

# Mjerni pretvornici- osobine, primjena i obrada signala

---

Čulo, Darko

Undergraduate thesis / Završni rad

2019

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:200:886817>

*Rights / Prava:* [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-02-23**

*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek](#)



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU  
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I  
INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA**

**Stručni studij**

**MJERNI PRETVORNICI  
osobnine, primjena i obrada signala**

**Završni rad**

**Darko Čulo**

**Osijek, 2019**

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA  
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK**Obrazac Z1S: Obrazac za imenovanje Povjerenstva za obranu završnog rada na preddiplomskom stručnom studiju**

Osijek, 23.09.2019.

Odboru za završne i diplomske ispite

**Imenovanje Povjerenstva za obranu završnog rada  
na preddiplomskom stručnom studiju**

<b>Ime i prezime studenta:</b>	Darko Čulo
<b>Studij, smjer:</b>	Preddiplomski stručni studij Elektrotehnika, smjer Elektroenergetika
<b>Mat. br. studenta, godina upisa:</b>	A3887, 23.09.2018.
<b>OIB studenta:</b>	22643481402
<b>Mentor:</b>	Dr.sc. Venco Ćorluka
<b>Sumentor:</b>	
<b>Sumentor iz tvrtke:</b>	
<b>Predsjednik Povjerenstva:</b>	Mr.sc. Dražen Dorić
<b>Član Povjerenstva:</b>	Dr. sc. Željko Špoljarić
<b>Naslov završnog rada:</b>	Mjerni pretvornici- osobine, primjena i obrada signala
<b>Znanstvena grana rada:</b>	<b>Elektroenergetika (zn. polje elektrotehnika)</b>
<b>Zadatak završnog rada</b>	Za mjerenje električnih i mehaničkih veličina koriste se mjerni pretvornici. U ovom radu treba navesti sve poznate mjerne pretvornike, opisati njihove osobine i karakteristike te primjenu. Opisati postupke i načine obrade signala. Na kraju provesti mjerenja na dostupnim pretvornicima, snimiti kalibracijsku krivulju i procijeniti pogrešku mjerenja
<b>Prijedlog ocjene pismenog dijela</b>	Dobar (3)
<b>Kratko obrazloženje ocjene prema Kriterijima za ocjenjivanje završnih i diplomskih radova:</b>	Primjena znanja stečenih na fakultetu: 2 bod/boda Postignuti rezultati u odnosu na složenost zadatka: 2 bod/boda Jasnoća pismenog izražavanja: 2 bod/boda Razina samostalnosti: 1 razina
<b>Datum prijedloga ocjene mentora:</b>	23.09.2019.
<i>Potpis mentora za predaju konačne verzije rada u Studentsku službu pri završetku studija:</i>	Potpis:
	Datum:

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA  
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA **OSIJEK****IZJAVA O ORIGINALNOSTI RADA**

Osijek, 26.09.2019.

**Ime i prezime studenta:**

Darko Čulo

**Studij:**Preddiplomski stručni studij Elektrotehnika, smjer  
Elektroenergetika**Mat. br. studenta, godina  
upisa:**

A3887, 23.09.2018.

**Ephorus podudaranje [%]:**

7%

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom: **Mjerni pretvornici- osobine, primjena i obrada signala**

izrađen pod vodstvom mentora Dr.sc. Venco Ćorluka

i sumentora

moj vlastiti rad i prema mom najboljem znanju ne sadrži prethodno objavljene ili neobjavljene pisane materijale drugih osoba, osim onih koji su izričito priznati navođenjem literature i drugih izvora informacija.

Izjavljujem da je intelektualni sadržaj navedenog rada proizvod mog vlastitog rada, osim u onom dijelu za koji mi je bila potrebna pomoć mentora, sumentora i drugih osoba, a što je izričito navedeno u radu.

Potpis studenta:

## Sadržaj

1.UVOD .....	1
2.KARAKTERISTIKE INSTRUMENTATA.....	1
2.1 Jednostavan model instrumenta .....	1
2.2 Pasivni i aktivni senzori .....	3
2.3. Kalibriranje .....	3
2.4. Izmjena i ometanje signala.....	4
2.5 Točnost i pogreške .....	5
3. STATIČKE I DINAMIČKE KARAKTERISTIKE MJERNIH PRETVORNIKA.....	6
3.1 Statičke karakteristike - Ulazni izlazni odnosi.....	8
3.2 Dinamičke karakteristike.....	10
3.2.2 Dinamički odziv mjernog pretvornika prvog reda .....	11
3.2.3 Dinamički odziv mjernog pretvornika drugog reda .....	11
4.FAKTORI TOČNOSTI SENZORA.....	12
4.1 Obrada rezultata mjerenja .....	12
4.2 Klasifikacija mjernih pogrešaka .....	17
5. SENZORI I OBRADA SIGNALA.....	18
5.1 Senzori, pretvarači specifikacija .....	18
4.2 Klasifikacija senzora .....	22
6. SENZORI POMAKA I POLOŽAJA.....	24
6.1.Senzori pomaka .....	24
6.1.1 Potenciometarski sensor .....	24
6.2 Senzor na bazi kapaciteta.....	27
6.3 Linearni varijabilni diferencijalni transformator (LVDT).....	28
7. SENZORI BLIZINE.....	29
7.1 Senzori blizine vrtložne struje .....	29
7.2 Induktivni blizinski prekidač .....	30
7.3 Optički enkodери .....	32
7.4 Pneumatski senzori.....	33
7.5 Hallov senzor .....	34
8.SENZORI ZA BRZINU, KRETANJE, SILU I PRITISAK .....	35
8.1 Tahogenerator .....	35

8.2 Piroelektrični senzori .....	36
8.3 Senzor sile .....	37
8.4 Tlak tekućine.....	38
8.5 Pizoelektrični sensor .....	38
9.SENZORI TEMPERATURE I SVJETLA.....	39
9.1 Bimetalne trake .....	39
9.2 Detektori temperature otpora (“Resistance temperature detectors”RTD) .....	40
9.3 Termistori .....	41
9.4 Senzori svjetla.....	42
9.5 Fotodiode .....	43
10. VJEŽBA MJERENJA STATIČKE KARAKTERISTIKE.....	44
10.1 Mjerenje temperature .....	45
10.2 Mjerenje pomaka.....	47
10.3 Mjerenje duljine .....	49
LITERATURA .....	51
ZAKLJUČAK .....	52
SAŽETAK.....	53
ABSTRACT .....	53
ŽIVOTOPIS.....	54

# 1.UVOD

Tema završnog rada su mjerni pretvornici osobine, primjena i obrada signala.

U završnom radu opisane su karakteristike mjernih instrumenta, podjela senzora, specifikacija te njihova primjena u praksi. Mjerne informacije imaju veliki značaj u tehničkim disciplinama jer sadrže kvalitativne vrijednosti pomoću kojih se procjenjuje stanje objekta istraživanja. Moderna mjerenja temelje se uglavnom na pretvaranju fizičkih veličina u električni signal. U novije vrijeme pojam senzor postao je uobičajen za ove uređaje.

Velika je raširenost upotrebe senzora od alatnih strojeva te njihovo nadgledanje, automobilska industrija, zrakoplovima, medicini, sigurnosti (otkrivanje metalnih predmeta, oružja i nagaznih mina), robotizacija, automatizacija, detektori provale, zagađenja, prerada hrane, proizvodnje tekstila, sportu.

Iz navedenog vidimo da su senzori dio naše svakodnevnice. Sa razvojem materijala i mikrotehnike te visokim stupnjem integracije komponenata i sposobnosti obrada informacija, možemo očekivati daljnji razvoj senzora u pogledu točnosti, osjetljivosti i pouzdanosti mjerenja.

Međutim mjerni pretvarači ili senzori nisu savršeni sustavi. Potrebno je znati sposobnost i nedostatak pretvarača kako bi pravilno procijenili njihovu izvedbu. O tome detaljnije je navedeno u području pogreške mjernih pretvornika.

Na kraju je odrađena vježba primjera senzora temperature, pomaka i duljine gdje sam ustanovio statističke karakteristike mjernih pretvornika te napravio statističku analizu istih.

## 2.KARAKTERISTIKE INSTRUMENATA

### Uvod:

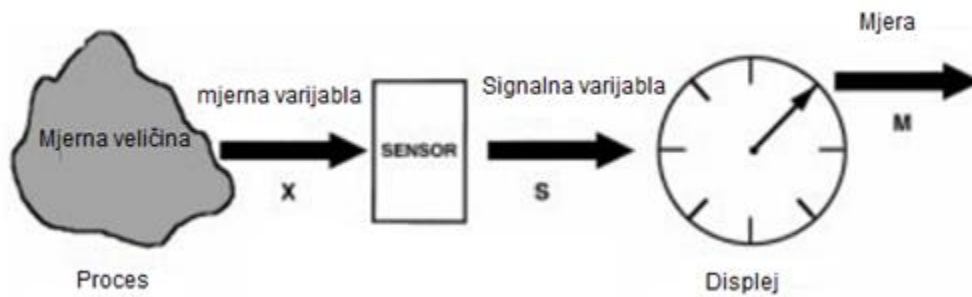
U rješavanju problema s mjerenjima korisno je imati konceptni model mjerenja. Apstraktno gledano, instrument je uređaj koji fizičku varijablu koja nas zanima (mjerilo) pretvara u oblik pogodan za snimanje (mjerenje). Da bi mjerenje imalo široko i dosljedno značenje, uobičajeno je koristiti standardni sustav jedinica pomoću kojeg se mjerenje iz jednog instrumenta može usporediti s mjerenjem drugog. Primjer osnovnog instrumenta je ravnalo. U ovom slučaju mjera je duljina nekog predmeta mjerenje je broj jedinica (metara, inča itd.) koji predstavljaju duljinu.

### 2.1 Jednostavan model instrumenta

Slika 2.1 prezentira generalizirani model jednostavnog instrumenta. Fizički postupak koji se mjeri je na lijevoj strani slike i mjernu veličinu prikazuje vidljiva fizička varijabla  $X$ . Imajte na umu da promatrana varijabla  $X$  ne mora nužno biti mjera, već jednostavno povezana s mjerenjem na neki poznati način. Na primjer, masa predmeta često se mjeri postupkom vaganja, gdje je masa mjera, ali fizička veličina mjerenja je sila koja djeluje u Zemljinom gravitacijskom polju. Postoji mnogo mogućih fizikalnih varijabli mjerenja. Nekoliko je prikazano u tablici 2.1.

Ključni funkcionalni element modela instrumenta prikazanog na slici 2.1 je senzor koji ima funkcija pretvaranja ulaza fizičke varijable u izlaz varijable signala. Signalne varijable imaju svojstvo kojim se može manipulirati u prijenosnom sustavu, poput električnog ili mehaničkog sklop. Zbog ovog svojstva varijabla signala može se prenijeti na izlazni uređaj ili uređaj za snimanje koji se mogu udaljiti od senzora. Napon je u električnim krugovima uobičajena varijabla signala. U mehaničkom sustavu, pomak ili sila obično se koriste kao varijable signala. Ostali primjeri za varijable signala prikazane su u tablici 2.1. Izlaz signala iz senzora može se prikazati, snimiti ili koristi se kao ulazni signal nekom sekundarnom uređaju ili sustavu. U osnovnom instrumentu se signal prenosi na prikazivački uređaj gdje mjerenje može očitati ljudski promatrač.



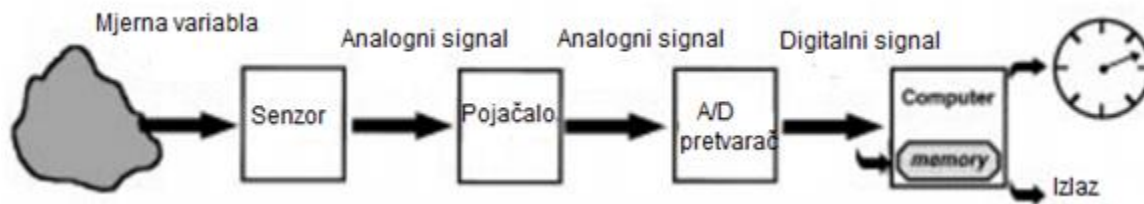


Sl. 2.1. Jednostavan model instrumenta [1]

Tablica 2.1. Prikaz fizikalnih i signalnih varijabli [1]

Uobičajene fizičke variable	Tipične signalne variable
-Sila	-Napon
-Udaljenost	-Struja
-Temperatura	-Pritisak
-Akceleracija	-Svjetlost
-Brzina	-Frekvencija
-Pritisak	-Sila
-Frekvencija	
-Kapacitet	
-Otpor	
-Vrijeme	

Ako je izlaz signala iz senzora mali, potrebno je pojačati prikazani izlaz na slici 2.2. Pojačani izlaz se tada može prenijeti na uređaj za prikaz ili snimiti, ovisno na određenu primjenu mjerenja. U mnogim je slučajevima je potrebno da instrument pruža digitalni signalni izlaz tako da se može sučeliti s računalnim podacima ili komunikacijskim sustavom. Ako senzor ne daje digitalni izlaz, tada se analogni izlaz senzora pretvara iz analognu u digitalni pretvarač (ADC) kao što je prikazano na slici 2.2. Digitalni signal je obično poslan računalnom procesoru koji može prikazati, pohraniti ili prenijeti podatke kao izlaz u neki drugi sustav, koji će koristiti mjerenje.



Sl. 2.2. Model instrumenta s pojačalom, pretvaračem i računalnim izlazom [1]

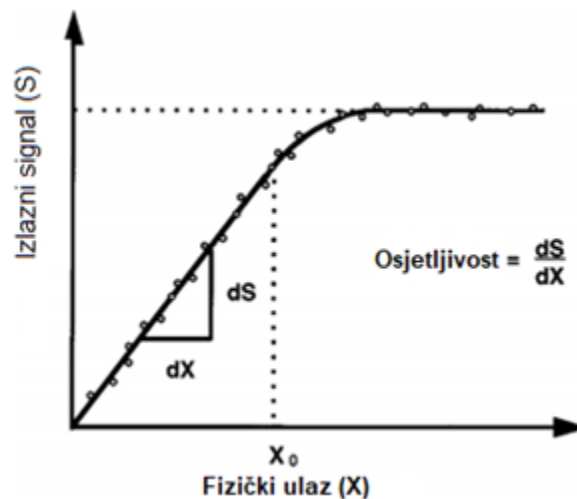
## 2.2 Pasivni i aktivni senzori

Senzori pretvaraju fizičke veličine u signalne veličine. Senzori su često pretvarači jer su to uređaji koji pretvaraju ulaznu energiju jednog oblika u izlaznu energiju drugog oblika. Senzori se mogu svrstati u dvije široke klase, ovisno o njihovoj interakciji s okolinom u kojoj je izvršeno mjerenje. Pasivni senzori ne dodaju energiju kao dio mjernog postupka, ali mogu ukloniti energije u njihovom radu. Jedan primjer pasivnog senzora je termoelement, koji pretvara temperaturu u naponski signal. U ovom slučaju, gradijent temperature u okolini stvara termoelektrični napon koji postaje varijabla signala.

Drugi pasivni pretvarač je mjerac tlaka gdje tlak koji se mjeri djeluje na mehanički sustav (dijafragma, aneroid ili Borden) koji pretvara silu tlaka u pomak, koji se može upotrijebiti kao signalna varijabla. Na primjer, pomicanje dijafragme može se prenijeti mehaničkim prijenosnim sustavom na pomicanje indikatorske igle na zaslonu mjerača.

Aktivni senzori dodaju energiju mjernom okolišu kao dio mjernog postupka. Primjer aktivnog senzora je radarski ili sonarni sustav, gdje se mjeri udaljenost do nekog objekta aktivnim odašiljanjem radio (radar) ili akustički (sonarni) val kako bi se odrazio neki objekt i mjeri njegov raspon od senzora.

## 2.3. Kalibriranje



Sl. 2.3.1. Primjer kalibracijske krivulje [1]

Odnos između ulazne varijable fizičke mjere i varijable signala (izlaza) za specifični senzor poznat je kao kalibracija senzora. Tipično, senzor se kalibrira davanjem poznatog fizičkog ulaza u sustav i snimanjem izlaza.

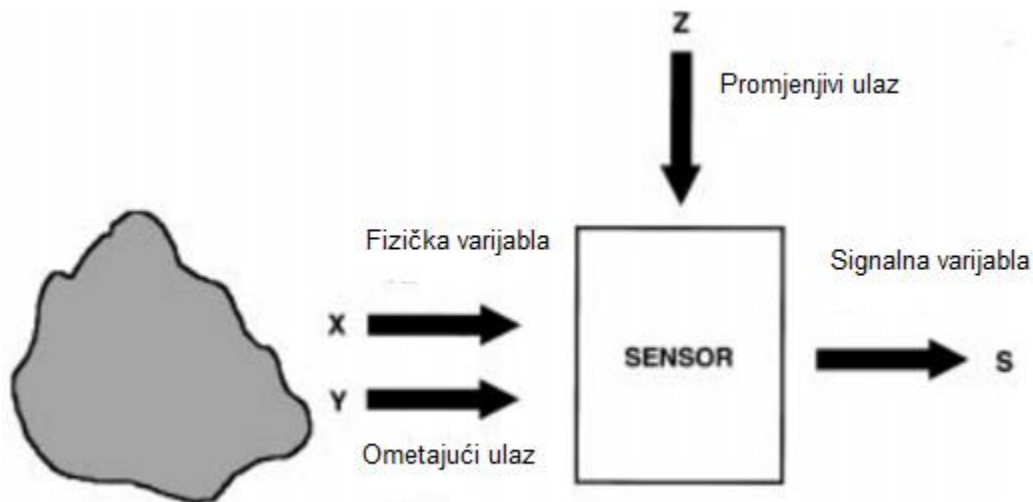
Podaci su prikazani na kalibracijskoj krivulji kao što je primjer prikazan na slici 2.3.1

Senzor ima linearni odziv za vrijednosti fizičkog ulaza manje od  $X_0$ . Osjetljivost uređaja je određena nagibom kalibracijske krivulje. U ovom su primjeru za vrijednosti fizičkog ulaza većeg nego  $X_0$ , kalibracijska krivulja postaje manje osjetljiva dok ne postigne graničnu vrijednost izlaznog signala.

Takvo se ponašanje naziva zasićenost i senzor se ne može koristiti za mjerenja veća od vrijednost njegove zasićenosti. U nekim slučajevima senzor neće reagirati na vrlo male vrijednosti fizičkog ulaza promjenjiva. Razlika između najmanjeg i najvećeg fizičkog ulaza koji se pouzdano može izmjeriti pomoću nekog instrumenta određuje dinamički raspon uređaja.

