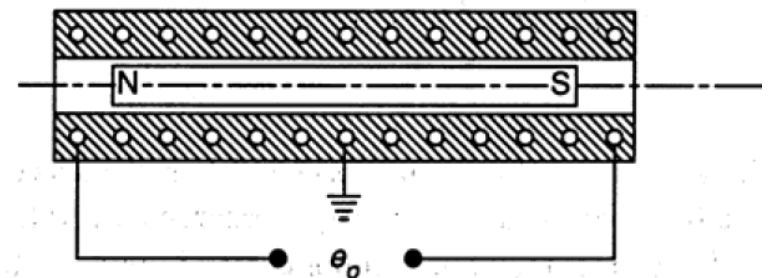
- za mjerenje brzine se često koriste **pretvornici pomaka - pretvornici za mjerenje linearne brzine**

- brzina se određuje kao derivacija pomaka, tj. promjena pomaka u vremenu - zbog relativnog pomaka permanentnog magneta i zavojnice generira se napon proporcionalan brzini pomaka

- za mjerenje kutne brzine koriste se **tahogeneratori** koji se rade kao istosmjerni ili izmjenični - mali električni strojevi koji generiraju napon (istosmjerni ili izmjenični) proporcionalan brzini vrtnje



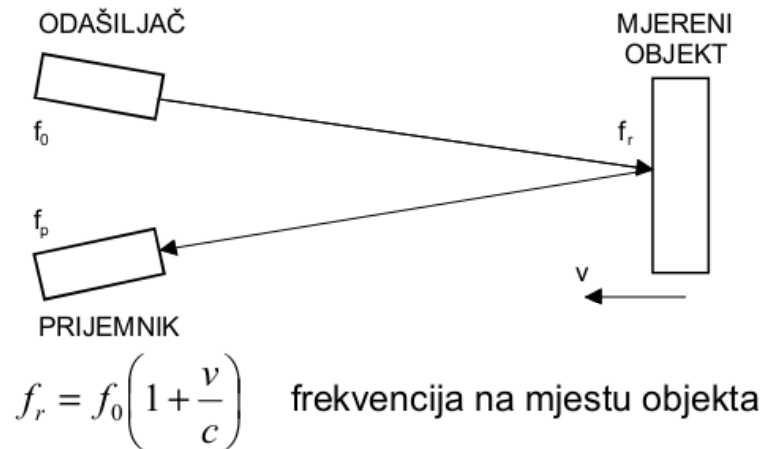
Moving Coil Type



Moving Magnet Type

Mjerenje brzine

- pretvornici za mjerenje linearne brzine **na principu Doplerovog efekta** - odašiljač šalje val određene frekvencije prema mjernom objektu i ako se objekt kreće određenom brzinom, prijemnik će primati val promijenjene frekvencije
- promjena frekvencije će biti proporcionalna promjeni brzine v
- na ovom principu rade klasični policijski radari za mjerenje brzine vozila koji emitiraju radio val



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

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

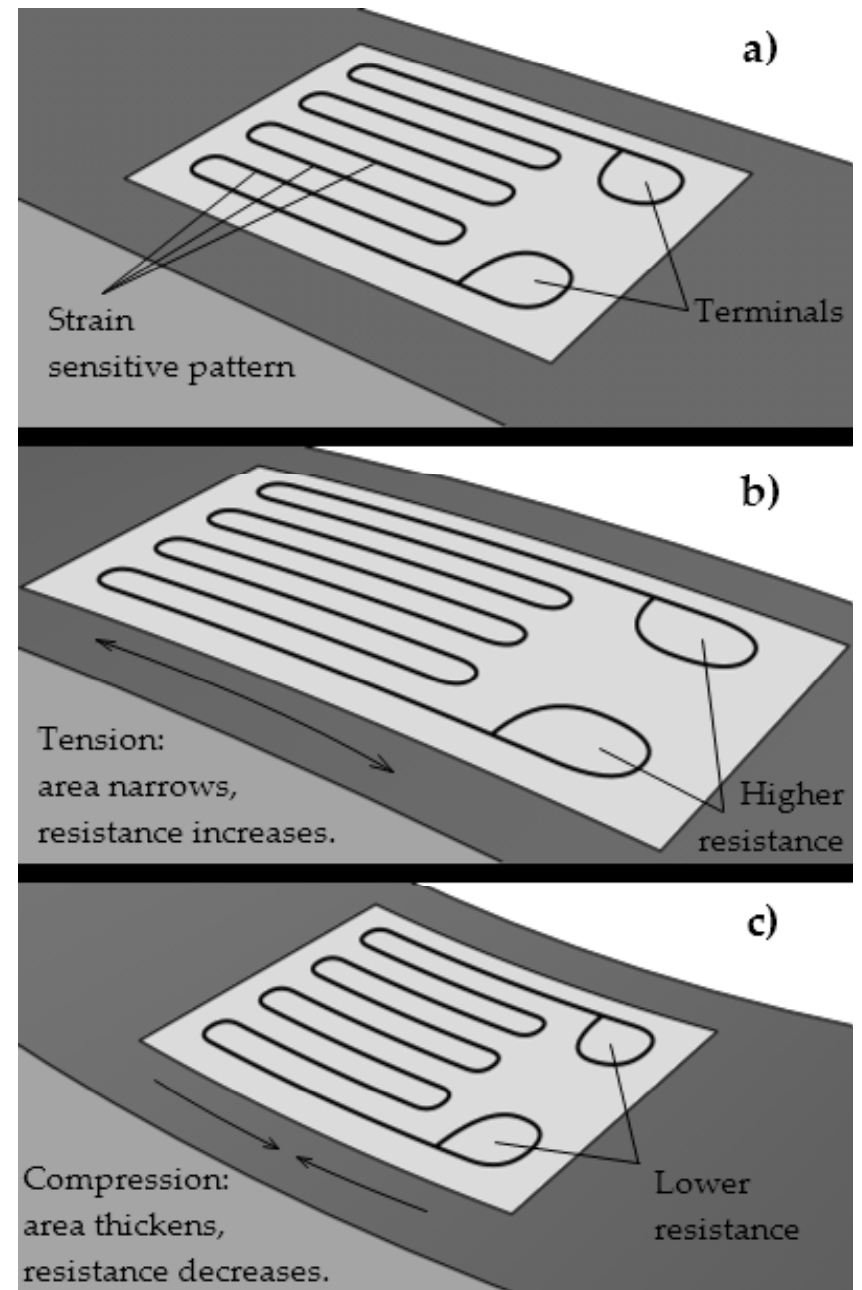
$$\Delta f = f_0 \frac{v}{c} \quad \Rightarrow \quad \Delta f \propto v \quad \text{promjena frekvencije proporcionalna je brzini}$$