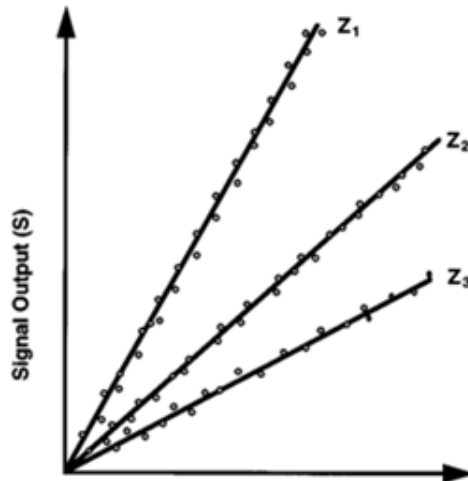
## 2.4. Izmjena i ometanje signala

U nekim slučajevima na izlaz senzora utjecat će i fizičke varijable koje nisu predviđene mjerenjem. Na slici 2.4.1 X je predviđena mjera, Y je interferirajući ulaz, a Z je modificirajući ulazni. Interferencijski ulaz Y uzrokuje da senzor reagira na isti način kao linearna superpozicija od Y i namjeravana mjera X. Izmjereni izlazni signal je, dakle, kombinacija X i Y, pri čemu Y ometa namjeravanu mjernu vrijednost X. Primjer ometajućeg unosa bi bio strukturne vibracije u sustavu za mjerenje sile.[1]



Sl.2.4.1. Ometajući signali [1]

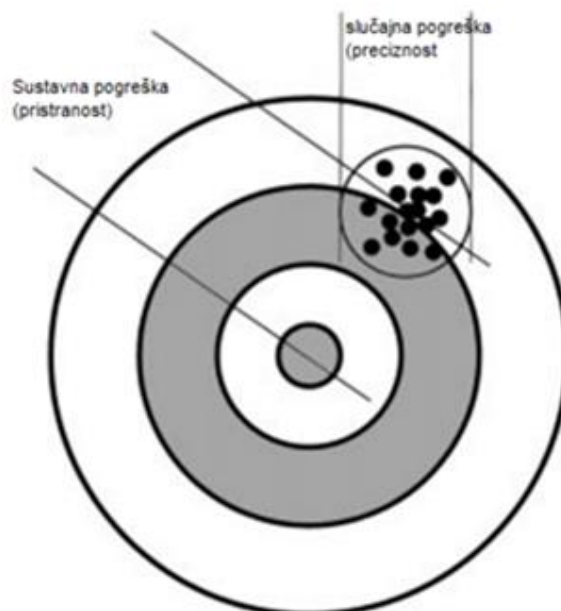
Promjena ulaza mijenja ponašanje senzora ili mjernog sustava, mijenjajući na taj način odnos ulaza / izlaza i kalibracija uređaja. To je shematski prikazano na slici 2.4.2. Za različite vrijednosti Z na slici 1.5, nagib kalibracijske krivulje se mijenja. Posljedično, mijenjanje Z rezultirat će promjenom prividnog mjerenja čak i ako fizička ulazna varijabla X ostane konstantna. Čest primjer modificirajućeg ulaza je temperatura; upravo iz tog razloga postoje mnogi uređaji koji se baždare na određenoj temperaturi.



SI.2.4.2. Ilustracija učinka modificirajućeg ulaza na kalibracijsku krivulju[1]

## 2.5 Točnost i pogreške

Točnost instrumenta definirana je kao razlika između prave vrijednosti mjerene i izmjerene vrijednosti navedene u instrumentu. Prava vrijednost se obično definira u odnosu na neke apsolutno ili dogovoreno prema standardu. Za svako pojedino mjerenje, postojat će pogreška zbog sustavnih (pristranosti) i slučajnih (buka) izvora pogrešaka. Kombinacija sustavne i slučajne pogreške može vizualizirati uzimajući u obzir analogiju cilja prikazanu na slici 2.5.1.



SI.2.5.1. Točnost mjerenja prikazana analogijom mete[1]

Ukupna pogreška u svakom kadru rezultat je sustavnih i slučajnih pogrešaka. Sustavna pogreške rezultira grupiranjem, meci se odmiču od središta mete (vjerojatno uzrokovano neusklađivanjem topovskog oružja ili vjetra). Veličina grupiranja se određuje slučajnim izvorima pogrešaka i mjera je preciznosti pucanja.

### **3. STATIČKE I DINAMIČKE KARAKTERISTIKE MJERNIH PRETVORNIKA**

#### **UVOD**

Mjerenje je postupak kojim se interpretiraju relevantni podaci o interesnom području koristeći sposobnost ljudskog razmišljanja da definiira ono što se vjeruje kao novo stečeno znanje. Ove informacije se mogu dobiti u svrhu kontrole ponašanja sustava (kao što je to slučaj sa inženjeringom aplikacije) ili za učenje o tome više (znanstvenim istraživanjima). Osnovni pojam potreban za razvijanje znanja naziva se podaci, a dobiva se fizičkim sklopovi poznati kao senzori koji se koriste za promatranje sustava. Informacije o uvjetima se često upotrebljava naizmjenično za opisivanje subjekta koji nastaje nakon podataka iz jednog ili obrađeno je više senzora da bi se dobilo smislenije razumijevanje.

Najkorišteniji način promatranja je upotreba ljudskih osjetila vida, osjećaja i sluha. To je često sasvim odgovarajuće ili je jedino moguće sredstvo. Međutim, u mnogim slučajevima koriste se senzori koje je čovjek osmislio da poboljšaju ili zamijene naše prirodne senzore. Izbor i raznolikost senzora su doista vrlo veliki. Primjeri umjetnih senzora su oni koji se koriste za mjerenje temperature, tlaka ili duljine. Proces očitavanja senzora često se naziva pretvorbom, a vrši se pomoću pretvarača. Ovi sklopovi umjetnih senzora, u kombinaciji sa sredstvima za obradu podataka, općenito su poznate kao (mjerna) instrumentacija.

Stupanj savršenstva mjerenja može se odrediti samo ako se cilj mjerenja može definirati bez pogreške. Instrumenti nisu potpuno pouzdani. Iz ova dva razloga, mjerni instrumenti ne mogu dati idealne senzorske performanse. Oni se moraju odabrati tako da odgovaraju dopuštenoj pogrešci u određenoj situaciji.

Mjerenje je proces razmatranja stvarno nastalih varijabli u ekvivalentne vrijednosti. Ono što dobijemo kao rezultat mjerenja nije točno ono što se mjeri. Odstupanja mjerenja nazivaju se pogreškama. Dopuštena je određena količina pogreške pod uvjetom da je ispod razine tolerancije koju u određenoj situaciji možemo prihvatiti.

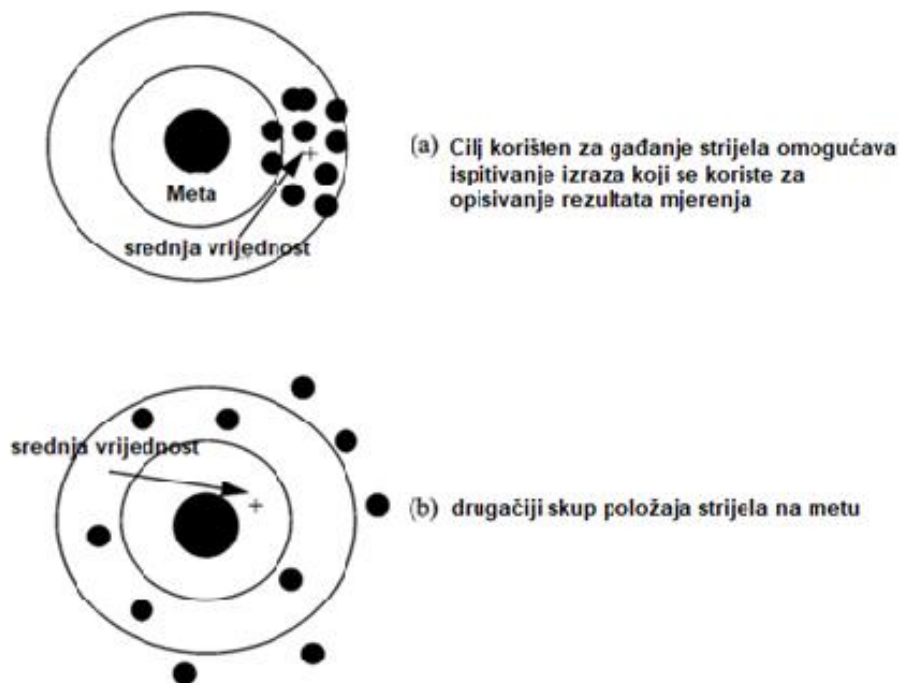
Često bilježimo vrijednosti mjerenja kao da su konstantni entiteti, ali se obično mijenjaju kako vrijeme prolazi. Ove „dinamičke“ varijacije pojavit će se ili kao promjene iznosa rezultata ili gdje je mjernom instrumentu potrebno vrijeme da bi se pratile promjene rezultata.

Prije nego što smo mogli dublje ući u statičke i dinamičke karakteristike, neophodno je razumijevanje razlike u značenju između nekoliko osnovnih pojmova koji se koriste za opisivanje rezultata mjerne aktivnosti.

Ispravni izrazi za upotrebu utvrđeni su u dokumentima koji se nazivaju standardima. Ustanovit će se da su knjige o instrumentaciji i izjave o performansama instrumenta često koriste izraze na različite načine. Korisnici mjernih podataka trebaju biti stalno pažljivi u osiguravanju ispravne interpretacije iznesenih izjava.

Tri popratna koncepta mjerenja koja je potrebno dobro razumjeti su diskriminacija, preciznost i točnost. Oni se prečesto koriste naizmjenično - što je sasvim pogrešno jer oni pokrivaju sasvim drugačije pojmove. Prilikom mjerenja najmanji priraštaj koji se može razabrati naziva se diskriminacijom. Diskriminacija mjerenja govori je senzor sposoban osjetiti dovoljno fine promjene mjere. Iako je diskriminacija zadovoljavajuća, vrijednost dobivena ponovljenim mjerenjem rijetko će se dogoditi da daju točno istu vrijednost svaki put kada se vrši isto mjerenje u uvjetima konstantne vrijednosti mjere. To je zato što u stvarnim sustavima nastaju pogreške. Širenje dobivenih vrijednosti ukazuje na preciznost skupa mjerenja. Riječ preciznost nije riječ koja opisuje kvalitetu oznake mjerenja i pogrešno se koristi kao takvo. Ovdje se koriste dva pojma: ponovljivost, koja opisuje varijaciju za skup mjerenja izvršenih u vrlo kratkom razdoblju; i obnovljivost, što je isti koncept, ali sad se koristi za mjerenja napravljena tijekom dugog razdoblja. Kao ovi uvjeti opisuju ishod skupa vrijednosti, treba imati mogućnost čitanja jedne vrijednosti za opisivanje vrijednosti ukupnog rezultata seta. To se provodi pomoću statističkih metoda. Točnost mjerenja je blizina nekog mjerenja prema vrijednosti koja je definirana kao istinska vrijednost.

Razmotrimo zatim situaciju strijelca koji je pucao strelice u cilj kao što je prikazano na slici. Cilj ima središnju točku, za savršen rezultat je pogoditi sve strelice u središte. Prstenovi oko mete omogućuju nam da postavimo numeričke mjere manje savršenog pogodka



SI.3.1. Setovi gađanja strijela u metu[1]

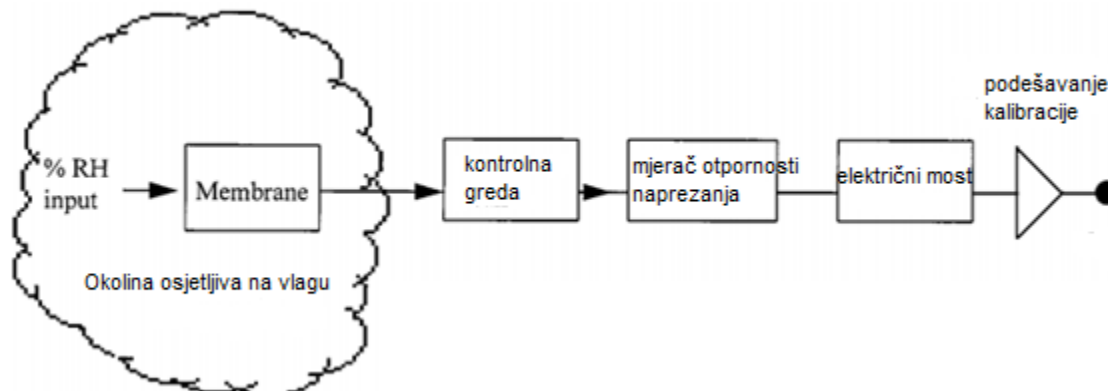
**Diskriminacija** je udaljenost na kojoj možemo samo razlikovati (tj. Diskriminirati) položaj jedna strelica od druge kad su vrlo blizu. Za strelicu odlučuje debljina rupe diskriminacija. Dva bliska položaja dvije strelice na slici 3.1 (a) ne mogu se lako razdvojiti. Upotreba tanjih strelica omogućila bi odlučivanje o sitnijim detaljima.

**Ponovljivost** se određuje mjerenjem širenja vrijednosti niza strijelca ispaljenih u cilj u kratkom periodu. Što je manji razmak, točniji je strijelac. Strijelac na slici 3.1 (a) precizniji je od strijelca na slici 3.1 (b). Ako se strijelac tijekom dugog perioda vraćao pucati svaki dan, rezultati možda neće biti isti rezultatu napravljeno u kratkom periodu. Srednja vrijednost i varijanca vrijednosti danas se nazivaju vrijednosti obnovljivost izvedbe strijelca.

**Točnost** je broj koji opisuje koliko je srednja (prosječna) vrijednost pogodaka s obzirom na položaj mete. Skup na slici 3.1 (b) je precizniji od vrijednosti postavljeno na slici 3.1 (a), jer je prosjek bliži središtu mete (ali manje precizan!).

Na prvi pogled može se činiti da tri koncepta diskriminacije, preciznosti i točnosti imaju svojstvo strogi odnos u tome je bolje mjerenje uvijek ono sa sva tri aspekta koja je postignuta najviše pristupačne. Ovo nije tako. Moraju ih postaviti tako da odgovaraju potrebama aplikacije. Sada smo u mogućnosti istražiti uobičajene pojmove koji se koriste za opisivanje statičke i dinamičke performanse mjernih instrumenata.

### 3.1 Statičke karakteristike - Ulazni izlazni odnosi



SI.3.1.1. Blokovski primjer jedne vrste senzora vlažnosti[1]

Instrumentni sustavi obično su izgrađeni od serijske veze blokova. Možemo ih raščlaniti na reprezentativni dijagram povezanih blokova. Na slici je prikazan blok dijagram senzora vlažnosti. Senzor se aktivira ulaznim fizičkim parametrom i pruža izlazni signal sljedećem bloku koji obrađuje signal u prikladnije oblik. Svi signali imaju vremensku karakteristiku, tako da moramo uzeti u obzir ponašanje bloka u pojmovima i statičkog i dinamičkog stanja.

Ponašanje samog statičkog režima i kombiniranog statičkog i dinamičkog režima može se naći primjenom odgovarajućeg matematičkog modela svakog bloka. Matematički opis sustava odgovora je lako postaviti i koristiti ako svi elementi djeluju kao linearni sustavi. Ako nelinearnost postoji u elementima, to i postaje znatno teže pružiti lako slijediti matematičko objašnjenje.

Omjer izlaza i ulaza cijelog kaskadnog lanca blokova 1, 2, 3, itd. Dan je kao:

$$\left[ \frac{\text{izlaz}}{\text{ulaz}} \right]_{uk} = \left[ \frac{\text{izlaz}}{\text{ulaz}} \right]_1 * \left[ \frac{\text{izlaz}}{\text{ulaz}} \right]_2 * \left[ \frac{\text{izlaz}}{\text{ulaz}} \right]_3 * \dots \quad (3-1)$$

Omjer izlaza i ulaza bloka koji uključuje i statičke i dinamičke karakteristike poznat je kao prijenosna funkcija G.

$$G_{uk} = G_1 * G_2 * G_3 * \dots \quad (3-2)$$

Jednadžba za G može se napisati kao umnožak dva dijela. Jedan izražava statičko ponašanje bloka, to jest vrijednost koju imaju nakon što su se svi prolazni (vremenski različiti) efekti stali na njihov konačni položaj. Drugi dio nam govori kako ta vrijednost reagira kada je blok u svom dinamičnom stanju. Statički dio je poznat kao prijenosna karakteristika i često je sve što treba biti poznato za opis bloka.

Primjer:

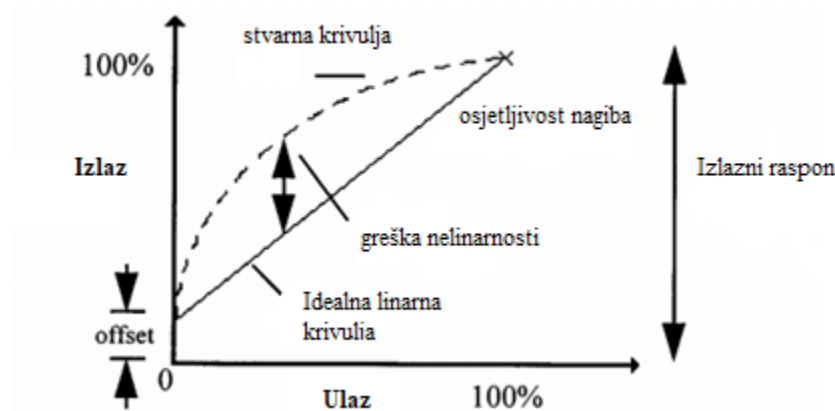
Stakleni termometar sa živom postavljen je u usta pacijenta. Indikacija se polako diže duž staklene cijevi dok postigla konačna vrijednost, tjelesnu temperaturu osobe. Polagani porast koji se vidi na indikaciji posljedica je vremena koje je potrebno da se živa zagrije i proširi u cijevi. Statička osjetljivost izražit će se u toliko mnogobrojnih podjela po stupnju.

Dinamička karakteristika će biti vremenski različita funkcija koja se smješta do jedinstva nakon što su se prijelazni učinci smirili. Potrebno je pričekati dovoljno dugo prije nego što napravimo očitavanje, kako se nebi uzela kriva vrijednost prije završetka prijelaznog razdoblja.

Ako je senzor prva dio lanca, statička vrijednost pojačanja za taj dio naziva se osjetljivost. Ako senzor nije na ulazu, on je pojačalo signala. Ponekad se trenutna vrijednost signala brzo mijenja, ali ipak je aspekt mjerenja statičan. To se događa kada se koriste izmjenični signali u nekim oblicima instrumentacije gdje amplituda ima valni oblik.

Osjetljivost se može utvrditi na osnovu ulaznih i izlaznih signala, pri čemu je to nagib na grafu. Takav graf, govori mnogo o statičkom ponašanju bloka. Vrijednost presretanja na osi y je odstupna vrijednost na izlazu kada je ulazni signal postavljen na nulu. Kompenzacija obično nije željena situacija i smatra se količinom pogreške. Tamo gdje je namjerno postavljeno, zove se pristranost. Raspon na osi x, od nule do sigurnog maksimuma za upotrebu, naziva se izlazna vrijednost izražena kao zona između 0% i 100% vrijednosti.





Sl.3.1.2. Graf linearne statičke karakteristike[1]

## 3.2 Dinamičke karakteristike

Mjerni sustavi koji imaju ulazne dinamičke karakteristike, ulaz im varira od trenutka do trenutka, kao i izlaz. Ponašanje sustava u takvim uvjetima upravlja se dinamičkim odzivom sustava, a njegove dinamičke karakteristike električnih mjernih instrumenata su podijeljene na:

**1. Dinamičke pogreške** su razlika stvarne vrijednosti veličine koja se mijenja s vremenom kada je vrijednost naznačena instrumentom, pod uvjetom da je statička greška jednaka nuli. Ukupna dinamička pogreška je fazna razlika između ulaza i izlaza mjernog sustava.

**2. Vjernost** je sposobnost sustava da reproducira izlaz u istom obliku kao i ulaz. U definiciji vjernost nije uključeno vremensko odstupanje ili fazna razlika. Idealan bi sustav trebao imati 100% vjernosti, a izlaz bi trebao biti isti oblik kao ulaz i ne postoji nikakva distorzija proizvedena od strane sustava. Potrebe vjernosti su različite za različite primjene.

**3. Mjerni zasto**j se definira kao kašnjenje reakcije instrumenata na promjenu u mjeri. Taj zaostatak obično prilično mali, ali postaje vrlo značajan tamo gdje su potrebna mjerenja velike brzine.

Mjerno zaostajanje ima dvije vrste. Kod tipa retardacije, reakcija instrumenta započinje odmah nakon što je došlo do promjene mjere. Kod vremenskog odgađanja, odgovor sustava počinje nakon mrtve zone nakon primjene ulaza.

**4. Vrijeme odaziva** odnosi se na njegovu sposobnost reakcije na nagle promjene amplitude ulaznog signala. Obično se specificira kao vrijeme potrebno sustavu da dođe u ustaljeno stanje. Stoga se brzina odziva promjenjuje iz poznavanja performansi sustava pod privremenim uvjetima.

### 3.2.2 Dinamički odziv mjernog pretvornika prvog reda

Mjerni pretvornici čiji se dinamički opis može prikazati pomoću obične linearne diferencijalne jednačbe I reda nazivaju se mjerni pretvornici I reda. Takva jednačba ima oblik:

$$a_1 \frac{dy}{dt} + a_0 y = b_0 x \quad (3-1)$$

Tom jednačbom može se opisati vladanje staklenog kapljevinskog termometra.

Jednačba dijelimo s  $a_0$  i prikazujemo u obliku:

$$\frac{dy}{dt} + y = kx \quad (3-2)$$

Gdje se  $\tau = \frac{a_1}{a_0}$  naziva vremenska konstanta, a  $K = \frac{b_0}{a_0}$  statička osjetljivost.

### 3.2.3 Dinamički odziv mjernog pretvornika drugog reda

Mjerni pretvornici čiji se dinamički opis može opisati linearnom diferencijalnom jednačbom drugog reda nazivaju se mjerni pretvornici II reda. Takva jednačba ima oblik:

$$a_2 \frac{d^2y}{dt^2} + a_1 \frac{dy}{dt} + a_0 y = b_0 x \quad (3-3)$$

Takvom jednačbom mogu se opisati mjerni pretvornici sa dodatnim zaostajanjem, u kojima su pojedini mehanički dijelovi ili tekućina izloženi ubrzanju.

Jednačba (1.3) se podijeli s  $a_0$  i prikazuje u ovom obliku:

$$\frac{1}{\omega_n^2} \cdot \frac{d^2y}{dt^2} + \frac{2\xi}{\omega_n} \frac{dy}{dt} + y = kx \quad (3-4)$$

Gdje je:

$$K = \frac{b_0}{a_0} \quad \text{– statička osjetljivost,}$$

$$\omega_n = \sqrt{\frac{a_0}{a_2}} \quad \text{– neprigušena frekvencija prirodnog titranja,}$$

$$\xi = \frac{a_1}{2\sqrt{a_0 a_2}} \quad \text{– koeficijent prigušenja,}$$

$a_0, a_1, a_2$  i  $b_0$  – konstante karakteristične za određeni mjerni pretvornik

## 4.FAKTORI TOČNOSTI SENZORA

-**Statička pogreška** je definirana kao razlika između izmjerene vrijednosti i stvarne vrijednosti mjerne veličine. Prava vrijednost je točna vrijednost mjerenja koju je nemoguće dobiti. Stoga treba uzeti u obzir približnu vrijednost mjerenja.

-**Dinamička pogreška** je razlika između prave vrijednosti mjerne veličine koja se mijenja s vremenom i vrijednosti naznačene mjernim sustavom ako se ne pretpostavlja statička greška. Također se naziva pogreška mjerenja.

-**Ponovljivost** je stupanj bliskosti s kojim se može dana vrijednost iznova mjeriti u istim mjernim uvjetima. Navodi se u smislu očitavanja vrijednosti tijekom određenog razdoblja.

-**Mrtvo vrijeme** predstavlja vrijeme koje je potrebno senzoru da iskaže promjenu mjerne veličine od trenutka promjene do prikaza na senzoru. On je nepoželjan u brzim procesima.

-**Mrtva zona** najveća promjena mjerene veličine, a da se ne promjeni izlazni signal iz senzora.

-**Vrijeme odziva** možemo definirati kao vrijeme potrebno da se senzor promijeni iz svoga prethodnog stanja u konačnu ustaljenu vrijednost unutar raspona tolerancije ispravne nove vrijednosti.

### 4.1 Obrada rezultata mjerenja

#### Pouzdanost senzora

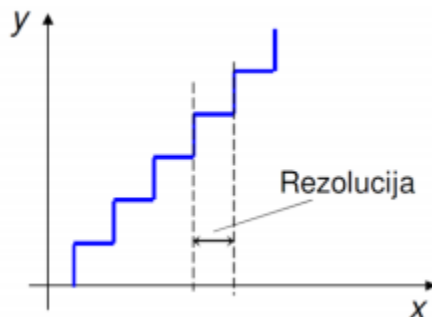
Linearnost senzora je definirana kao maksimalno odstupanje stvarne izmjerene fizikalne veličine od idealne krivulje, izražene u postocima nelinearnosti.



Sl.4.1.1. Nelinearnost senzora[2]

## Rezolucija mjerenja

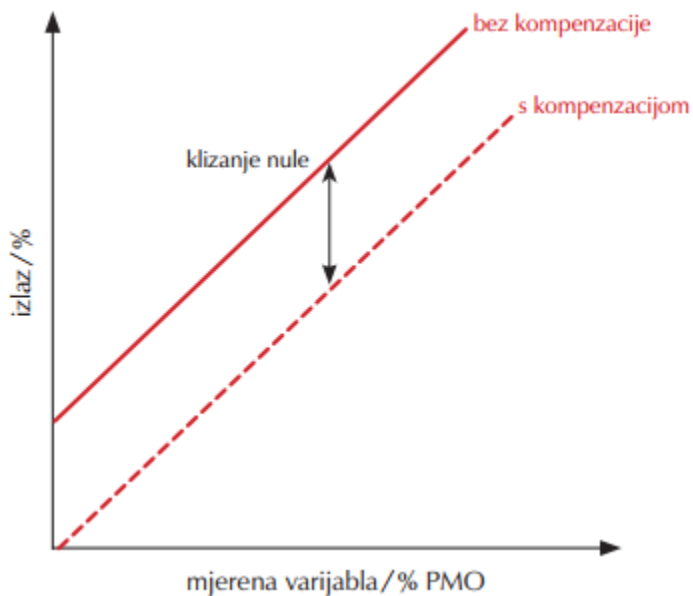
Predstavlja najmanju promjenu ulaznog parametra koji se može otkriti u izlaznom signalu. Rezolucija se može izraziti u omjeru čitanja ili u apsolutnom iznosu.



SI.4.1.2. Rezolucija mjerenja[2]

## Pomak senzora (offset)

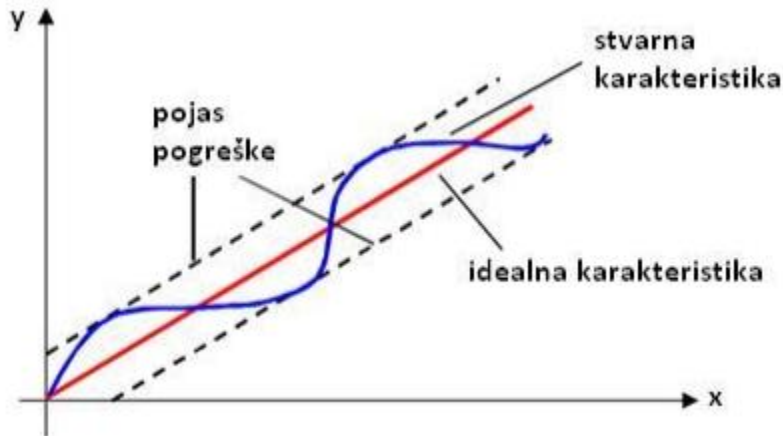
Je pogreška pomaka pretvarača. Definiira se kao izlaz koji će postojati kada bi trebao biti jednak nuli. Na primjer, svjetlosni senzori još mogu prikazati neki izlazni signal u potpuno tamnoj prostoriji. Ta vrijednost predstavlja offset.



SI.4.1.3. "Autozero" funkcija za kompenziranje klizanja nule[3]

## Točnost senzora

Je maksimalna razlika koja će postojati između stvarne vrijednosti i naznačene vrijednosti na izlazu senzora. Točnost se može izraziti kao postotak pune skale ili u apsolutnom iznosu.



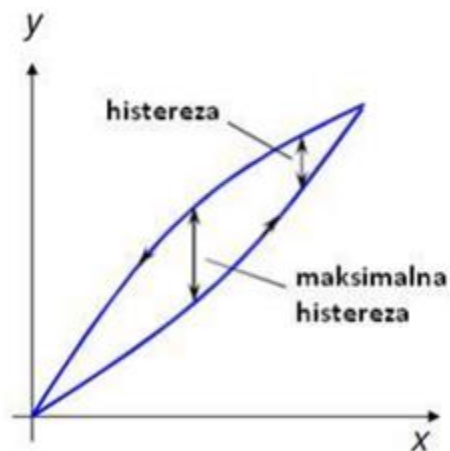
Sl.4.1.4. Prikaz odstupanja od pripadne vrijednosti[2]

## Starenje senzora

Javlja se uslijed dugo trajnog korištenja senzora; obično označava sporu degradaciju svojstava senzora tijekom životnog vijeka elemenata senzora. Primjer: promjena konstante krutosti opruge [2]

## Histerezna pogreška

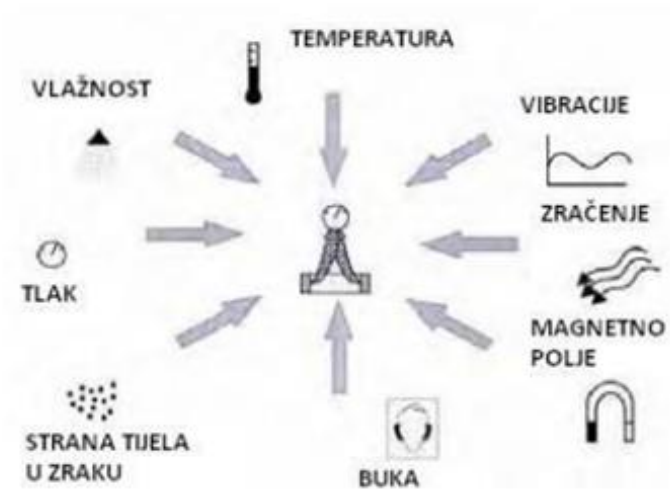
Histereza pogreška nastaje kada se instrument podvrgne ponovljenom mjerenju ulazne vrijednosti pod sličnim uvjetima, opažamo da učinci nekog djelovanja kasne u odnosu na to djelovanje.



Sl.4.1.6. Grafički prikaz histereze[2]

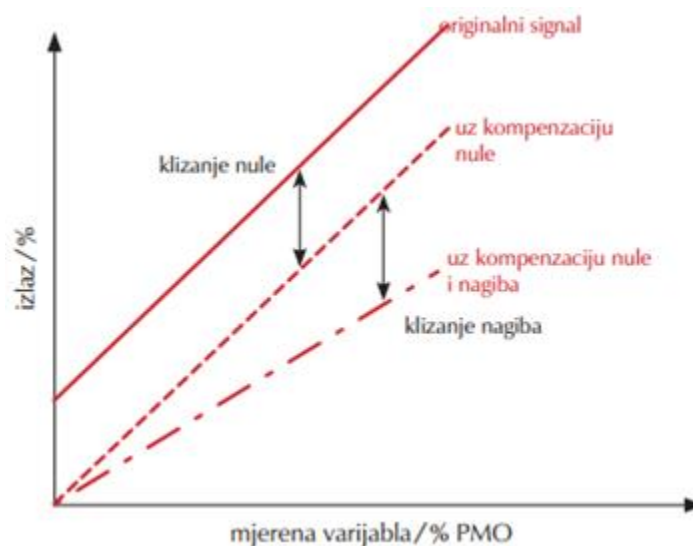
## Utjecaj okoline

Prostor u kojem vršimo mjerenje ima utjecaj na sam predmet mjerenja, izvođača mjerenja i na mjernu opremu koja se koristi za proces mjerenja. Ti utjecaji mijenjaju karakteristike mjernog predmet. Na slici su prikazani izvori utjeaja okoline na točnost mjerenja.



SI.4.1.7. Utjecaj okoline na točnost mjerenja[2]

**Kliranje nagiba** ili pogreška pojačanja (engl. Gain error) je razlika u nagibu stvarne karakteristike i prave (idealne) karakteristike mjernog pretvornika.[3]



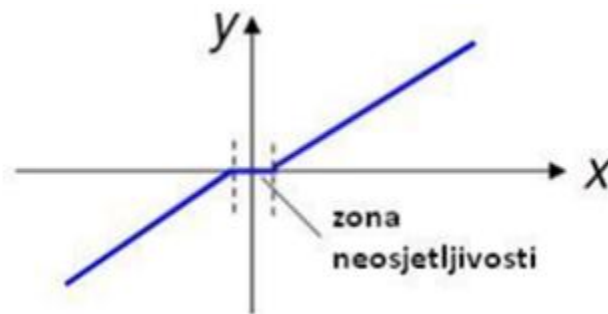
SI.4.1.8. Kompenziranje kliranja nule i nagiba[3]

## Osjetljivost

Je minimalna vrijednost ulaznog parametra koji može stvoriti prepoznatljivu izlaznu promjenu. U nekim sensorima osjetljivost se definira kao promjena ulaznog parametra potrebna za dobivanje standardizirane promjene na izlazu. U drugima se definira kao promjena izlaznog napona na datu promjenu ulaznog parametra.

## Zona neosjetljivosti (dead-band)

Definira se kao raspon različitih ulaznih vrijednosti nad kojima nema promjene izlazne vrijednosti.



Sl.4.1.9. Zona neosjetljivosti senzora „Dead band“ [2]

## 4.2 Klasifikacija mjernih pogrešaka

Tablica 4.2.1. Podjela mjernih pogrešaka [2]

	vrste pogrešaka	karakter pogrešaka
1.	grube pogreške	determinističke velikog iznosa
2.	sistemske pogreške	determinističke najčešće malog iznosa
3.	slučajne pogreške	stohastičke najčešće malog iznosa

**Grube pogreške** nastaju zbog pogreške u korištenju instrumenata, izračunavanju rezultata mjerenja ili bilježenju podataka. Primjer grube pogreške je očitavanje položaja otklona instrumenta na krivoj mjernoj skali. Rezultati s ovakvim pogreškama vidljivo odudaraju od ostalih, ako je učinjeno više mjerenja. Njih se isključuje iz analize.

**Sistemske pogreške** su razvrstane u tri kategorije: pogreške instrumenata, utjecaj okoline, pogreške opažanja.

Pogreške instrumenata pojavljuju se zbog pogrešne konstrukcije mjernih instrumenata. Do tih pogrešaka može doći zbog histereze ili trenja. Ove vrste pogrešaka uključuju i krivu upotrebu instrumenata. Možemo ih smanjiti i ukloniti provjerom i poboljšanjem instrumenata.

Pogreške opažanja nastaju zbog pogrešnog očitavanja rezultata. Postoje mnogi uzroci pogrešaka u promatranju, na primjer pokazivač voltmetra resetira se malo iznad površine ljestvice.[4]

**Slučajne pogreške** pogreška koja je uzrokovana naglom promjenom atmosferskog stanja i umorom radne osobe. Te su pogreške ili pozitivne ili negativne. Primjer slučajnih pogrešaka je promjene vlage, neočekivane promjene temperature i promjena napona. Ove vrste pogrešaka ostaju i nakon uklanjanja sustavne pogreške, međutim mogu se umanjiti uzimajući prosjek velikog broja mjerenja. Razvojem mjernih metoda i instrumenata postiže se manji utjecaj pogrešaka no one su uvijek teoretski i u praksi prisutne. Upotrebom statičke metode radimo procjenu pravih vrijednosti mjerenih veličina, te u velikoj mjeri smanjiti utjecaj pogrešaka.[2]



## 5. SENZORI I OBRADA SIGNALA

Mjerenje je važan podsustav mehatroničkog sustava. Njegova glavna funkcija je prikupljanje podataka o statusu sustava i slanje podataka mikroprocesoru koji vrši kontrolu cijelog sustava. Mjerni sustav sastoji se od senzora, pretvarača i uređaja za obradu signala. Danas je na tržištu dostupan veliki broj ovih elemenata i uređaja. Nužno je poznavanje principa rada često korištenih senzora kako bi odabrali prikladan za željenu primjenu.

Senzori u proizvodnji koriste se u osnovi da bi ih automatski izvršili proizvodne operacije kao i aktivnosti praćenja procesa. Sensorna tehnologija ima sljedeće važne prednosti u transformaciji konvencionalne proizvodnje jedinice u modernu.

1. Senzori alarmiraju operatore sustava zbog kvara bilo kojeg dijela proizvodnog sustava. Pomaže operatorima da uklone kvar i zastoje cijelog sustava, dijelujući preventivno.
2. Smanjuje potrebu za kvalificiranim i iskusnim radnicima.
3. Može se postići ultra precizna kvaliteta proizvoda.