Mjerenje ubrzanja

- za mjerenje akceleracije se koriste mjerni pretvornici zvani **akcelerometri** koji mogu mjeriti ubrzanje **na principu mjerenja pomaka** kojem je akceleracija proporcionalna
- **akcelerometri na principu piezoelektričnog efekta** mjere električnu energiju nastale iz tlaka koji djeluje na određene materijale (kristale)
- **akcelerometri** vrlo malih dimenzija izvedeni kao **MEMS** (micro electromechanical system) (akcelerometar u vrlo malenom čipu) - djelovanjem sile gravitacije kao općenito akceleracije na mikrosktruktore unutar sustava može se mjeriti akceleracija ili promjenom kapaciteta unutar mikrosktruktore ili generiranjem napona na mikroskopske strukture kristala - u sustavima okidanja zračnih jastuka u automobilima ili u upravljaču Nintendo Wii konzole

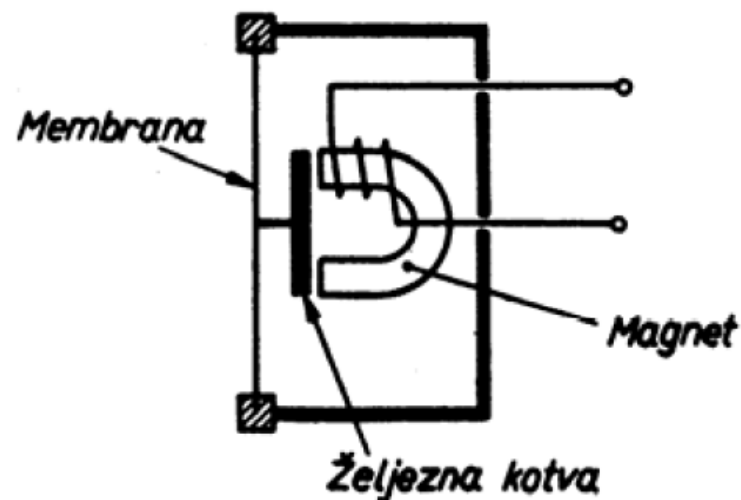
Mjerenje naprezanja i sile

- razne metode za mjerenje naprezanja, a jedna od njih je upotrebom **tenzometara** (strain gauge)
- tenzometri su pretvornici koji koriste svojstvo promjene otpora zbog promjene svojih dimenzija
- ovakvim pretvornicima se može mjeriti i sila
- sila se može mjeriti i pomoću **piezoelektričnih pretvornika** koji generiraju napon ako se na njih primjeni sila



Mjerenje tlaka

- mjerenje tlaka se u osnovi svodi na **mjerenje pomaka** osjetilnog elementa (membrana, mijeh, spiralna cijev...) koji se giba u ovisnosti o tlaku
- tlak se može mjeriti u odnosu na vakuum (**apsolutni tlak**), u odnosu na tlak okoline (**relativni tlak**) i u odnosu na neki drugi tlak (**diferencijalni tlak**)
- **mikrofoni** mjere razinu zvučnog tlaka, a po izvedbi mogu biti elektromagnetski, dinamički, kondenzatorski
- kod **elektromagnetskog mikrofona** promjena širine zračnog raspora uzrokuje promjenu magnetskog toka zbog promjene magnetskog otpora



Mjerenje tlaka

- dinamički mikrofon je najraširenija vrsta mikrofona
- kod **dinamičkog mikrofona** zavojnica se nalazi u zračnom rasporu permanentnog magneta pa se pri titranju u njoj inducira elektromotorna sila
- membrana **kondenzatorskog mikrofona** je metalna folija debljine 10-15 μm napeta između čvrste metalne protuelektrode na udaljenosti 10-20 μm
- akustički tlak mijenja razmak između ploča kondenzatora, a time i kapacitet