### 5.1 Senzori, pretvarači specifikacija

#### Senzor

Definiran je kao element koji je u izravnom dodiru s mjernom veličinom i daje izlazni signal ovisan o njezinu iznosu. Prema Instrument Society of America, senzor se može definirati kao [1] "A device which provides a usable output in response to a specified measurand. ("Uređaj koji pruža iskoristivi izlaz kao odgovor na zadanu mjeru")

Ovdje je izlaz obično električna veličina a mjera je fizička veličina.

#### Transduktor

Može se definirati i kao uređaj koji pretvara signal iz jednog oblika energije u drugi oblik. Žica konstantanske legure (legura bakra-nikla 55-45%) može se nazvati senzorom jer se mogu osjetiti promjene u mehaničkom pomaku (napetost ili kompresija) kao promjena električnog otpora.

#### Specifikacije senzora / pretvarača

Pretvarači ili mjerni sustavi nisu savršeni sustavi. Potrebno je znati sposobnost i nedostatak pretvarača ili mjerenih sustava kako bi pravilno procijenili njihovu izvedbu. Brojne su performanse povezane sa parametrima pretvarača ili mjernog sustava. Ti se parametri nazivaju specifikacije senzora. One upozoravaju korisnika o odstupanjima od idealnog ponašanja senzora. Navedene su specifikacije sustava senzora / pretvarača.

### 1. Raspon (eng. Offset)

Raspon senzora ukazuje na granice između kojih ulaz može varirati. Na primjer, termoelement za mjerenje temperature može imati raspon 25-225 ° C.

### 2. Razmak (eng. Span)

Razmak je razlika između maksimalne i minimalne vrijednosti ulaza. Tako, gore spomenuti termoelement ima raspon od 200 ° C.

### 3. Pogreška (eng. Error)

Pogreška je razlika između rezultata mjerenja i stvarne vrijednosti koja se mjeri. Senzor može dati očitavanje pomaka od 29,8 mm, ako je stvarni pomak iznosio 30 mm, tada je greška -0,2 mm.

### 4. Preciznost (eng. Accuracy)

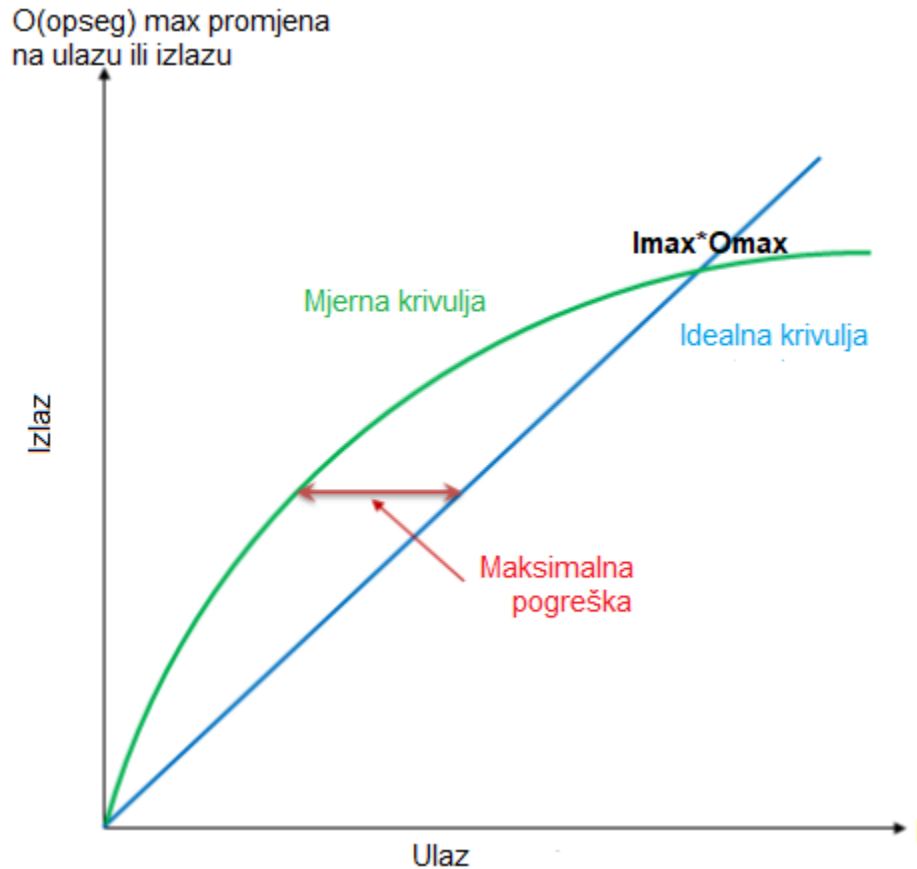
Točnost se definira kao bliskost slaganja mjernih vrijednosti iste veličine primjenom višekratnoga mjernog postupka u propisanim uvjetima. Piezoelektrični pretvarač koji se koristi za procjenu pojave dinamičkog pritiska povezane s eksplozijama, pulsacijama ili dinamikom tlačnih uvjeta u motorima, raketnim motorima, kompresorima i drugim uređajima pod tlakom. Mogu otkriti pritiske između 0,7 KPa do 70MPa. Ako je specificiran s točnošću od oko  $\pm 1\%$  pune skale, tada se očitavanje može očekivati da će biti  $\pm 0,7$  MPa

### 5. Osjetljivost (eng. Sensitivity)

Osjetljivost senzora definira se kao omjer promjene izlazne vrijednosti senzora prema promjeni ulazne vrijednosti po jedinici koja uzrokuje promjenu na izlazu. Na primjer, termoelement opće namjene može imati osjetljivost  $41 \mu\text{V} / ^\circ\text{C}$

## 6. Nelinearnost (eng. Nonlinearity)

Nelinearnost označava maksimalno odstupanje stvarne izmjerene krivulje od idealne krivulje senzora.

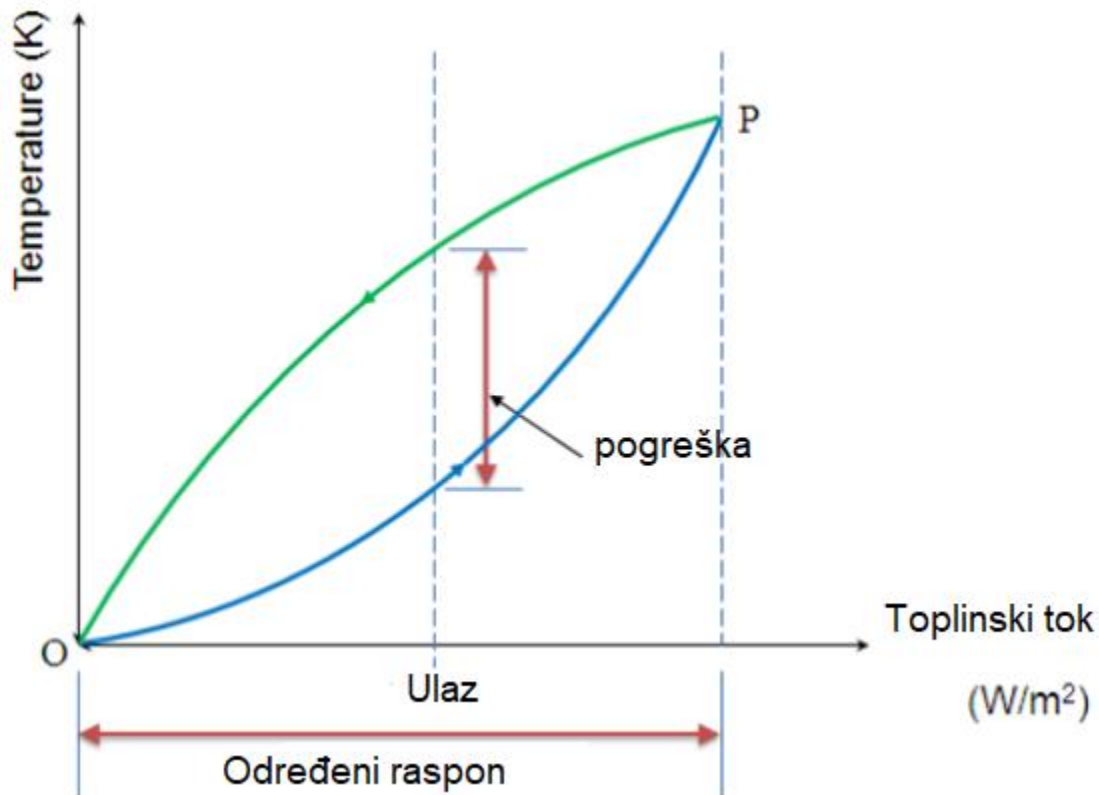


SI.5.1.1. Pogreška kod nelinearne krivulje [5]

Na slici je prikazan odnos između idealne, ili najmanje kvadratne linije, crte i stvarne izmjerene ili kalibracijske linije. Linearnost se često navodi u smislu postotka nelinearnosti, koji je definiran kao omjer maksimalnog odstupanja ulaza i maksimalni unos cijele skale

Statička nelinearnost definirana jednačbom ovisi o mjernoj okolini, uključujući temperaturu, vibracije, razinu zvučne buke i vlažnost. Stoga je važno znati pod kojim uvjetima specifikacija vrijedi.

## 7. Histereza (eng. Hysteresis)



Sl.5.1.2. Pogreška histerezne krivulje [5]

Histereza predstavlja grešku senzora, koja je definirana kao maksimalna razlika na izlazu bilo koje vrijednosti mjerenja unutar određenog raspona senzora. Na slici je prikazana pogreška histereze koja se mogla dogoditi tijekom mjerenja temperature pomoću termoelementa. Vrijednost histereze se uobičajeno navode kao pozitivni ili negativni postotak određenog raspona unosa.

## 8. Rezolucija (eng. Resolution)

Rezolucija je najmanja otkrivena inkrementalna promjena ulaznog parametra koja može biti otkrivena u izlaznom signalu. Rezolucija se može izraziti ili u omjeru ili apsolutno.

Na primjer, ako LVDT senzor mjeri pomak do 20 mm i pruža izlaz kao broj između 1 i 100 tada je razlučivost senzorskih uređaja 0,2 mm.

## 9. Stabilnost (eng. Stability)

Stabilnost je sposobnost senzorskih uređaja da daju isti rezultat, kada je unos konstantan tijekom određenog vremenskog razdoblja. Izraz "drift" koristi se za označavanje promjene na izlazu koji se pojavljuje u određenom vremenskom periodu. Izražava se kao postotak cijelog raspona izlaza.

#### **10. Neutralna zona (eng. Deadband/neutral zone)**

Neutralna zona ili mrtvi prostor pretvarača je raspon ulaznih vrijednosti za koji nema izlaza. Mrtvo vrijeme senzornog uređaja je vremensko trajanje od primjena ulaza dok se izlaz ne počne reagirati ili mijenjati.

#### **11. Ponovljivost (eng. Repeatability)**

Određuje sposobnost senzora da daje isti izlaz za ponovljive primjene iste ulazne vrijednosti. Obično se izražava kao postotak ukupnog učinka:

Ponovljivost = (zadane maksimalne - minimalne vrijednosti) X 100 / puni raspon

#### **12. Vrijeme odaziva (eng. Response time)**

Vrijeme odgovora opisuje brzinu promjene u izlazu pri postepenoj promjeni mjera. Uvijek se specificira s naznakom koraka ulaza i izlaza, raspona za koji je definirano vrijeme odziva.

### **4.2 Klasifikacija senzora**

Senzori se mogu svrstati u različite skupine prema čimbenicima kao što su područje primjene, načelo pretvorbe, energetska domena mjere i termodinamička razmatranja.[5]  
Detaljna klasifikacija senzora s obzirom na njihovu primjenu u proizvodnji je podjeljena

#### **A. Senzori pomaka, položaja i blizine**

- Potenciometar
- Element s napretkom
- Kapacitivni element
- Diferencijalni transformatori
- Senzori blizine struje
- Induktivni blizinski prekidač
- Optički koderi
- Pneumatski senzori
- Prekidači blizine (magnetski)
- Hallov senzori

#### **B. Brzina i gibanje**

- Povećani koder
- Tahogenerator
- Piroelektrični senzori

### **C. Sila**

- opterećenje ćelije opterećenja

### **D. Tlak tekućine**

- Membranski mjerac tlaka
- Kapsule, mehovi, tlačne cijevi
- Piezoelektrični senzori
- Taktilni senzor

### **E. Protok tekućine**

- Ploča s otvorima
- Mjerac turbine

### **F. Razina tekućine**

- Pluta
- Diferencijalni tlak

### **G. Temperatura**

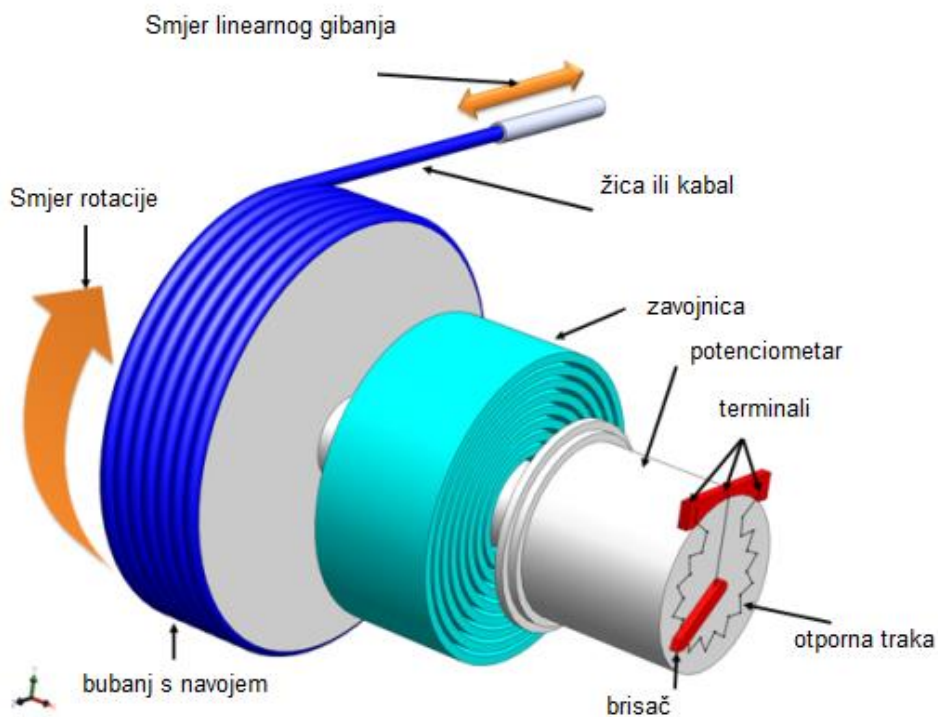
- Bimetalne trake
- Otporni detektori temperature
- Termistori
- Termo-diode i tranzistori
- Termoparovi
- Senzori svjetla
- Foto diode
- Foto otpornici
- Foto tranzistor

## 6. SENZORI POMAKA I POLOŽAJA

Pomični senzori u osnovi se koriste za mjerenje pomaka objekta. Senzori položaja koriste se za određivanje položaja objekta u odnosu na neku referentnu točku. Senzori blizine vrsta su senzora položaja i koriste se za praćenje predmeta kako se nebi odmaknio na kritičnu udaljenost od pretvarača.

### 6.1. Senzori pomaka

#### 6.1.1 Potenciometerski sensor



Sl.6.1.1.1. Prikaz potenciometerskog senzora za mjerenje linearnog pomaka [5]

Na slici prikazana je konstrukcija senzora potencijometra s rotacijskim tipom, koja se koristi za mjerenje linearnog pomaka. Potencijometar može biti linearnog ili kutnog tipa. Djeluje na principu pretvaranja mehaničkog pomaka u električni signal. Senzor ima otpornički element i klizni kontakt (brisač). Klizač kreće se duž ovog vodljivog tijela, djelujući kao pomični električni kontakt. Predmet čiji se pomak treba izmjeriti povezan je s klizačem koristeći

- okretno vratilo (za kutni pomak)
- pokretna šipka (za linearni pomak)
- kabel koji se tijekom rada stalno rasteže

Otporni element je žičana namotana traka ili provodna plastika. Namot se sastoji od velikog broja otporničke žice. Žica namotana ima razlučivosti reda  $\pm 0,01\%$ , dok provodljiva plastika može imati razlučivosti oko  $0,1 \mu\text{m}$

### **Primjena potenciometra**

Ovi senzori se prije svega koriste u upravljačkim sustavima s povratnom petljom da pokretni dio ili komponenta dosegnu zadani položaj.

Obično se koriste za upravljanje alatnim strojevima, dizačima, sklopovima razine tekućine, viljuškari, komande za upravljanje prigušivačima automobila. U proizvodnji, oni se koriste u kontrola strojeva za injekcijsko lijevanje, strojeva za obradu drveta, tiskanje, prskanje, robotika itd. Također se koriste u računalno nadziranom sportske opreme.

#### **6.1.2 Mjerači napetosti**

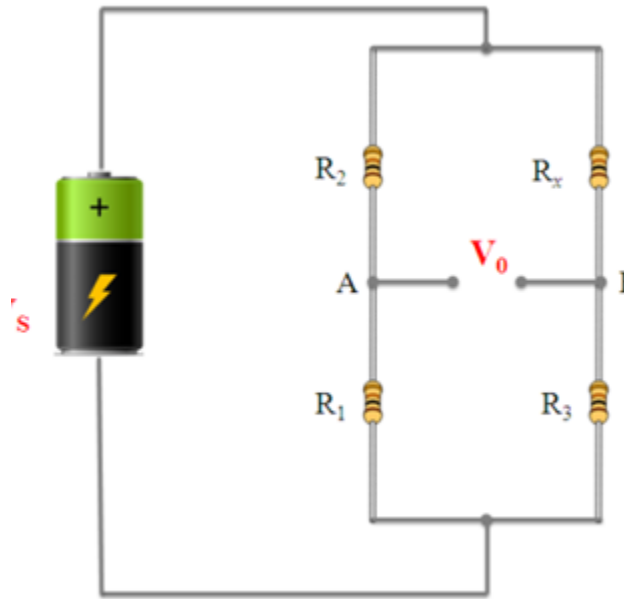
Naprezanje u elementu je omjer promjene duljine u smjeru opterećenja do izvorne duljine elementa. Napon mijenja otpor  $R$  na element.

$$\Delta R/R = G \varepsilon \quad (6-1)$$

gdje je  $G$  konstanta proporcionalnosti i naziva se faktorom kalibra. Općenito, the vrijednost  $G$  iznosi između dva i četiri, a otpori se uzimaju reda veličine  $100 \Omega$ .

Mjerač otpora slijedi princip promjene otpornosti prema vrijednosti jednadžbe (6-1). Ove folije su izrađene od konstantanske legure (bakar-nikal 55-45% legura), vezane na podlogu od plastike (polyimid) i ojačane staklenim vlaknima. Kako se radni komad mijenja oblik zbog vanjskog opterećenja, mijenja se otpor otpornog elementa. Ova promjena otpora može se otkriti pomoću Wheatstone-ovog mosta otpora prikazana na slici.





**Sl.6.1.2.1.** *Wheatstoneov most [5]*

U uravnoteženom mostu možemo imati odnos,

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{R_x}{R_3} \quad (6-2)$$

gdje je  $R_x$  otpor elemenata za mjerenje naprezanja,  $R_2$  podesivi otpornik,  $R_1$  i  $R_3$  su poznati otpornici stalne vrijednosti. Ako je odnos dve otpornosti u poznatoj grani ( $R_2/R_1$ ) jednak odnosu dvije otpornosti u nepoznatoj grani ( $R_x/R_3$ ), onda je napon između dva čvorova jednak nuli i električna struja neće proticati između čvorova.  $R_2$  se mijenja sve dok se ne postigne ovaj uvjet.

### Primjene

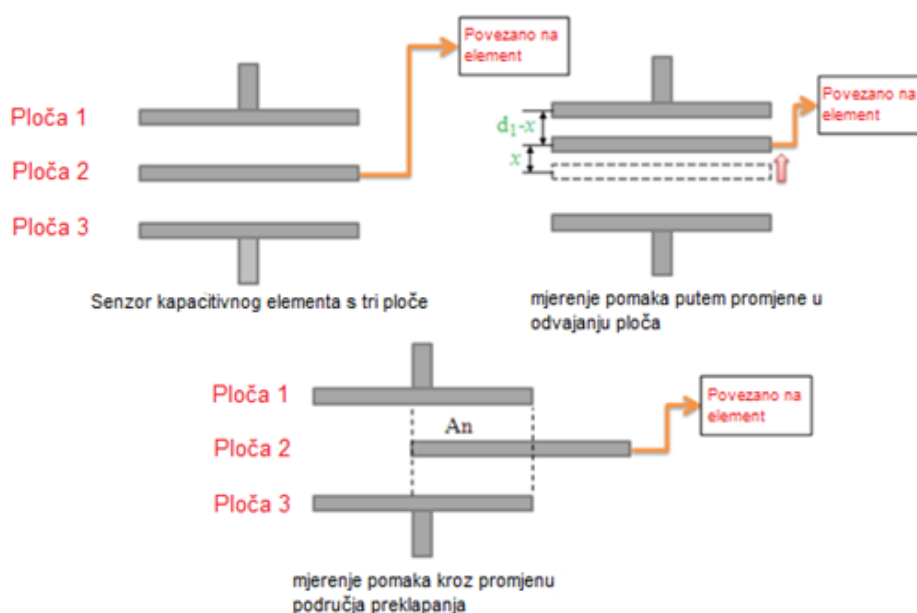
Mjerači napetosti se koriste u eksperimentalnoj analizi stresa, dijagnozi i analizi kvarova. U osnovi se koriste za dokazno ispitivanje, mjerenje zaostalih napona i vibracija, zakretnog momenta, mjerenje savijanja i odgiba, kompresije i zatezanja te mjerenje naprezanja. Prvenstveno se koriste kao senzori za alatne strojeve i sigurnost u automobilima. Konkretno, oni se koriste za mjerenje sile u alatnim strojevima, hidrauličke ili pneumatske preše i kao senzori udara u zrakoplovnim vozilima.

## 6.2 Senzor na bazi kapaciteta

Kapacitivni senzor je tip beskontaktnog senzora i prvenstveno se koristi za mjerenje linearnog pomaka od nekoliko milimetara do stotina milimetara. Sastoji se od tri ploče, pri čemu gornji par čini jedan kondenzator, a donji par drugi.

Linearni pomak može imati dva oblika:

- jedna se ploča pomiče tako da se mijenja razmak između ploča
- mijenja se područje preklapanja zbog pomaka.



Sl.6.2.1. Mjerenje pomaka pomoću kapacitivnog senzora [5]

Na slici je prikazana je shema senzora kapacitivnog elementa s tri ploče i mjerenje pomaka mehaničkog elementa spojenog na ploču dva. Kapacitet  $C$  paralelnog kondenzatora ploče je dan sa

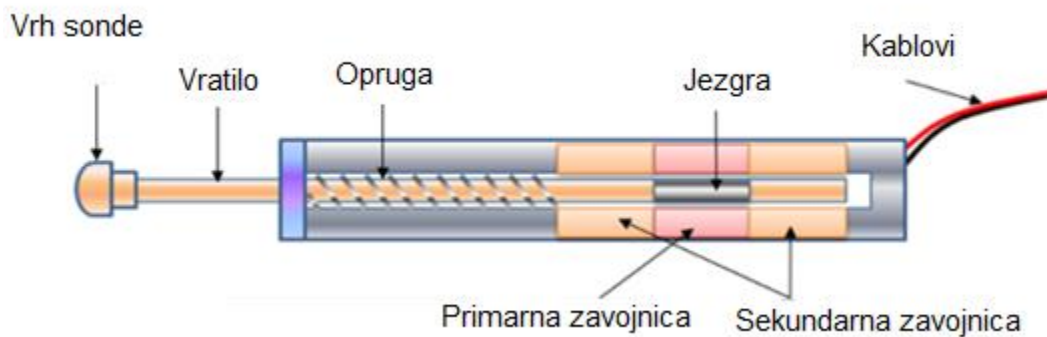
$$C = \epsilon_r \epsilon_0 \frac{S}{d} \quad (6-3)$$

gdje je  $\epsilon_r$  relativna propusnost dielektrika između ploča,  $\epsilon_0$  dielektrična konstanta vakuma,  $S$  površina dviju jednakih metalnih ploča i  $d$  razmak između ploča.

### Primjena kapacitivnih senzora

- Nadzor razine dovodnog spremnika
- Upravljanje crpkom u maloj posudi
- Nadzor nivoa masti
- Kontrola nivoa tekućina
- Mjeriteljske aplikacije

### 6.3 Linearni varijabilni diferencijalni transformator (LVDT)



Sl.6.3.1. Konstrukcija LVDT senzora [5]

Linearni varijabilni diferencijalni transformator (LVDT) primarni je pretvarač za mjerenje linearnog pomaka s ulaznim rasponom od oko  $\pm 2$  do  $\pm 400$  mm. Ima pogrešku nelinearnosti  $\pm 0,25\%$  punog raspona.

Slika pokazuje konstrukcija LVDT senzora. Ima tri zavojnice simetrično raspoređene duž izolirane cijevi. Središnja zavojnica je primarna zavojnica, a ostale dvije su sekundarne zavojnice. Sekundarni svici povezani su u seriju na takav način da njihovi krajevi suprotstavljeni se jedni drugima. Unutar izolirane cijevi se nalazi magnetska jezgra pričvršćena na element čiji se pomaci prate.

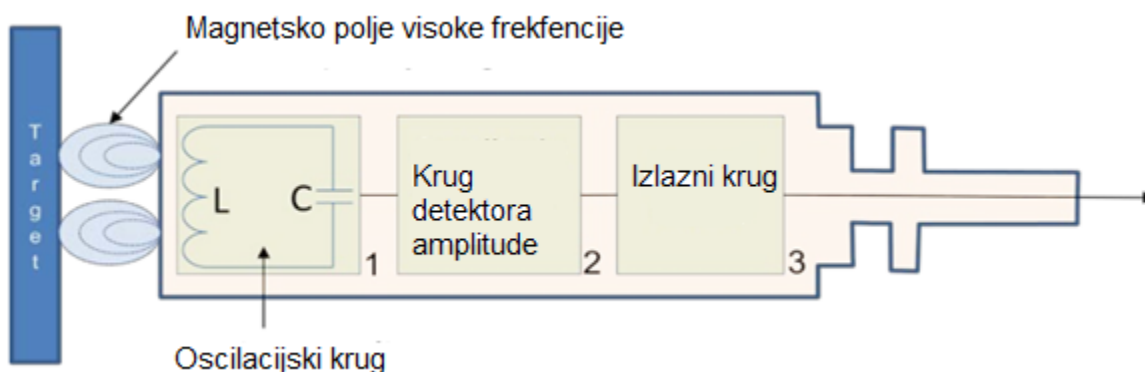
LVDT pokazuje dobru ponovljivost i obnovljivost. Obično se koristi kao senzor apsolutnog položaja. Budući da nema kontakta ili klizanja između uređaja sastavni elementi senzora, vrlo je pouzdan. Ovi senzori jesu potpuno zapečaćeni i široko se koriste u servomehanizmima, automatizirano mjerenje u alatnim strojevima.

#### Primjena LVDT senzora

- Za dobivanje povratne informaciju o pomaku hidrauličkih cilindara
- Za kontroliranje težine i debljine lijekova, tj. tableta
- Za automatsko ispitivanje konačnih dimenzija proizvoda za pakiranje
- Za mjerenje udaljenosti metala koji se približavaju tijekom postupka varenja
- Kontinuirano pratiti razinu tekućine kao dio sustava za otkrivanje curenja
- Za otkrivanje broja novčanih računa koje izdaje bankomat

## 7. SENZORI BLIZINE

### 7.1 Senzori blizine vrtložne struje



SI.7.1.1. Shematski prikaz senzora blizine [5]

Senzori blizine vrtložne struje koriste se za otkrivanje nemagnetskih, ali provodljivih materijala. Sadrže zavojnicu, oscilator, detektor i okidač sklopa. Na slici je prikazana konstrukcija blizinske sklopke.

Kada se kroz ovu zavojnicu provede izmjenična struja, izmjenično magnetsko polje se generira. Ako metalni predmet dolazi u neposrednoj blizini zavojnice, onda vrtlog struje se induciraju u objektu zbog magnetskog polja. Ove vrtložne struje stvaraju vlastito magnetsko polje koje iskrivljuje magnetsko polje odgovorno za njihovu generaciju. Kao rezultat, mijenja se impedancija zavojnice, pa tako i amplitude izmjenične struje. Ovo se može koristiti za aktiviranje prekidača na nekim unaprijed utvrđenim razinama promjene struje. Senzori strujne struje relativno su jeftini, u dostupni u vrlo malim dimenzijama, pouzdani su i imaju visoku osjetljivost za male pomake.

#### Primjene senzora blizine struje

- Automatizacija koja zahtijeva precizno mjesto
- Nadgledanje alatnih strojeva
- Završna montaža precizne opreme poput diskovnih pogona
- Nadzor pogonskog vratila
- Mjerenja vibracija

## 7.2 Induktivni blizinski prekidač



*Sl.7.2.1. Induktivni blizinski prekidač M12*

Induktivne blizinske sklopke u osnovi se koriste za otkrivanje metalnih predmeta. Na slici prikazana je konstrukcija induktivne blizinske sklopke. Induktivni senzor blizine ima četiri komponente; zavojnica, oscilator, detekcijski krug I izlazni krug.

Induktivne blizinske sklopke u osnovi se koriste za otkrivanje metalnih predmeta. Izmjenična struja na zavojnici generira magnetsko polje. Kad se metalni predmet bliži kraju zavojnice, induktivnost zavojnice se mijenja. To se neprekidno prati krugom koji aktivira prekidač kada dođe do unaprijed postavljene vrijednosti promjene induktivnosti.

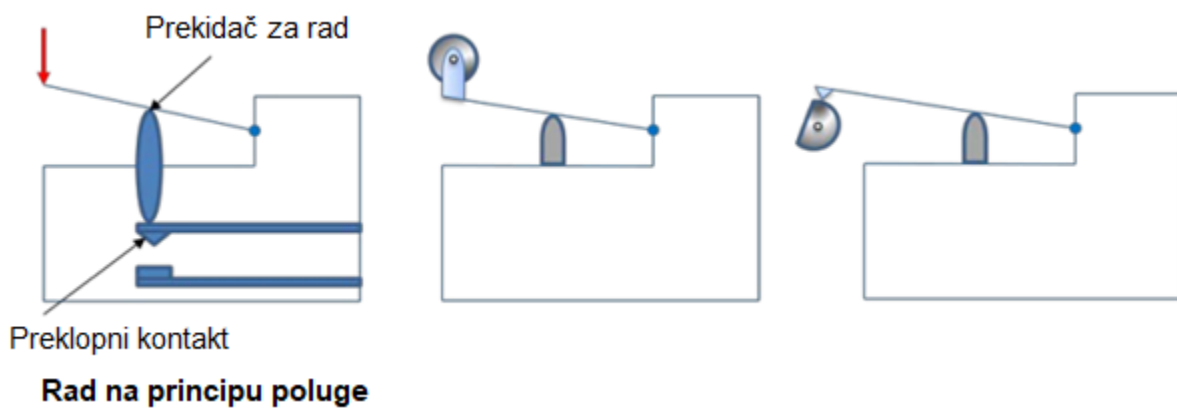
### **Primjene induktivnih blizinskih sklopki**

- Industrijska automatizacija: brojanje proizvoda tijekom proizvodnje ili prijenosa
- Sigurnost: otkrivanje metalnih predmeta, oružja, nagaznih mina



### 7.2.2. Induktivni blizinski prekidač M30

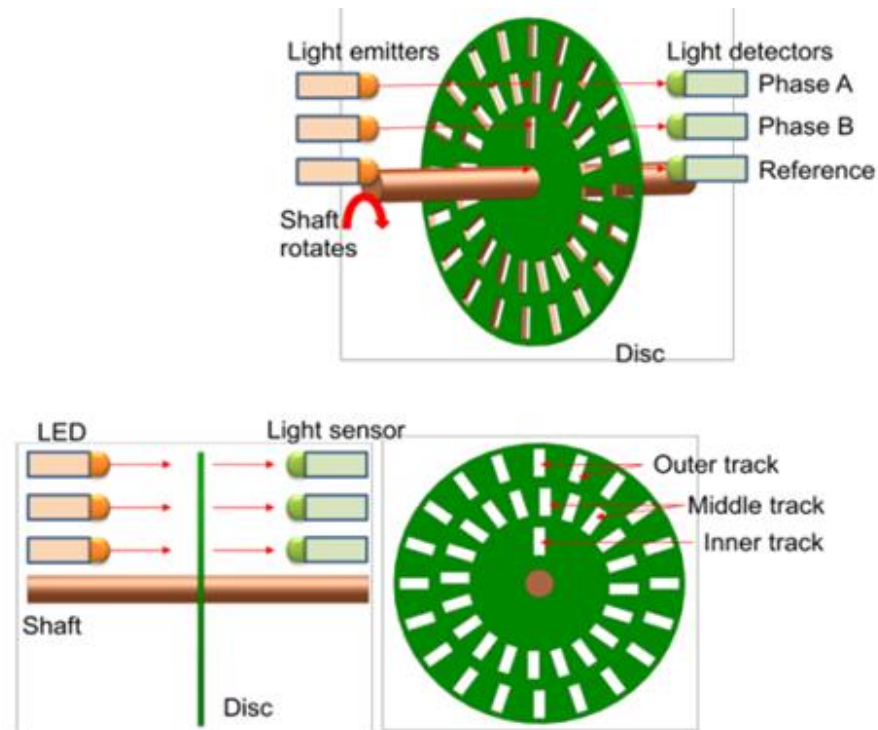
Na slici prikazan je niz konfiguracija kontaktnog tipa prekidača koji se koristi u automatizaciji proizvodnje. To su mali električni prekidači koji zahtijevaju fizički kontakt i malu operativnu silu za zatvaranje kontakata. U osnovi se koriste na transportnim sustavima za otkrivanje prisutnosti predmeta na transportnoj traci.



### SI.7.2.3. Konstrukcija blizinskih prekidača [5]

Uređaji za emitovanje fotografija kao što su diode za svjetlo (LED) i fotoosjetljive uređaji poput foto dioda i foto tranzistora koriste se u kombinaciji sa blizinskim pretvaračima djeluju kao uređaji za otkrivanje blizine.

## 7.3 Optički enkoderi

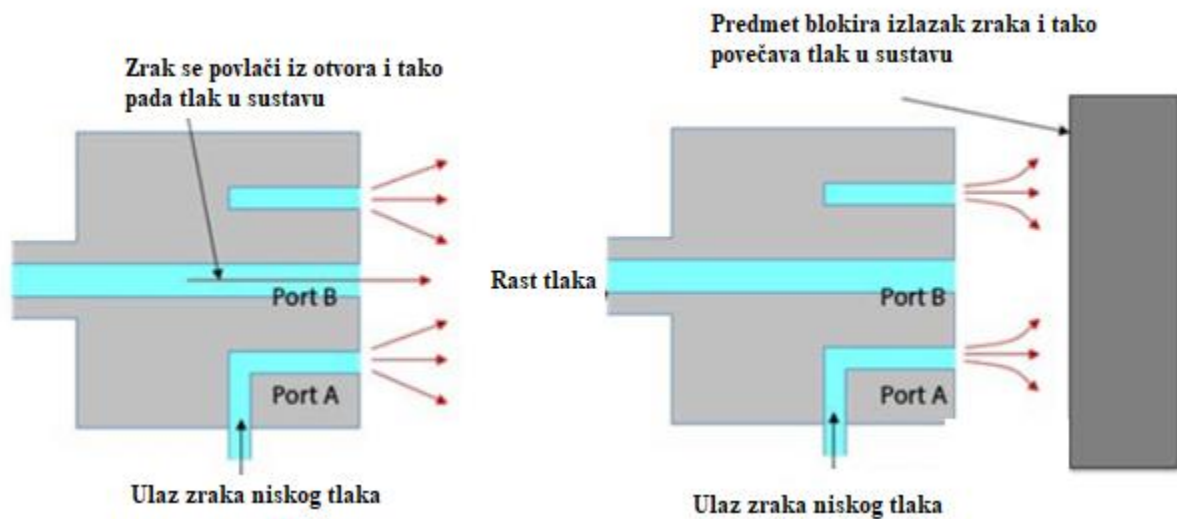


SI.7.3.1. Kontrukcija i rad optičkog enkodera [5]

Optički koderi pružaju digitalni izlaz kao rezultat linearnog / kutnog pomaka. Oni se široko koriste u servo motorima za mjerenje rotacije vratila.

Na slici je prikazana konstrukcija optičkog enkodera. Sastoji se od diska s tri koncentrične staze jednako raspoređenih rupa. Tri se svjetlosna senzora koristi za otkrivanje prolaska svjetlosti kroz rupe. Ovi senzori proizvode električne impulse koji daju kutni pomak mehaničkog elementa, npr. vratilo na koji je montiran optički enkoder. Unutarnja staza ima samo jednu rupu koja se koristi kao referentno mjesto na disku. Rupe na srednjem kolosijeku su uklonjene od rupa vanjskog kolosijeka za polovicu širine rupe. Ovaj raspored određuje smjer rotacije diska. Kad se disk rotira u smjeru kazaljke na satu, impulsi u vanjskoj stazi vode prema unutarnjem; u smjeru suprotnom od kazaljke na satu, oni zaostaju.

## 7.4 Pneumatski senzori

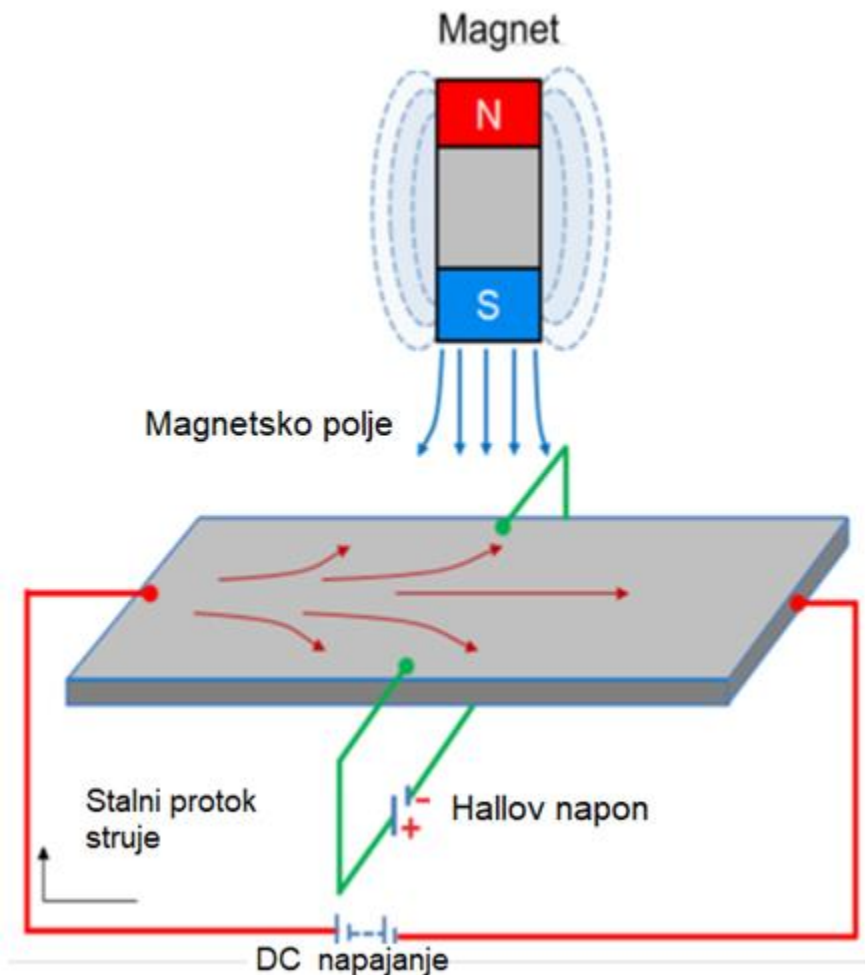


SI.7.4.1. Rad pneutatskog senzora [5]

Pneumatski senzori koriste se za mjerenje pomaka i za očitavanje udaljenosti objekta u blizini. Premještanje i blizina transformiraju se u promjenu tlaka zraka. Na slici prikazana je shema konstrukcije i rad takvog senzora. Sastoji se od tri luka. Dozvoljen je zrak niskog tlaka za bijeg kroz luku A. U nedostatku prepreka, ovaj niski tlak zrak izlazi i pritom smanjuje tlak u luci B. Međutim, kad objekt ometa zrak niskog tlaka (luka A), dolazi do porasta tlaka u izlazu otvor B. Ovaj porast tlaka kalibrira se za mjerenje pomaka ili za aktiviranje prekidač. Ti se senzori koriste u robotiziranju, pneumatici i za alate u CNC strojevima.



## 7.5 Hallov senzor



SI.7.6.1. Princip rada hallovog senzora [5]

Na slici prikazan je princip rada Hallovog senzora. Hall efekt senzori rade na principu da kad snop čestica naboja prođe kroz magnetsko polje, sile djeluju na čestice, a struja ne teče ravnom linijom. Tako će se jedna strana diska negativno nabiti i druga će strana biti pozitivna. Ovo odvajanje naboja generira razliku potencijala koja je mjera udaljenosti magnetskog polja od disk kroz koji prolazi struja.

Tipična primjena Hallove senzora je mjerenje razine tekućine u spremniku. Spremnik se sastoji od plovka sa stalnim magnetom na koji je pričvršćen njegov vrh. U kućište je ugrađen električni krug s diskom koji nosi struju. Kada se razina tekućine poveća, magnet će se približiti disku i stvara se razlika potencijala. Ovaj napon aktivira prekidač za zaustavljanje uslaska tekućine u spremnik. Ti se senzori koriste za mjerenje pomaka i otkrivanje položaj objekta. Opseg Hallovih senzora je vrlo širok. Uređaj se koristi u takvim krugovima gdje je potrebno mjerenje bez kontakta. Što se tiče automobila, Hallov senzor služi za mjerenje kuta raspodjele ili radilice, a također je pronašao njegovu primjenu u sustavu paljenja, što ukazuje na trenutak stvaranja iskre. [7]

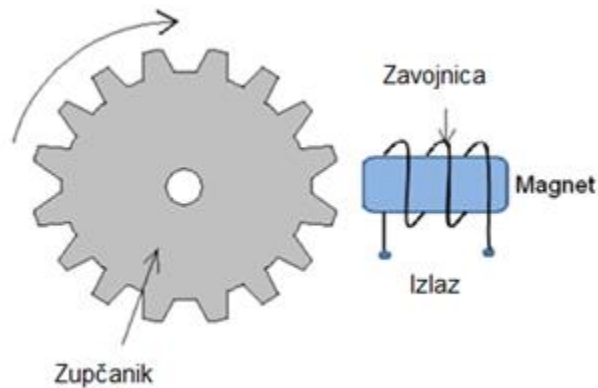
## 8.SENZORI ZA BRZINU, KRETANJE, SILU I PRITISAK

### 8.1 Tahogenerator



SI.8.1.1. *Tahogenerator motora za veš mašinu*

Za najjednostavniji način pretvorbe izmjerene kutne brzine u linearnu vrijednost koristimo tahogenerator. Tahogeneratori rade u praznog hodu s jako malom snagom i strujom, radi toga su malih dimenzija. Fiksirani su na osovinu elektromotora i koriste za nadzor brzine.



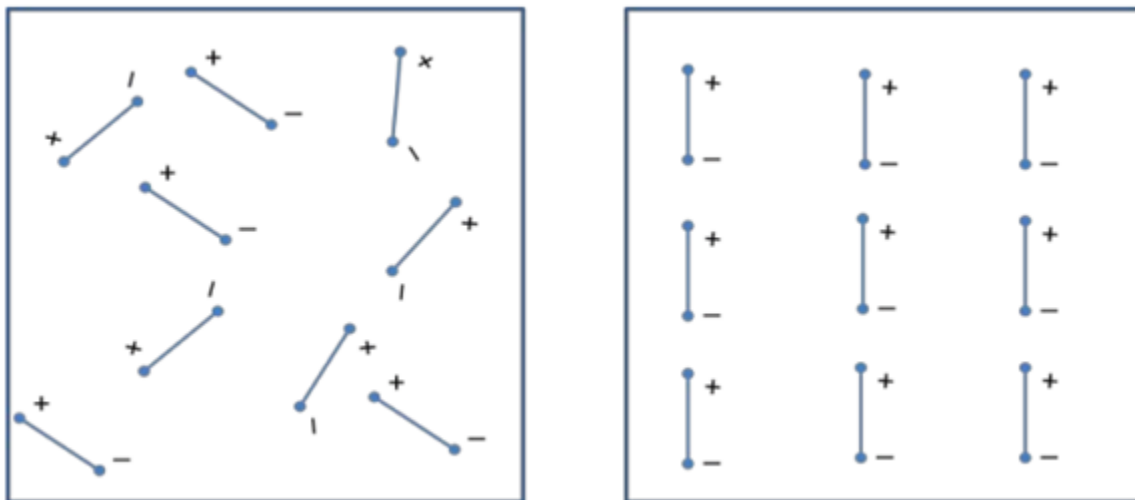
SI.8.1.2. *Princip rada Tahogenerators [5]*

Princip rada istosmjernog tahogenerators isti je kao i istosmjernog generator, temelji se na principu Faradayeva zakona elektromagnetske indukcije. Drugi način radi na načelu vrtložnih struja, pri čemu rotirajući stalni magnet zakreće metalnu ploču pridržavanu oprugom, u kojoj je proizvedena sila mjera brzine vrtnje. Jačina induciranog EMP ovisi o brzini promjene veze magnetskog polja s vodičem.

## 8.2 Piroelektrični senzori

Ovi senzori rade na principu piroelektričnosti. Svojstvo nekih materijala da se pri promjeni temperature električno polariziraju, a pritom je količina nastalog električnog naboja proporcionalna promjeni temperature. [8]

U prisutnosti električnog polja kada se takav kristalni material zagrijava, njegovi električni dipoli se redaju prema liniji kao što je prikazano na slici. To se naziva polarizacijom. Nakon hlađenja, sustav materijal zadržava svoju polarizaciju. U nedostatku električnog polja, kada se takav polariziran materijal podvrgne infracrvenom zračenju, njegova polarizacija se smanjuje. Ovaj pojava je mjera otkrivanja kretanja nekog predmeta.



Sl.8.2.1. Princip piroelektričnosti [5]

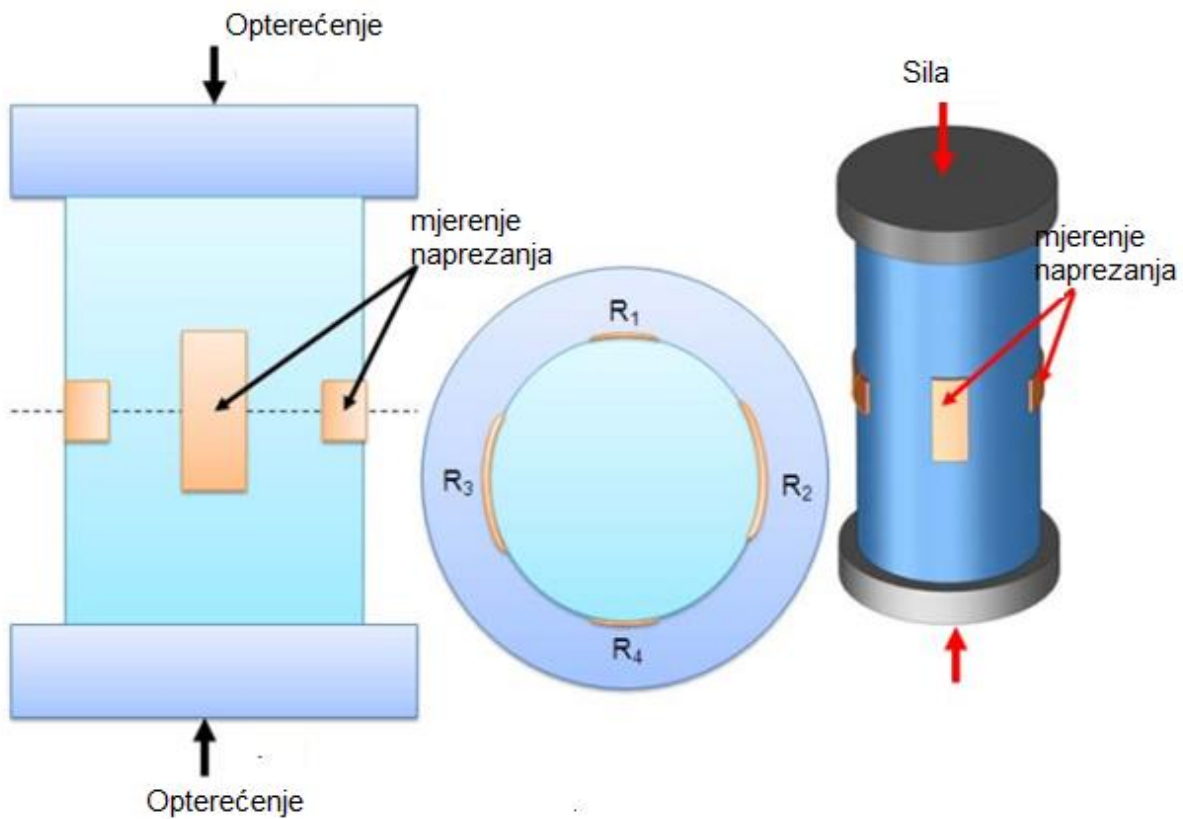
### Primjena piroelektričnih senzora

- detektor provale
- Optotermalni detektor
- Detektor zagađenja
- Senzor položaja
- Studije solarnih stanica
- Analiza motora

### 8.3 Senzor sile

Senzori sile rade na principu promjene električnog otpora. Kada mehanički element podliježe napetosti ili kompresiji električna otpornost materijala se mijenja. To se koristi za mjerenje sile koja djeluje na element.

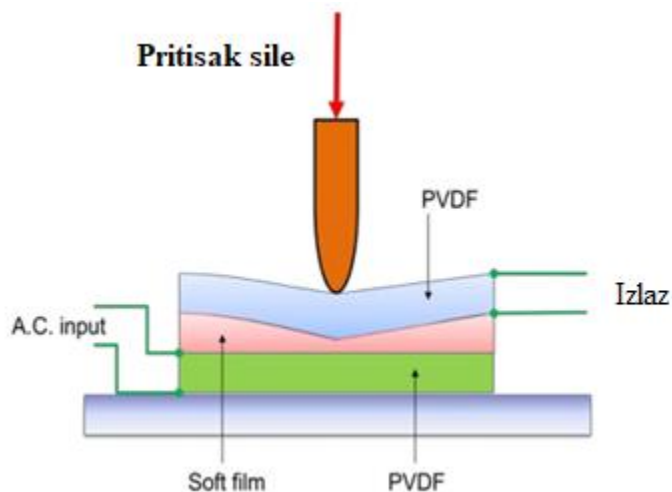
Sastoji se od cilindrične cijevi na kojoj su pričvršćeni mjeraci za zatezanje. Opterećenje na gornji dio cilindra uzrokuje promjenu električnog otpora. Općenito senzori sile se koriste za mjerenje sile do 10 MN. Nelinearnost i pogreške ovog pretvarača su  $\pm 0,03\%$  i  $\pm 0,02\%$



SI.8.3.1. Senzor sile [5]

## 8.4 Tlak tekućine

Općenito, taktilni senzori koriste se za osjet dodira vrhova prstiju robota na objekt. Koriste se i u proizvodnji vizualnih zaslona osjetljivih na dodir prikazivačke jedinice (VDU) CNC alatnih strojeva.



Sl.8.4.1. Shematski prikaz taktilnog senzora [5]

Na slici je prikazana konstrukcija taktilnih senzora na bazi piezoelektričnog polivinilidenafluorida (PVDF). Ima dva PVDF sloja razdvojeni mekim filmom koji prenosi vibracije. Izmjenična struja nanosi se na donji PVDF sloj koji stvara vibracije zbog reverznih piezoelektričnih efekata. Ove se vibracije prenose u gornji PVDF sloj preko mekog filma. Te vibracije uzrokuju izmjenični napon preko gornjeg PVDF sloja. Kada se neki pritisak potisne na gornji PVDF sloj vibracije utječu i na promjene izlaznog napona. To pokreće prekidač ili akciju u robotima ili dodirnim zaslonima.

## 8.5 Piezoelektrični sensor

Piezoelektrični sensor koristi se za mjerenje tlaka, ubrzanja i dinamičke sile poput oscilacija, udara ili kompresije i napetosti velike brzine. Kvarc je primjer materijala koji sadrži piezoelektrične ionske kristale. Primjenom sile ili pritiska ovi se materijali istežu ili komprimiraju. Za vrijeme tog procesa naboj nad materijalom se mijenja i preraspodjeljuje. Jedna strana materijala postaje pozitivno nabijen, a druga negativno nabijena.

Naboj  $q$  na površini proporcionalan je količini  $x$  za koju su naboji bili raseljeni. Pomak je proporcionalan sili. Stoga možemo pisati,

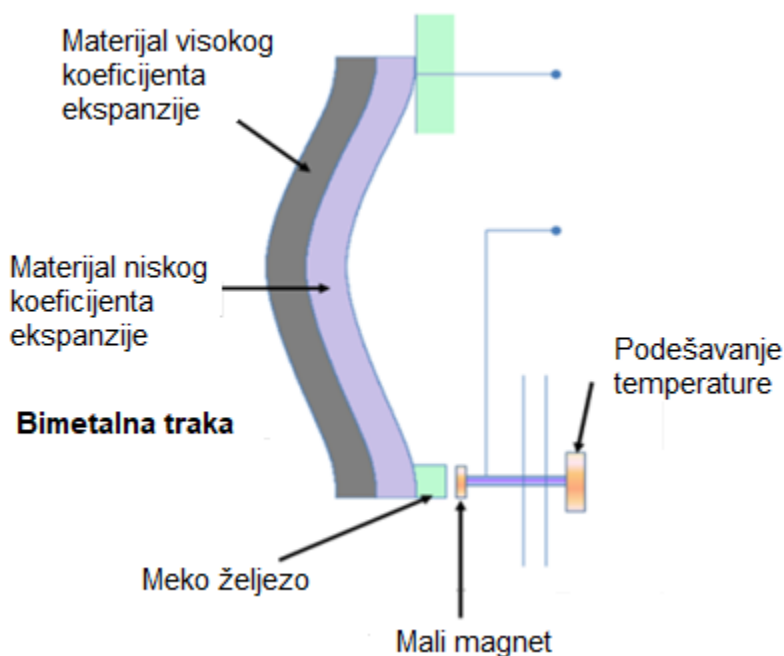
$$q = kx = sF \quad (8-1)$$

gdje je  $k$  konstanta i  $S$  konstanta koja se naziva osjetljivost naboja.

## 9.SENZORI TEMPERATURE I SVJETLA

Temperatura utječe na mehanički sustav u smislu širenja ili kontrakcije krutih tvari, tekućina ili plinova, promjena električnog otpora vodiča, poluvodiča. Senzori temperature kao što su bimetalne trake, termoparovi, termistori imaju široku upotrebu u nadgledanju procesa proizvodnje poput lijevanja, obrade i rezanja metala.

### 9.1 Bimetalne trake



**Sl.9.1.1.** Izrada i rad bimetalne trake [5]

Bimetalne trake koriste se kao termički prekidač za kontrolu temperature ili topline u proizvodnom procesu ili sustavu. Sadrži dvije različite metalne trake povezane zajedno. Metali imaju različite koeficijente ekspanzije. Prilikom zagrijavanja traka se savije zajedno s metalom koji ima veći koeficijent ekspanzije.

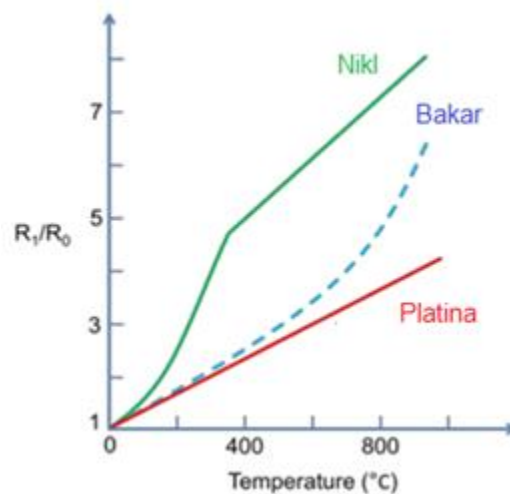
Na slici je prikazan tipičan raspored bimetalne trake koja se koristi s magnetom za postavljanje. Kako se trake savijaju, meko željezo dolazi sve bliže malom magnetu. U slučaju dodira magneta i trake električni krug se zatvara i pali se alarm. Na ovaj način bimetalne trake pomažu u zaštiti pregrijavanja materijala iznad prethodno postavljene vrijednosti temperature. Bimetali se primjenjuju i u zaštitnim sklopkama, glačalima, sušilima za kosu, pećnicama i mnogim drugim elektrotoplinskim uređajima.

## 9.2 Detektori temperature otpora (“Resistance temperature detectors”RTD)

RTD-ovi rade na principu da se električni otpor metala mijenja zbog promjena njegove temperature. Pri zagrijavanju metala povećava se njihova otpornost i slijedi linearni odnos kao što je prikazano na slici. Korelacija je

$$R_t = R_0(1 + \alpha T) \quad (9-1)$$

gdje je  $R_t$  otpor pri temperaturi  $T$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) i  $R_0$  je temperatura pri  $0^{\circ}\text{C}$  i  $\alpha$  je konstanta za metal zvan temperaturnim koeficijentom otpora. Senzor se obično izrađuje tako da ima otpor od  $100\ \Omega$  na  $0^{\circ}\text{C}$



SI.9.2.1. Karakteristika RTD materijala [5]

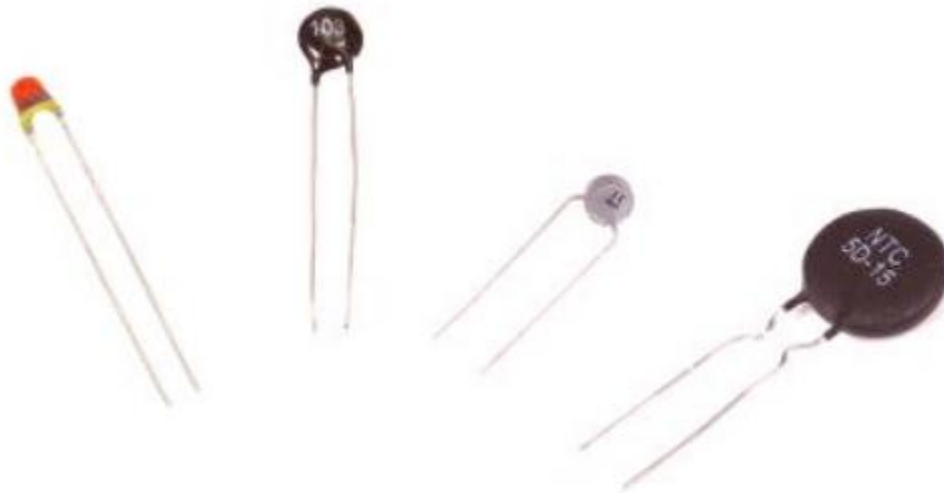
RTD se koriste u obliku tankih limova, žičanih namota ili zavojnice. Obično su napravljeni od metala poput platine, nikla ili nikl-bakrovih legura.

Primjene :

- Servis za klimatizaciju i hlađenje
- Prerada hrane
- Peći i roštilji
- Proizvodnja tekstila
- Obrada plastike
- Petrokemijska obrada
- Mikro elektronika
- Mjerenje temperature zraka, plina i tekućina u cijevima i spremnicima
- Mjerenje temperature ispušnih plinova

## 9.3 Termistori

Termistori slijede princip smanjenja otpora s povećanjem temperatura. Materijal koji se koristi u termistoru je općenito poluvodički material kao što je sinterovani metalni oksid (mješavine metalnih oksida, kroma, kobalta, željeza, mangan i nikal) ili dopirana polikristalna keramika koja sadrži barijev titanat ( $BaTiO_3$ ) i drugi spojevi. Kako se temperatura poluvodičkog materijala povećava, proporcionalno se broj elektrona koji se mogu kretati povećava. Što rezultira višu struju u materijalu i smanjeni otpor. Termistori su robusni i male dimenzije. Oni pokazuju nelinearne karakteristike.[8]



SI.9.3.1. *Termistor*

Termistori su dostupni u obliku kuglice (prešani disk), sonde ili čipa. Slika prikazuje konstrukciju termistora tipa kuglice. Ima malu perlu dimenzija od 0,5 mm do 5 mm obložena keramičkim ili staklenim materijalom. Perla je spojena na električni krug kroz dva vodiča. Za zaštitu od okoliša, vodovi se nalaze u cijevi od nehrđajućeg čelika.

### Primjena termistora

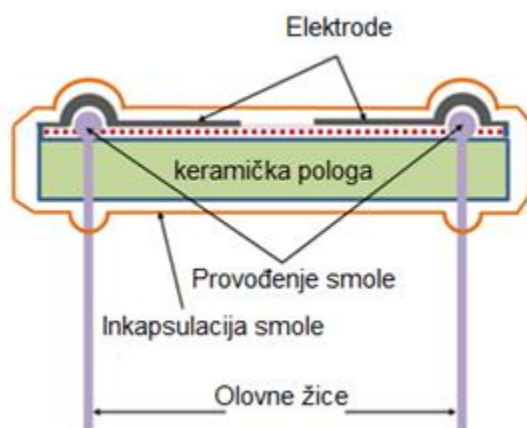
- Za praćenje temperature rashladne tekućine ili temperature ulja unutar motora
- Za nadzor temperature inkubatora
- Termistori se koriste u modernim digitalnim termostatima
- Za praćenje temperature baterije tijekom punjenja
- Za nadzor temperature vrućih krajeva 3D pisača
- Za održavanje ispravne temperature u industriji rukovanja i prerade hrane
- Za kontrolu rada potrošačkih uređaja poput tostera, aparata za kavu, hladnjaka, zamrzivača, sušila za kosu itd.



## 9.4 Senzori svjetla

Senzor svjetla je uređaj koji se koristi za otkrivanje svjetlosti. Postoje različite vrste senzora svjetla kao što su fotočelija/fotorezistor i foto diode koji se koriste u proizvodnji i druge industrijske primjene.

Fotorezistor se također naziva i otpornikom na svjetlost (Light dependent resistor-LDR). Ima otpornik čiji otpor se smanjuje s povećanjem intenziteta upadne svjetlosti. Napravljen je od visokog poluprovodnički materijal otpornosti, kadmij sulfid (CdS). Otpor CdS fotorezistor se povećava smanjenjem količine svjetlosti koja pada na njega.



Sl.9.4.1. Konstrukcija fotosenzora [5]

Na slici je prikazana je konstrukcija foto otpornika. Zavojnica CdS otpornika je montirana na keramičkoj podlozi. Ovaj je sklop obložen smolastim materijalom. Osjetljive elektrode zavojnice povezane su na upravljački sustav putem olovnih žica. Na pojavu svjetla visokog intenziteta na elektrodama, otpor otpornika svitka smanjuje se. Taj otpor će se dalje koristiti za generiranje odgovarajućeg signala od strane mikroprocesor preko olovnih žica. Fotorezistori se koriste u znanosti i u gotovo svim granama industrije radi kontrole, sigurnosti, zabave, reprodukcije zvuka, inspekcija i mjerenja.

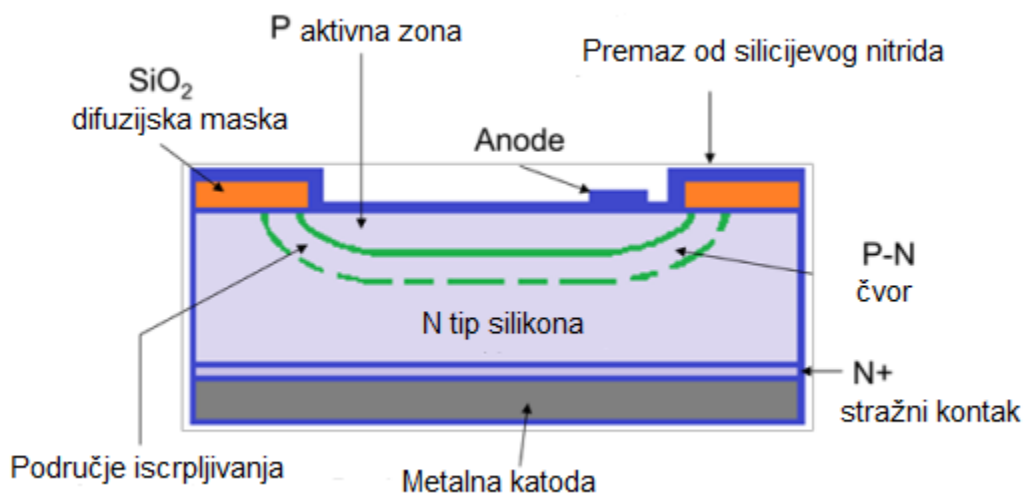
### Primjene foto otpornika

- Računala, bežični telefoni i televizori koriste senzore ambijentalnog svjetla za automatsku kontrolu svjetline zaslona
- Skeneri barkoda koji se koriste u prodavaonicama rade pomoću tehnologije senzora svjetla
- U svemiru i robotizaciji: za kontrolirane i vođene pokrete vozila i roboti. Senzor svjetla omogućava robotu da otkriva svjetlost. Roboti mogu biti programirani na specifičnu reakciju ako se otkrije određena količina svjetlosti.
- Automatski bljeskalica za fotoaparati
- Kontrola industrijskih procesa

## 9.5 Fotodiode

Fotodiode su uređaji koji pretvaraju upadnu svjetlost u električnu energiju. Poluvodički elektronički element u kojem svjetlost (i blisko elektromagnetsko zračenje) uzrokuje unutarnji fotoelektrični efekt u zapornome sloju poluvodičkoga kristala (PN-prijelaz). Tako se s promjenom osvjetljenja mijenja njegova vodljivost, pa se fotodiode rabi kao fotodetektor. Fotodiode je vrsta poluvodičke diode pn spoja koja radi s intenzitetom svjetlosti koja pada na njega u stanju obrnutog pristranosti. [9]

Fotodiode su jedna od vrsta fotodetektora, koja svjetlost pretvara u struju ili napon. To su obične poluvodičke diode.



**Sl.9.5.1.** Konstrukcija foto diode [5]

Na slici je prikazana konstrukcija foto diode. Izgrađena je od monokristalni silikonski dijelova. To je p-n uređaj za spajanje. Gornji sloj je p sloj, koji se formira toplinskom difuzijom ili ionskom implantacijom metala kao karbon. Svjetlost zrači na prednjoj površini, anodi, dok je stražnja površina katoda. Svjetlosti na anodi stvara tok elektrona kroz p-n spoj koji je mjera intenziteta svjetlosti.

### Primjena foto diode

Kamera: Mjerači svjetla, automatska kontrola zatvarača, automatsko fokusiranje  
Medicina: CAT skeneri - X-detektiva, pulsni oksimetri, analizatori čestica krvi  
Industrija: Skeneri za bar kod, kontrola osvjetljenja, ekonderi, senzori položaja, prinderi  
Sigurnosna oprema: Detektori dima, monitori plamena, sigurnosna inspeksijska oprema  
Automobili: Zatamnjenje prednjih svjetala, kontrola klime-detektor sunčeve svjetlosti  
Komunikacije: Optičke veze, optičke komunikacije, optički daljinski upravljač

## 10. VJEŽBA MJERENJA STATIČKE KARAKTERISTIKE

Izvodimo mjerenja i snimanje statističke karakteristike na mjernim pretvornicima temperature (termootpornici), elektromagnetskim (diferencijalni transformator) i fotoelektričnim (fotootpornik) mjernim pretvornicima.

**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. 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.

Karakteristika pretvornika nije linearna nego nelinearna krivulja, ne dobiva se linearna ovisnost izlazne veličine o ulaznoj nego nelinearna. Odmak od linearnosti stvara problem u radu s pretvornicima te se radi linearizacija karakteristike – zamjena nelinearne funkcije pravcom.

Linearizirani pravac ima oblik:

$$y = a \cdot x + b \quad (10-1)$$

Koeficijent  $a$  se zove statička osjetljivost a definira se odnosom promjene izlazne i ulazne veličine:

$$a = \frac{\Delta y}{\Delta x} \quad (10-2)$$

Paremetri  $a$  i  $b$  određuju se izrazima:

$$b = \frac{\sum x_i \cdot y_i - n \cdot \bar{x} \cdot \bar{y}}{\sum x_i^2 - n \cdot \bar{x}^2} \quad (10-3)$$

$$a = \bar{y} - b \cdot \bar{x} \quad (10-4)$$

Standardna devijacija regresije:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} (\sum y_i^2 - a \sum x_i y_i)}$$

Koeficijent varijacije regresije:

$$v_s = \frac{\sigma_y}{\bar{y}} \cdot 100$$

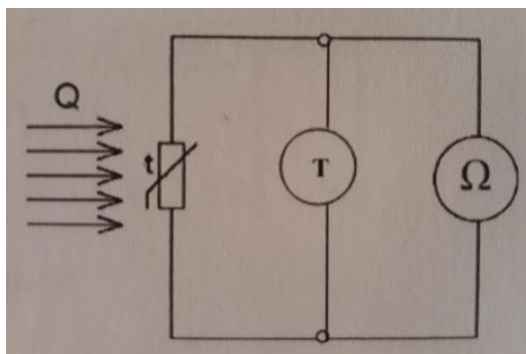
## 10.1 Mjerenje temperature

### Popis opreme:

- Električni grijač
- Metalna posuda
- Termometar
- Otporno osjetilo Pt100
- Izvor izmjeničnog napona 220V / 50Hz

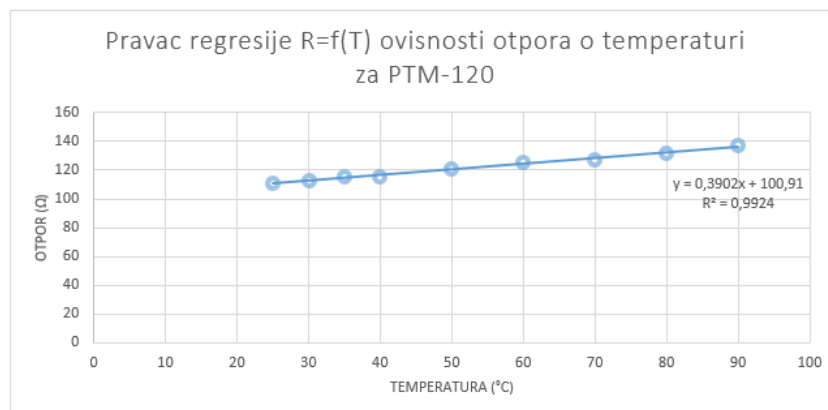
### Postupak:

U metalnu posudu se nalazi voda koji postupno zagrijavamo i pratimo promjenu otpora, pomoću sonde termometra i multimetra.



Mjerenje otpora pomoću termootpornika PTM-120

T(°C)	25	30	35	40	50	60	70	80	90
R(Ω)	110	114	117	119	123	128	132	136	140
T(°C)	90	80	70	60	50	40	35	30	25
R(Ω)	137	131,5	127	125	121	115,5	115	112,5	111



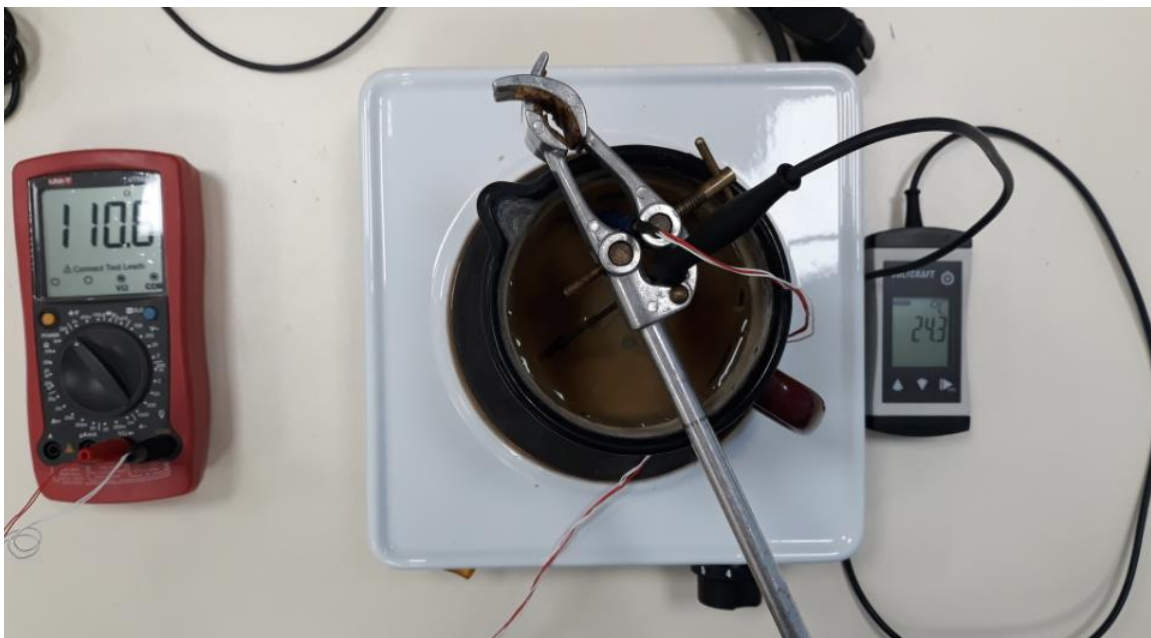
xi	yi	xiyi	xi^2	yi^2
90	137	12330	8100	18769
80	131,5	10520	6400	17292,25
70	127	8890	4900	16129
60	125	7500	3600	15625
50	121	6050	2500	14641
40	115,5	4620	1600	13340,25
35	115	4025	1225	13225
30	112,5	3375	900	12656,25
25	111	2775	625	12321
<b>480</b>	<b>1095,5</b>	<b>60085</b>	<b>29850</b>	<b>133998,8</b>

$$b = \frac{\sum xi \cdot yi - n \cdot x \cdot y}{\sum xi^2 - n \cdot x^2} = 0,391$$

$$a = y - b \cdot x = 100,86$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} (\sum yi^2 - a \sum xi yi)} = 1,221$$

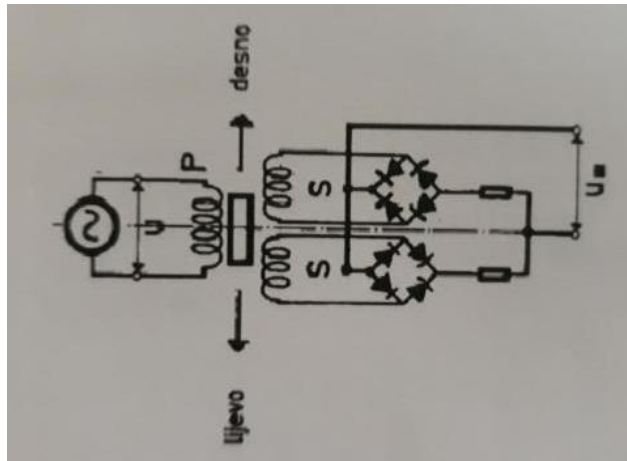
$$v_s = \frac{\sigma_y}{\bar{y}} \cdot 100 = 1,0031$$



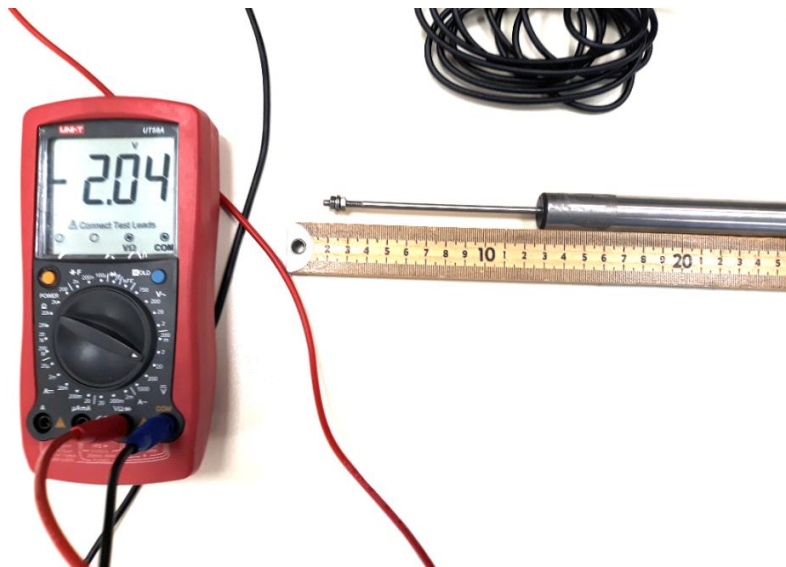
## 10.2 Mjerenje pomaka

### Popis opreme:

- Diferencijalni transformator
- Digitalni Voltmetar
- Izvor izmjeničnog napona 0-15 V AC
- Ravnalo

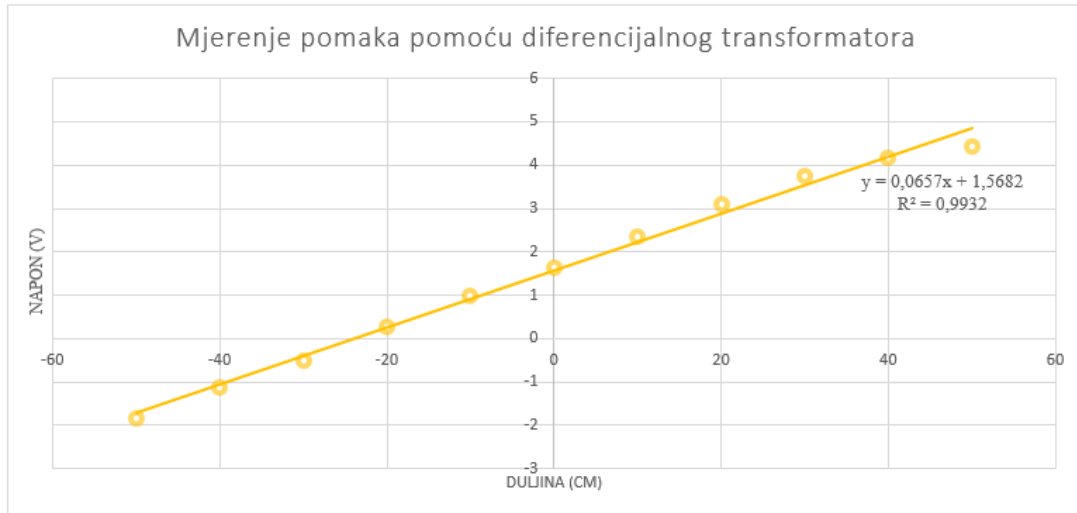


Mjerenje pomaka pomoću diferencijalnog transformatora



Primar sekundara je priključen na izmjenični napon 10 V. Za 10 različitih položaja feromagnetske jezgre, očitavamo napon na voltmetru.

l(cm)	-50	-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	50
U(V)	-2,04	-1,32	-0,61	0	0,71	4,31	4,1	3,53	2,85	2,16	1,45
l(cm)	50	40	30	20	10	0	-10	-20	-30	-40	-50
U(V)	4,43	4,17	3,75	3,09	2,36	1,64	1	0,26	-0,51	-1,11	-1,83



$X_i$	$Y_i$	$X_i Y_i$	$X_i^2$	$Y_i^2$
50	4,43	221,5	2500	19,6249
40	4,17	166,8	1600	17,3889
30	3,75	112,5	900	14,0625
20	3,09	61,8	400	9,5481
10	2,36	23,6	100	5,5696
0	1,64	0	0	2,6896
-10	1	-10	100	1
-20	0,26	-5,2	400	0,0676
-30	-0,51	15,3	900	0,2601
-40	-1,11	44,4	1600	1,2321
-50	-1,83	91,5	2500	3,3489
<b>0</b>	<b>17,25</b>	<b>722,2</b>	<b>11000</b>	<b>74,7923</b>

$$b = \frac{\sum x_i \cdot y_i - n \cdot \bar{x} \cdot \bar{y}}{\sum x_i^2 - n \cdot \bar{x}^2} = 0,0657$$

$$a = \bar{y} - b \cdot \bar{x} = 1,568$$

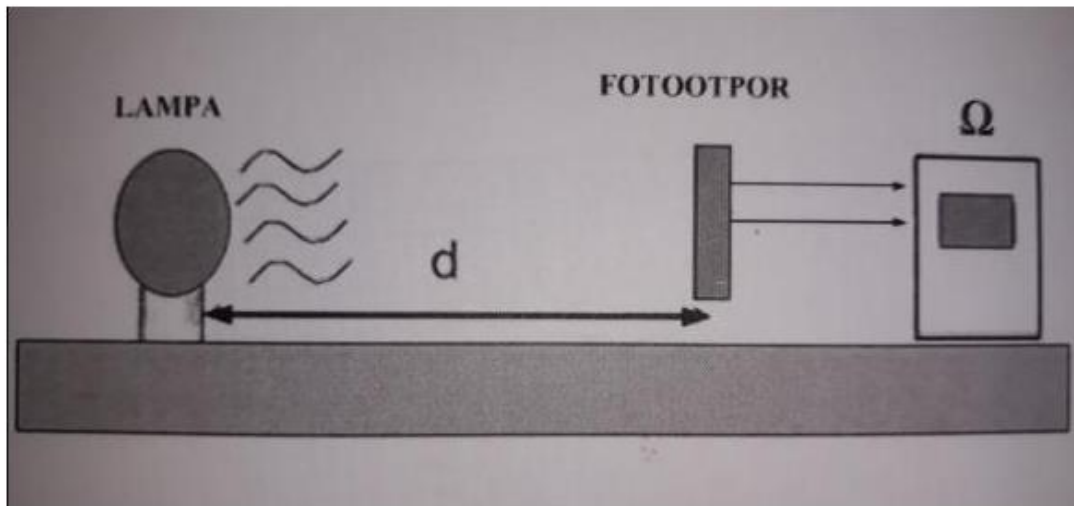
$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} (\sum y_i^2 - a \sum x_i y_i)} = 1,639$$

$$v_s = \frac{\sigma_y}{\bar{y}} \cdot 100 = 1,0451$$

### 10.3 Mjerenje duljine

#### Popis opreme:

- Žarulja 220V
- Fotootpornik
- Stalak za žarulju
- Stalak za fotootpornik
- Čelična mjerna traka
- Izvor izmjeničnog promjenjivog napona 0-230V



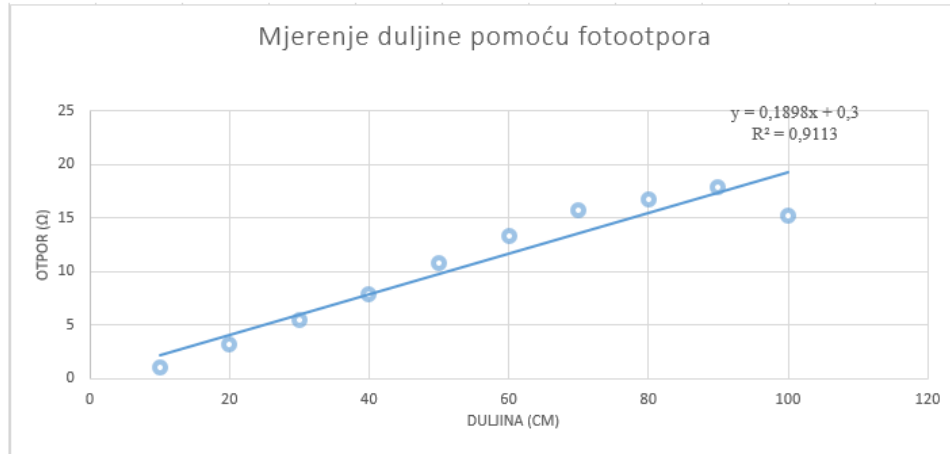
Mjerenje duljine pomoću fotootpora





Podižemo napon na žarulji do srednje jačine svijetla (oko 110V). Pomičemo stalak fotooptora u ravnini sa žaruljom i očitavamo otpor sa ommetra svakih 10cm razmaka od 10cm do 100cm. Obrnuti postupak je ponovljen za vrijednosti od 100cm od 10cm.

d(cm)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
R(Ω)	1,06	3,18	5,48	7,87	10,85	13,31	15,75	16,75	17,9	15,25
d(cm)	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10
R(Ω)	15,5	17,15	15,72	14,51	12,69	10,6	7,9	5,57	3,29	1,1



$X_i$	$Y_i$	$X_i Y_i$	$X_i^2$	$Y_i^2$
10	1,06	10,6	100	1,1236
20	3,18	63,6	400	10,1124
30	5,48	164,4	900	30,0304
40	7,87	314,8	1600	61,9369
50	10,85	542,5	2500	117,7225
60	13,31	798,6	3600	177,1561
70	15,75	1102,5	4900	248,0625
80	16,75	1340	6400	280,5625
90	17,9	1611	8100	320,41
100	15,25	1525	10000	232,5625
<b>550</b>	<b>107,4</b>	<b>7473</b>	<b>38500</b>	<b>1479,679</b>

$$b = \frac{\sum x_i \cdot y_i - n \cdot \bar{x} \cdot \bar{y}}{\sum x_i^2 - n \cdot \bar{x}^2} = 0,1898$$

$$a = \bar{y} - b \cdot \bar{x} = 0,3$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} (\sum y_i^2 - a \sum x_i y_i)} = 1,7053$$

$$v_s = \frac{\sigma_y}{\bar{y}} \cdot 100 = 15,87$$

## LITERATURA

[1]Izmjena signala , dostupno na

<http://www.kelm.ftn.uns.ac.rs/literatura/si/pdf/Measurement%20Instrumentation%20Sensors.pdf>

[2]Točnost senzora, dostupno na

[https://www.grad.unizg.hr/download/repository/Skripta\\_2013/Skripta%202013/Eksperimentalna%20hidraulika%20%285-www%29\\_Prikupljanje%20i%20obrada.pdf](https://www.grad.unizg.hr/download/repository/Skripta_2013/Skripta%202013/Eksperimentalna%20hidraulika%20%285-www%29_Prikupljanje%20i%20obrada.pdf)

[3]Klizanje nagiba, dostupno na

<http://silverstripe.fkit.hr/kui/assets/Uploads/Mjerna-370-373.pdf>

[4]Klasifikacija mjernih pogrešaka, dostupno na

<https://www.watelectrical.com/different-types-of-errors-in-measurement-and-measurement-error-calculation/>

[5]Senzori specifikacija, dostupno na

<https://nptel.ac.in/content/storage2/courses/112103174/pdf/mod2.pdf>

[6]Hallov sensor, dostupno na

<https://hr.mirarh.ru/hall-senzor-svrha-i-nacelo-rada/>

[7]Prioelektričnost, dostupno na

<http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=48394>

[8]Termistori, dostupno na

<https://hr.wikipedia.org/wiki/Termistor>

[9]Fotodioda, dostupno na

<https://riverglennaps.com/hr/diode/295-what-is-photodiode-working-construction-characteristic-applications.html>

[10]Nelinearnost senzora, dostupno na

<http://docs.exdat.com/docs/index-42422.html?page=2>

## ZAKLJUČAK

Promatramo li senzore vidimo da se tehnologija neprekidno razvija i postaje sve privlačnija različitim sektorima. Od praćenja okoliša do osiguranja naše sigurnosti, senzorska tehnologija brzo prožima svaki aspekt našeg života. Tehnologija pametnih senzora našla je put i u naše domove. Danas senzori mogu prikupiti sve podatke potrebne za kontrolu našeg doma. Od praćenja energije koje trošimo, kvalitete zraka u zatvorenom ili kontrola osvjetljenja ili ozvučenja. Tri najbitnije stavke razvoja senzora u budućnosti su minijaturizacija, digitalizacija i fuzija senzora. Mnoge aplikacije primjene senzora zahtijevaju male dimenzije bez pada njihovih performansi i uštede energije. Prelazak na digitalizaciju važan je za pametne senzore koji ne samo što bilježe podatke, već ih i interpretiraju za različite aplikacije. Fuzija senzora predstavlja treći trend u razvoju senzora i odnosi se na praćenje podataka više senzora kombiniranih kako bi dobili veći broj podataka za potrebe određenog sustava. Potreba za mjerenjem više vrsta podataka zahtjeva razvoj multi-senzorskih elemenata. Ta tri trenda se preklapaju sa potrebom za većim učinkom i nižim troškovima.

Danas se povećava potreba za senzore pritiska u medicini, dronovima, kućanskim aparatima i transportu. Mnoge od ovih aplikacija također zahtijevaju temperaturno ispitivanje. Nadzor stanja automobila, kao i baterija velike snage koje se sada koriste za opskrbu električnom energijom te medicina predstavljaju važna tržišta za razvoj senzora temperature. Treće ključno područje senzor sila s primjenama u zrakoplovstvu, medicinskim instrumentima, dizalima i novoj generaciji električnih motora velike snage. Također, uočavamo rastuću potrebu za sensorima položaja u različitim primjenama kao što su sustavi za rukovanjem novce, industrijska oprema, automobilski sustavi i medicinski uređaji.

## SAŽETAK

Cilj ovog završnog rada je bio obraditi osobine mjernih pretvornika, njihovu primjenu i obradu signala. Mjerenja se provode u svim granama industrija te ovisno o potrebi koriste određene senzore. Mjerni pretvornike tj. senzore susrećemo u svakodnevnom životu od kućanstva (osjetilni senzor-lampa na dodir, dugme lifta), u automobilima (parkirni senzor, senzor temperature motora i rashladne tekućine, senzor brzine), sigurnosti (detektori metalnih predmeta, oružja i nagaznih mina), medicini itd.

Trenutni razvoj senzora teži povećanju složenosti senzorskih sustava. Kombinacija veće fleksibilnosti i ekonomičnosti, omogućila je da se veliki sofisticirani sustavi za obranu signala svode na mikroelektronski čip. (pr. Pametni senzori imaju pretvorbu, pojačavanje signala, filtriranje i drugo obradu na jednom uređaju). Iz perspektive krajnjeg korisnika senzorski se sustav čini jednostavnijim čak i sa povećanom funkcionalnošću i unutarnjom složenošću sustava.

Razvijanjem senzora teži se dobiti što manje senzore te da su višefunkcionalni (ostvaruje se ugradnjom mikroprocesora). Uz mogućnosti koje se pružaju upotrebom senzora moguće je jeftino i efikasno osmisлити donedavno nezamisliva rješenja.

Ključne riječi: Senzori, statičke karakteristike, dinamičke karakteristike, pomak, pogreške, temperature, nelinearnost

## ABSTRACT

Aim of this final paper was to study the properties of measuring transducers, their application and signal processing. Measurements are made in all industries and use specific sensors depending on need. Measuring converters, ie. sensors are encountered in everyday life from household (sensitivity sensors for elevator button or touch lamp switch), in cars (parking sensor, engine and coolant temperature sensor, speed sensor), safety (detectors of metal objects, weapons and land mines), in medicine and so on. Current sensor development is tending toward increased complexity in sensor systems. Combination of higher flexibility and lower production cost, allows large and sophisticated signal processing systems to be reduced to a microelectronic chip (example- smart sensors have transduction, signal amplification, filtering, and other processing on a single substrate). From perspective of the end user sensor system now appears simpler even with its increased functionality and internal complexity.

Developing sensors we want to get smaller dimensions with more functionality (its achieved by installing a microprocessor). With the capabilities provided by the use of sensors, it is possible to design inexpensive and efficiently sensors we couldn't even think about.

Key words: Sensor, statics characteristics, dynamic characteristics, shift, error, temperature, nonlinearity.

## **ŽIVOTOPIS**

Darko Čulo rođen je 28.3.1990. godine u Vinkovcima. Osnovnu školu pohađao je u Vinkovcima. Nakon završetka osnovne škole upisuje srednju tehničku školu za zanimanje elektrotehničar koju završava 2009. godine. Iduće godine upisuje Elektrotehnički fakultet u Osijeku na stručnom studiju, smjer Elektroenergetika koji trenutno završava. Izvrsno poznavanje Engleskog jezika, i osnovno poznavanje njemačkog jezika. Poznaje rad u Office paketima, 3DS Max.